

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Направление 35.03.06. «Агроинженерия»

Профиль «Электрооборудование и электротехнологии»

Кафедра «Машины и оборудование в агробизнесе»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ТЕМА: СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С РАЗРАБОТКОЙ
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЛАВНОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

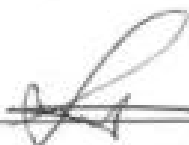
ВКР. 35.03.06.006.20

Студент



Гайфуллин Р.М.

Руководитель, профессор



Нуруллин Э. Г.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите
(протокол № 12 от 17 июня 2020 г.)

Зав. кафедрой, к.т.н., доцент



Халиуллин Д.Т.

Казань – 2020 г.

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра «Машины и оборудование в агробизнесе»
Направление 35.03.06 «Агроинженерия»
Профиль «Электрооборудование и электротехнологии»

УТВЕРЖДАЮ


Зав. кафедрой
Халиуллин Д.Т.
«29» апреля 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

Студенту Гайфуллину Р.М.

1. Тема ВКР: «Совершенствование системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с разработкой устройства для плавного пуска электродвигателей».

утверждена приказом по вузу от 22 мая 2020 г. № 178

2. Срок сдачи студентом законченного проекта 9 июня 2020 г.

3. Исходные данные к проекту: материалы учебной, научной, специальной литературы, практик, результаты патентного поиска.

4. Перечень подлежащих разработке вопросов:

- 1) Выполнить обзор системы электроснабжения и анализ электропривода сельскохозяйственных предприятий.
- 2) Разработать мероприятия по совершенствованию электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с выполнением необходимых расчётов и обоснованием электрооборудования.
- 3) Разработать устройство для плавного пуска асинхронного электродвигателя с выполнением требуемых расчётов и выбором необходимого электрооборудования. Разработать мероприятия по безопасной эксплуатации конструкции. Выполнить технико-экономическое обоснование устройства.

АННОТАЦИЯ

на выпускную квалификационную работу Гайфуллина Р.М. по теме
«Совершенствование системы электроснабжения сельскохозяйственного
предприятия с разработкой устройства для плавного пуска
электродвигателей».

Выпускная квалификационная работа состоит из 74 страниц пояснительной записки и 6 листов графической части формата А1. Пояснительная записка включает в себя 8 таблиц, 16 рисунков, 25 наименований списка использованной литературы.

В первом разделе пояснительной записки представлен обзор электроснабжения сельскохозяйственного предприятия, выполнен анализ и классификация электроприводов в сельскохозяйственном производстве, обоснована тема выпускной квалификационной работы.

Во втором разделе рассмотрены характеристика и классификация системы электроснабжения и представлены разработки по совершенствованию электроснабжения сельскохозяйственного предприятия: определение расчетной и потребляемой мощности; напряжения, мощности питающих и распределительных сетей; картограмма нагрузок; расчёт и выбор защитной аппаратуры.

В третьем разделе разработано устройство для плавного пуска асинхронного электродвигателя с выполнением требуемых расчётов и выбором необходимого электрооборудования. Разработаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности при использовании устройства для плавного пуска асинхронных электродвигателей. Дана технико-экономическая оценка использования устройства для плавного пуска электродвигателя.

Пояснительная записка завершается заключением.

ANNOTATION

to the final qualifying work of Gaifullin R.M. on the topic "Improving the power supply system of an agricultural enterprise with the development of a device for smooth starting of electric motors".

The final qualification work consists of 74 pages of an explanatory note and 6 sheets of the graphic part of the A1 format. The explanatory note includes 8 tables, 16 figures, 25 titles of the list of used literature.

The first section of the explanatory note provides an overview of the power supply of an agricultural enterprise, analyzes and classifies electric drives in agricultural production, substantiates the topic of final qualification work.

The second section discusses the characteristics and classification of the power supply system and presents developments to improve the power supply of an agricultural enterprise: determining the estimated and consumed power; voltage, power supply and distribution networks; load chart; calculation and selection of protective equipment.

In the third section, a device for smooth starting of an induction motor with the required calculations and the selection of the necessary electrical equipment is developed. Life safety measures have been developed when using a device for smooth starting of asynchronous electric motors. A technical and economic assessment of the use of the device for smooth starting of the electric motor is given.

The explanatory note concludes with a conclusion.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБЗОР ПО ТЕМЕ РАБОТЫ.....	8
1.1 Обзор системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий.....	8
1.2 Анализ и классификация электроприводов в сельскохозяйственном производстве.....	10
1.3 Обоснование темы выпускной квалификационной работы.....	20
2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	22
2.1 Характеристика и классификация системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий.....	22
2.2 Определение расчетной и потребляемой мощности предприятия.....	24
2.3 Расчёт напряжения, мощности питающих и распределительных сетей.....	28
2.4 Картограммы нагрузок.....	32
2.5 Расчёт и выбор защитной аппаратуры.....	38
2.6 Физическая культура на производстве.....	47
3 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.....	48
3.1 Исходные данные.....	48
3.2 Разработка электропривода с использованием устройства плавного пуска.....	50
3.3 Безопасность жизнедеятельности при использовании устройства плавного пуска	64
3.4 Техничко-экономическая эффективность устройства плавного пуска	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическое хозяйство сельскохозяйственного предприятия - это совокупность энергетических установок и вспомогательных устройств с целью обеспечения бесперебойного снабжения предприятия различными видами энергии и энергоносителей, таких, как натуральное топливо (газ, мазут и др.), электрический ток, сжатый воздух, горячая вода, конденсат.

Цели энергосбережения совпадают и с другими целями сельхозпредприятий, таких как улучшение экологической ситуации, повышение экономичности систем энергоснабжения и др.

Снижение потребления позволяет обеспечивать подключение новых потребителей при минимальных капитальных затратах на развитие инфраструктуры и снимает проблемы выделения земельных участков под новое строительство объектов генерации, отчуждение санитарно-защитных зон и т.д., что в целом положительно сказывается на градостроительном развитии и инвестиционной привлекательности.

Решение задач повышения энергоэффективности на сегодняшнем этапе, когда существует большой резерв малозатратных мероприятий, также совпадает с большинством стратегических целей государства и хозяйствующих субъектов. При этом необходимо отметить, что в качестве ориентира энергосбережения могут применяться различные критерии. Наиболее часто ориентиром для управляющих воздействий служит потенциал энергосбережения, под которым подразумевают резервы, которые могут быть освоены во времени. Проводя анализ и оценку экономического энергоресурсного потенциала необходимо рассматривать не только количественную и качественную его характеристики, но и возможность рационального использования энергетических ресурсов. Указанные особенности должны быть учтены в соответствующих расчетах за счет внесения изменений при определении прибылей и убытков предприятия, которые, в свою очередь, вызываются различными социально-

экономическими результатами энергосберегающих мероприятий, входящих в программу энергосбережения.

Многолетний опыт в проведении энергетических обследований показал проблемы экономии тепловой энергии по сей день остается главной. В соответствии с требованиями ФЗ-261 «Об энергосбережении...» в настоящее время разработаны перспективные программы повышения энергетической эффективности и определены полномочия органов местного самоуправления муниципального образования в области энергосбережения.

В предстоящий период в сельской местности должны быть выполнены установленные ФЗ «Об энергосбережении» требования в части управления процессом энергосбережения, в том числе:

- 1) применение энергосберегающих технологий при проектировании, строительстве, реконструкции и капитальном ремонте объектов капитального строительства;
- 2) проведение энергетических обследований;
- 3) учет энергетических ресурсов;
- 4) ведение энергетических паспортов;
- 5) нормирование потребления энергетических ресурсов.

Основным инструментом управления энергосбережением является программно-целевой метод, предусматривающий разработку, принятие и исполнение муниципальной долгосрочной целевой программы энергосбережения.

Актуальность данной темы определяется особой ролью электроэнергетики в реформировании экономики России. В связи с изменением условий функционирования предприятий электроэнергетической отрасли, повышением значимости надёжности, качества энергоснабжения потребителей и изменением динамики взаимосвязей энергетической системы с отраслями народного хозяйства целесообразно развивать энергетический комплекс предприятий.

1 ОБЗОР ПО ТЕМЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1.1 Обзор системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий

Литературный обзор и анализ существующих схем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий показывает их многообразие. Причем они в основном выполнены по типовой схеме и отличаются только мощностью.

Питание осуществляется по воздушной линии на 10 кВ, который подходит к понижающему трансформатору марки ТМ на 0,4 кВ.

Подвод электропитания к подразделениям растениеводства (зерноток, МТП и др.) и к животноводческому комплексу осуществляется проводами марки: АВВГ по воздушной линии. С воздушной линии к каждому цеху подходят кабели маркой АВВГ(4×35) и ААШВ (3×4+1×2,5) мм² и проложены в земле на глубине 0,7-0,8м.

Освещение предприятий выполнены кабелями марки АВРГ (2×2,5) и АПВ(2×2,5). Используются светильники типа ПСХ, НСП, БУН и другие с лампами накаливания мощностью 60, 100 Вт. Проектом предусмотрено аварийное освещение лампами накаливания мощностью 25 Вт.

Групповые сети выполнены проводом марки АВРГ (2×2,5). Для питания групповых сетей имеется щиты марками СУ 9441-12, СУ9442-11, ШРС. Защита групп от перегрузок осуществляется расцепителями автоматов А3161 осветительных щитов. От коротких замыканий устанавливаются предохранители типа ПР-2 с током плавкой вставки $I_{\text{вк}} = 15\text{А}$.

В силовых сетях используется провод марки АВВГ (3×4)+(1×2,5), распределительный пункт ПР-9322-340 и групповой щиток СУ9442-12. Подвод электропитания к оборудованию выполняется проводом АПВ

3(1×2,5) в трубе. Корпуса электрооборудования заземлены нулевой жилой кабеля либо с помощью труб, обеспечив непрерывную металлическую связь.

Питание осуществляется по воздушной линии на 10 кВ, который подходит к понижающему трансформатору марки ТМ на 0,4 кВ. Подвод электропитания к животноводческому комплексу осуществляется проводами марки: АВВГ по воздушной линии. С воздушной линии к каждому цеху подходят кабели маркой АВВГ(4×35) и ААШВ (3×4+1×2,5) мм² и проложены в земле на глубине 0,7-0,8м.

Освещение предприятия выполнено кабелями марки АВРГ (2×2,5) и АПВ(2×2,5). Используются светильники типа ПСХ, НСП, БУН и другие с лампами накаливания мощностью 60, 100 Вт. Проектом предусмотрено аварийное освещение лампами накаливания мощностью 25 Вт.

Групповые сети выполнены проводом марки АВРГ (2×2,5). Для питания групповых сетей имеется щиты марками СУ 9441-12, СУ9442-11, ШРС. Защита групп от перегрузок осуществляется расцепителями автоматов А3161 осветительных щитов. От коротких замыканий устанавливаются предохранители типа ПР-2 с током плавкой вставки $I_{\text{пс}} = 15\text{А}$.

В силовых сетях используется провод марки АВВГ (3×4)+(1×2,5), распределительный пункт ПР-9322-340 и групповой щиток СУ9442-12. Подвод электропитания к оборудованию выполняется проводом АПВ 3(1×2,5) в трубе. Корпуса электрооборудования заземлены нулевой жилой кабеля либо с помощью труб, обеспечив непрерывную металлическую связь.

По степени безопасности цеха бывают: с нормальными средами, влажными, пыльными, химически агрессивными, взрыво- и пожароопасными. Среда цеха зависит от технологических процессов, проходящих в нем.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

1. Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяются особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

2. Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

3. Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не попадающие под определение первой и второй категорий.

1.2 Анализ и классификация электроприводов в сельскохозяйственном производстве

Электропривод в сельском хозяйстве во многом определяет техническую основу механизации и автоматизации производственных процессов. Его широко применяют на животноводческих фермах и комплексах для привода в движение исполнительных механизмов водоснабжения, приготовления и раздачи кормов, доения коров, стрижки овец, вентиляции животноводческих помещений, а также на зернотоках, в ремонтных мастерских и т. д.

Электроприводом называется машинное устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую и состоящее из электродвигателя, передаточного механизма, аппаратуры управления и защиты. Электропривод обеспечивает управление преобразованной механической энергией. Электропривод некоторых типов включает в себя преобразовательные устройства: выпрямители, преобразователи частоты, инверторы.

Электропривод, применяемый в производственных процессах, делят на три основных типа:

групповой – в нем от одного электродвигателя с помощью одной или нескольких трансмиссий движение передается группе рабочих машин (из-за технического несовершенства его применяют ограниченно);

одиночный – с помощью отдельного электродвигателя приводится в движение одна машина или производственный механизм;

многодвигательный – для привода рабочих органов одной рабочей машины используются отдельные электродвигатели (например, зерноочистительная машина ЗВС-20, очиститель вороха ОВС-25А, гранулятор ОГМ-0,8А и др.).

С развитием производства и его технической оснащенности в классификацию электроприводов введены дополнительные характеристики. Так, различают простой одиночный и индивидуально-одиночный приводы. В простом электродвигатель соединяется с рабочей машиной плоской или клиноременной передачей через редуктор либо непосредственно с помощью муфт. Такой электропривод применен на измельчителях кормов «Волгарь-5М», ИГК-ЗОВ, дробилках кормов КДУ-2 и КДМ-2 и др.

Многодвигательный привод делят на простой, индивидуально-многодвигательный и агрегатированный. В простом многодвигательном приводе электродвигатель с рабочими органами машины соединяется непосредственно с машиной, без конструктивных изменений двигателя, т. е. с помощью муфт, ременных передач и редукторов. В индивидуально-многодвигательном приводе детали электродвигателя служат одновременно

и деталями рабочих органов машин (ролики прокатного стана, привод очесывающих валиков в хлопкоуборочной машине и др.). Агрегатированный многодвигательный электропривод обеспечивает работу согласованно действующей системы рабочих машин, объединенных в общую поточную (технологическую) линию, например, зерноочистительно-сушильные комплексы, цехи для приготовления концентрированных кормов ОКЦ-30, ОКЦ-50, установка для приготовления витаминной муки АВМ-1,5 и др.

Электрические приводы могут быть классифицированы также по условиям применения (стационарные и передвижные), способу управления (автоматизированные, частично автоматизированные и неавтоматизированные), числу скоростей (одно- и многоскоростные), роду используемой электрической энергии (постоянный ток, одно- и трехфазный) и др.

Развитию электропривода и разнообразию его типов во многом способствуют следующие преимущества:

- быстрый и простой пуск электродвигателя, благодаря которому легко осуществить частые пуски и остановки машины;
- возможность точного учета расхода энергии на отдельные производственные операции, что позволяет оценивать и сравнивать влияние этой составляющей на стоимость продукции, а также сравнивать между собой рабочие машины различных типов;
- способность электродвигателя выдерживать значительные перегрузки; возможность работы электродвигателя в воде, безвоздушном пространстве и прочих средах, где другие двигатели работать не могут; более длительный срок службы;
- меньшие габаритные размеры и металлоемкость; простое обслуживание; надежность в эксплуатации;
- при использовании электропривода легко автоматизировать работу как отдельных машин, так и всего производственного процесса в целом;

- возможность использования электрической машины как в двигательном, так и тормозном (генераторном) режиме;
- возможность изготовления электропривода практически любой мощности (от долей ватта до сотен и тысяч киловатт), на различную частоту вращения;
- возможность конструктивного упрощения рабочей машины, ее совершенствования;
- экономия обтирочных и других материалов, чистота в помещении, улучшение условий труда.

Разработана классификация электропривода. Которая представлена на рисунке 1.1.

Основной машиной электропривода является электродвигатель. Электродвигатели переменного тока делят на две большие группы – асинхронные и синхронные. К группе асинхронных относят машины, частота вращения подвижной части (ротора) которых всегда меньше частоты вращения магнитного поля статора. Группа синхронных машин объединяет машины переменного тока с частотой вращения ротора, всегда равной (синхронной) частоте вращения магнитного поля.

По числу фаз различают трех- и однофазные машины переменного тока. Около 95 % машин переменного тока, используемых в сельскохозяйственном производстве и промышленности, составляют трехфазные асинхронные двигатели. Синхронные машины служат в основном в качестве генераторов, в производственных процессах их применяют редко.

Классификация электроприводов

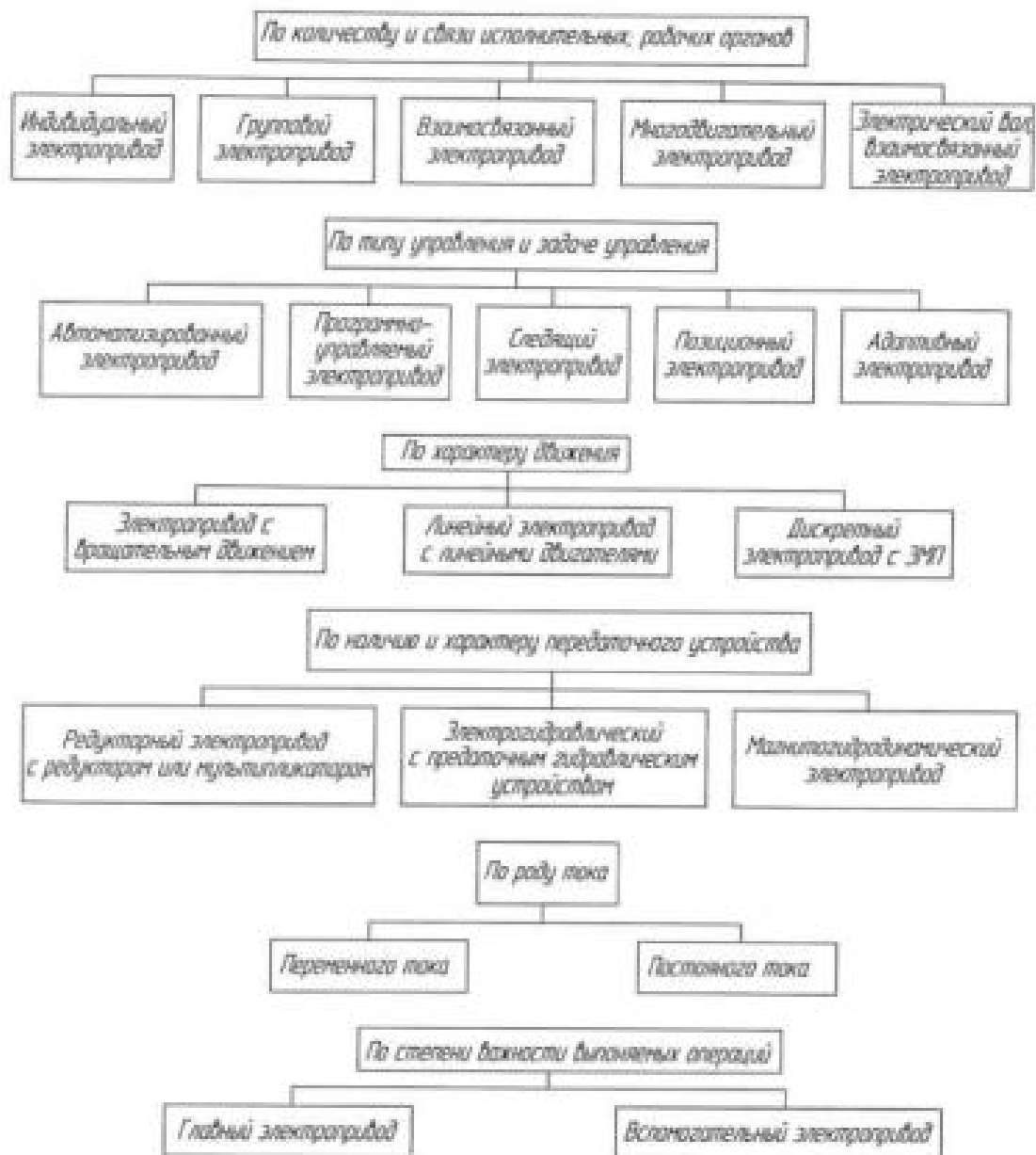
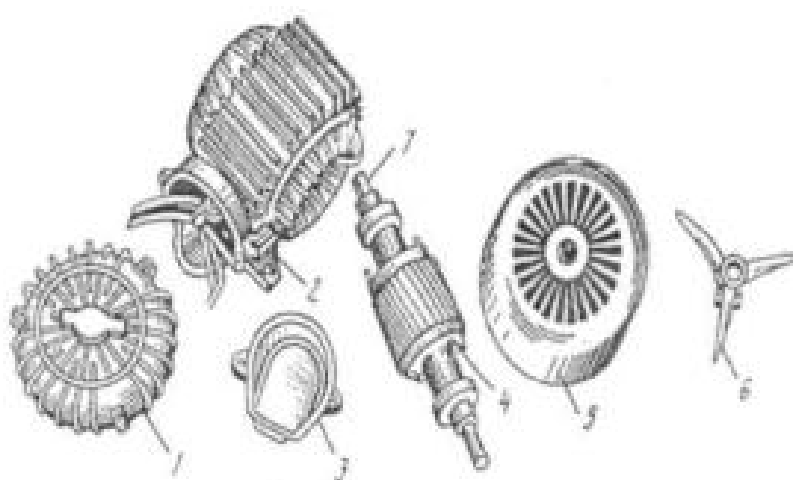


Рисунок 1.1 – Схема классификации электроприводов

Основные части асинхронного двигателя (рисунок 1.2): неподвижная – статор и подвижная – ротор. Статор состоит из чугунного или алюминиевого корпуса и сердечника с пазами, набранного из отдельных изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм. В пазах по внутренней поверхности статора укладывают три обмотки (по числу фаз), сдвинутые в пространстве по отношению друг к другу на угол 120° . Их выводы помещают в коробку, закрытую крышкой, и маркируют соответственно первой, второй и третьей фазам начала C1, C2, C3 и концы C4, C5, C6. Ротор состоит из сердечника, насаженного на вал, и обмотки. В пазы сердечника укладывают стержневую обмотку, но чаще заливают расплавленный алюминий. Сердечник ротора набирают из листовой электротехнической стали. Его вал вращается в шариковых или роликовых подшипниках, укрепленных в боковых (подшипниковых) щитах. Охлаждается электродвигатель вентилятором.



1 – подшипниковый щит; 2 – статор; 3 – крышка выводного щита; 4 – короткозамкнутый ротор; 5 – защитный кожух вентилятора; 6 – вентилятор; 7 – вал ротора

Рисунок 1.2 – Части трехфазного короткозамкнутого электродвигателя:

Принцип действия асинхронного двигателя заключается в следующем. Трехфазный переменный ток, полученный от сети, проходит по обмоткам статора, вследствие чего в нем возникает вращающееся магнитное поле, магнитные силовые линии которого пересекают обмотку ротора, индуцируя в ней ЭДС. Под действием ЭДС в замкнутой обмотке ротора возникает ток. Взаимодействие магнитного поля статора с токами, индуцированными в обмотках ротора, создает механический вращающий момент, под действием которого ротор вращается в направлении вращения поля.

Ротор асинхронного двигателя вращается несколько медленнее магнитного поля, так как только в этом случае магнитные силовые линии вращающегося поля пересекают обмотку ротора, в результате чего в ней наводится ЭДС и протекают токи, обуславливающие вращение ротора.

Отставание ротора от магнитного поля статора называют скольжением и обозначают буквой s . Его обычно определяют в процентах по формуле:

$$s = \frac{n - n_1}{n} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где n – синхронная частота вращения магнитного поля, мин^{-1} ;

n_1 – асинхронная частота вращения ротора, мин^{-1} .

У современных асинхронных двигателей скольжение составляет 4...7 % частоты вращения магнитного поля. Чтобы изменить направление вращения ротора, нужно изменить направление вращения магнитного поля статора, для чего достаточно поменять местами два любых провода, соединяющих обмотку статора с питающей сетью. Такое изменение направления вращения называется реверсированием.

Электроэнергия, потребляемая электродвигателем из сети, частично расходуется на полезную работу на валу двигателя (P_n), нагрев обмоток статора и ротора (P_m), создание переменного магнитного поля статора ($P_{ст}$) и механические потери во вращающихся деталях двигателя ($P_{мех}$). Если

обозначить мощность, потребляемую электродвигателем из сети, через P_1 , а полезную мощность на валу P_2 то коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \quad (1.2)$$

где $P_1 = P_{\text{п}} + P_{\text{м}} + P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}}$.

КПД современных асинхронных двигателей $\eta = 0,7...0,95$.

Отношение активной мощности P к полной W называют коэффициентом мощности электродвигателя: $\cos f = P/W$. Он показывает, какая часть полной мощности расходуется на полезную работу. Согласно правилам устройства электроустановок должно соблюдаться условие: $\cos f > 0,92...0,95$.

На корпусе каждого трехфазного электродвигателя помещен технический паспорт в виде металлической пластинки. В паспорте трехфазного асинхронного электродвигателя указаны его основные технические данные: тип электродвигателя, заводской номер, номинальное напряжение, ток, мощность, частота вращения, коэффициент полезного действия, масса и др.

Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором наряду с простотой конструкции, высокой надежностью в работе, долговечностью, низкой стоимостью и универсальностью имеет один существенный недостаток – при его пуске возникает пусковой ток, значение которого в 5...7 раз больше номинального. Большой пусковой ток, на который электрическую сеть обычно не рассчитывают, вызывает значительное снижение напряжения, что, в свою очередь, отрицательно влияет на устойчивую работу соседних электроприемников.

Чтобы уменьшить пусковой ток трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя большой мощности, его включают с помощью переключателя схем со звезды на треугольник или применяют двигатель с фазным ротором.

На практике широко распространены трехфазные асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, в основном серии 4А. У электродвигателей серии 4А небольшие масса (в среднем меньше на 18%), габаритные размеры, уровни воздушного шума и вибраций, большие пусковые моменты, высокая надежность. Они удобны при монтаже и эксплуатации.

Некоторые электрические двигатели промышленного исполнения невозможно использовать в сельскохозяйственном производстве из-за значительных перепадов температур, большой влажности, химической агрессивности сред, существенных колебаний напряжения в сети, больших пусковых масс и других причин.

Электротехнической промышленностью разработаны асинхронные электродвигатели серий 5А и АИР для работы в сельскохозяйственных помещениях и на открытом воздухе. Работа их возможна в следующих условиях: температура окружающей среды $-45...+45$ °С, повышенные влажность воздуха с содержанием агрессивных газов и его запыленность, значительные отклонения напряжения питающей сети от номинального значения. В таких условиях электродвигатели устойчивы к воздействиям дезинфицирующих растворов и аэрозолей. Для работы во взрывоопасной среде они непригодны.

Все электродвигатели сельскохозяйственного назначения по сравнению с базовыми имеют повышенные пусковые моменты. Улучшены энергетические показатели, что позволяет пускать их при номинальной нагрузке, а также использовать продолжительное время при колебаниях напряжения сети от +10 до $-7,5$ % и сохранении максимального момента на валу в течение 6 мин при снижении напряжения до 80 % номинального. При более длительном понижении напряжения двигатели могут работать при снижении нагрузки на 10...15 %. Для маломощных источников питания предусматривается возможность пуска включением обмоток статора в звезду и последующим переключением на треугольник при достижении

номинальной частоты вращения. Рабочая машина при этом не должна быть нагружена. Эти двигатели можно включать на рабочее напряжение и нагрузку без изменения сопротивления изоляции обмотки или разборки после перерыва в работе до 12 месяцев, а также без снятия с рабочей машины или после хранения в неотапливаемых складских помещениях.

Электродвигатели сельскохозяйственного назначения выполняют закрытыми, обдуваемыми, с химовлагоморозостойкой изоляцией. Конструкция их обеспечивает защиту от попадания внутрь воды, пыли и инородных предметов. Водозащищенность по линии вала обеспечивается манжетными резиновыми уплотнителями. Уплотнение между станиной и подшипниковыми крышками, коробкой выводов и станиной создается за счет промазывания сопрягаемых поверхностей сгущенной эмалью.

В электродвигателях до пятого габарита включительно применяется изоляция обмоток класса В, шестого и седьмого габаритов – класса F. Превышение температуры обмотки над температурой окружающего воздуха допускается до 85 °С для изоляции класса В и до 105 °С – для изоляции класса F. При этом обмотка с изоляцией класса В может нагреваться до 125 °С, а класса F – до 145 °С, поэтому следует остерегаться ожогов при прикосновении к корпусу электродвигателя при оценке степени его нагрева. Станину электродвигателя отливают из серого чугуна, предусматривая снаружи продольные ребра для увеличения поверхности охлаждения. К ней прикрепляют паспортную табличку, в которой указывают основные технические данные электродвигателя.

Электродвигатели имеют наружную вентиляцию. Ребристая поверхность двигателя охлаждается потоком воздуха, создаваемым вентилятором, насаженным на свободный конец вала. Вентилятор закрыт кожухом, который винтами крепят к подшипниковому щиту.

Коробка выводов герметизирована, имеет зажимную колодку с двумя шутилерами и специальные сальники для уплотнения ввода питающих

проводов, проложенных в металлической или пластмассовой трубе. Коробку можно поворачивать на угол 90° в плоскости ее крепления.

Для обеспечения безопасности обслуживания каждый электродвигатель оборудован двумя винтами заземления: один находится в коробке выводов, другой – на лапе электродвигателя или фланцевом щите.

1.3 Обоснование темы выпускной квалификационной работы

Энергетическое хозяйство сельскохозяйственного предприятия - это совокупность энергетических установок и вспомогательных устройств с целью обеспечения бесперебойного снабжения предприятия различными видами энергии и энергоносителей, таких, как натуральное топливо (газ, мазут и др.), электрический ток, сжатый воздух, горячая вода, конденсат.

Актуальность темы ВКР определяется важностью и особой ролью системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий. В сельскохозяйственных предприятиях имеется большое количество электроприводов, которое функционирует не эффективно из-за отсутствия систем плавного пуска электродвигателей. Из-за этого часто происходят аварии, что ведёт к простоям и снижению производительности и рентабельности сельскохозяйственного производства.

Вторым аспектом. Определяющим актуальность темы является особая роль электроэнергетики в реформировании экономики России. В связи с изменением условий функционирования предприятий электроэнергетической отрасли, повышением значимости надёжности, качества энергоснабжения потребителей и изменением динамики взаимосвязей энергетической системы с отраслями народного хозяйства целесообразно развивать энергетический комплекс предприятий.

Решение задач повышения энергоэффективности на сегодняшнем этапе, когда существует большой резерв малозатратных мероприятий, также совпадает с большинством стратегических целей государства и

хозяйствующих субъектов. При этом необходимо отметить, что в качестве ориентира энергосбережения могут применяться различные критерии. Наиболее часто ориентиром для управляющих воздействий служит потенциал энергосбережения, под которым подразумевают резервы, которые могут быть освоены во времени. Проводя анализ и оценку экономического энергоресурсного потенциала необходимо рассматривать не только количественную и качественную его характеристики, но и возможность рационального использования энергетических ресурсов. Указанные особенности должны быть учтены в соответствующих расчетах за счет внесения изменений при определении прибылей и убытков предприятия, которые, в свою очередь, вызываются различными социально-экономическими результатами энергосберегающих мероприятий, входящих в программу энергосбережения.

Исходя из вышеизложенного совершенствование системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с разработкой устройства для плавного пуска электродвигателей является актуальной и востребованным направлением работ.

2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1 Характеристика и классификация системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий

Система электроснабжения (СЭС) объединяет источники, системы преобразования, передачи, распределения электроэнергии. Приемники электроэнергии (потребители) не включаются в СЭС. Системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий основываются на электроустановках, которые нужны для обеспечения потребителей электрической энергией. Потребителем может быть электроприемник или другой агрегат, который преобразовывает электрическую энергию в иной вид энергии. Также этих механизмов может иметься несколько. В таком случае их объединяют в одну технологическую группу и размещают на отдельном пространстве. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий строится на основе питающих, распределительных, трансформаторных, преобразовательных подстанций, а также на связывающих их кабельных, воздушных сетях, токопроводов (низкого и высокого напряжения). Проектирование электроснабжения сельскохозяйственных предприятий должно происходить с учетом важнейших требований, определяющих: надежность; удобство; безопасность; обеспечение необходимого количества/качества энергии; бесперебойность снабжения электрической энергией в обычном режиме и послеаварийном; экономичность по затратам энергии, материалов и оборудования. Для крупных предприятий применяется напряжение в промежутке 6-220 кВ. В некоторых случаях напряжение может достигать 330-500 кВ.

Классификация электроснабжения по степени бесперебойности и характеристики среды цехов.

К I-й категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса.

Ко II-й категории относятся электроприемники, которые также очень важны, но перерыв их питания связан только с массовым недоотпуском продукции, простоем людей, механизмов и промышленного транспорта.

К III-й категории относятся остальные электроприемники.

В ГОСТ приняты следующие номинальные напряжения:

– в сетях до 1000 В: 36; 220/127; 380/220; 660/380 В;

– сетях выше 1000 В: (3); 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ.

Ниже представлены типовые электропотребители и категории приемников электроэнергии по бесперебойности электроснабжения сельскохозяйственного предприятия.

Таблица 2.1 – Типовые потребители сельскохозяйственного предприятия

№ по плану	Наименование здания	Площадь, м ²	P _{ном} , кВт
1	Административное здание	360	80
2	Ремонтный цех	279	120
3	Основной цех	1080	280
4	Склад	380	40
5	Гараж	352	50
6	Склад	935	100
7	Котельное	90	100
	Территория предприятия	12124	

Под основным цехом понимается все потребители для производства основных видов сельскохозяйственной продукции.

Таблица 2.2 – Категории приемников электроэнергии по бесперебойности электроснабжения

№ по плану	Наименование цеха	Категория электропотребителя	Характеристика среды
1	Административное здание	2	Пожароопасное
2	Ремонтный цех	2	Пожароопасное
3	Основной цех	2	Пожароопасное
4	Склад	3	Нормальное
5	Гараж	3	Нормальное
6	Склад	3	Нормальное
7	Котельное	3	Нормальное

При расчётах по совершенствованию системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия используются все потребители.

2.2 Определение расчетной и потребляемой мощности предприятия

Расчет покажем на примере административного здания. Результаты расчета по всему предприятию сведем в таблицу 2.3.

Определяем расчетную силовую нагрузку до 1 кВ [9]:

$$P_{pc} = P_{ном} \cdot k_c = 80 \cdot 0,4 = 32 \text{ кВт} \quad (2.1)$$

$$Q_{pc} = P_{pc} \cdot \text{tg} \varphi = 32 \cdot 1,02 = 32,64 \text{ кВАр} \quad (2.2)$$

где k_c – коэффициент спроса здания [1];

$\text{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности здания (определяется по $\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности здания [1]).

Находим номинальную мощность освещения и расчетную осветительную нагрузку здания :

$$P_{п.о.} = p_{уд} \cdot F_1 \cdot n_{этак} = 19 \cdot 360 \cdot 1/1000 = 6,84 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

$$P_{p.o.} = P_{n.o.} \cdot k_{c.o.} = 6,84 \cdot 0,9 = 6,16 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

где $p_{y.l.}$ – удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки, Вт/м²[1];

$k_{c.o.}$ – коэффициенты спроса осветительных нагрузок [1];

Находим полную расчетную мощность административного здания:

$$P_{p1\Sigma} = P_{p1} + P_{p.o.1} = 32 + 6,16 = 38,16 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

$$Q_{p1\Sigma} = Q_{p1} = 32,64 \text{ кВАр} \quad (2.6)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1\Sigma}^2 + Q_{p1\Sigma}^2} = \sqrt{38,16^2 + 32,64^2} = 50,22 \text{ кВт} \cdot \text{А} \quad (2.7)$$

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{50,22}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 72,49 \text{ А} \quad (2.8)$$

Расчетная площадь освещения территории:

$$F^* = F_{\text{общ.}} - \sum F_{i \text{ зданий}} = 15600 - 3476 = 12124 \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

Расчетная полная мощность предприятия, кВА:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{336,45^2 + 192,07^2} = 387,41 \quad (2.10)$$

Потери в силовом трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 476,3 = 9,53 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 476,3 = 47,63 \text{ кВАр} \quad (2.12)$$

Тогда расчетная нагрузка данной ступени определится:

$$P_p = (\sum P_{pi} + P_{p.o.c.k.}) + \Delta P_{\text{тр}} = 375,49 + 9,53 = 385,02 \text{ кВт} \quad (2.13)$$

$$Q_p = \sum Q_{pi} + \Delta Q_{\text{тр}} = 284,18 + 47,63 = 331,81 \text{ кВАр} \quad (2.14)$$

Расчет мощности компенсирующих устройств.

$$\text{tg} \phi_{\text{ном}} = \frac{Q_{p\Sigma}}{P_{p\Sigma}} = \frac{331,81}{385,02} = 0,86 \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{КУ}} = P_p \cdot (\text{tg} \phi_{\text{ном}} - \text{tg} \phi_{\text{эл.}}) = 385,02 \cdot (0,86 - 0,33) = 204,06 \text{ кВАр} \quad (2.16)$$

Выбираем к установке две конденсаторные батареи УКМ 58-0,4-100-25, мощность одной КУ $Q_{\text{КУ1ном}} = 100 \text{ кВАр}$.

Таблица 2.3 – Ведомость электрических нагрузок

№ по плану	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка						Расчетная нагрузка				I _п А
		P _{ном} кВт	k _c	cosφ	ηгр	P _р кВт	Q _р кВАр	F, м²	P _н Вт/м²	P _{ном} кВт	k _{со}	P _{ном} кВт	P _р кВт	Q _р кВАр	S _р кВА			
Нагрузка до 1 кВ																		
1	Административное здание	80	0,4	0,7	1,02	32	32,64	360	19	6,84	0,9	6,16	38,16	32,64	50,22	72,49		
2	Ремонтный цех	120	0,35	0,65	1,17	42	49,14	279	17	4,74	0,85	4,03	46,03	49,14	67,33	97,18		
3	Основной цех	280	0,5	0,75	0,88	140	123,2	1080	17	18,36	0,85	15,61	155,61	123,2	198,48	286,48		
4	Склад	40	0,3	0,8	0,75	12	9	380	13	4,94	0,6	2,96	14,96	9	17,46	25,2		
5	Гараж	50	0,2	0,7	1,02	10	10,2	352	14	4,93	0,6	2,96	12,96	10,2	16,49	23,8		
6	Склад	100	0,3	0,8	0,75	30	22,5	935	13	12,16	0,6	7,3	37,3	22,5	43,56	62,87		
7	Котельная	100	0,5	0,8	0,75	50	37,5	90	14	1,26	0,85	1,07	51,07	37,5	63,36	91,45		
	Освещение территории							12124	1,6	19,4	1	19,4	19,4	0	19,4	28		
	Итого по напряжению до 1 кВ	770						3476				59,49	375,49	284,18	476,3	687,47		

Потери мощности в компенсирующих устройствах [9]:

$$\Delta P_{\text{КУ}} = 0,003 \cdot Q_{\text{КУном}} = 0,003 \cdot (100 \cdot 2) = 0,6 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

Тогда расчетная нагрузка данной ступени электроснабжения системы шин определится по формуле:

$$P_{\text{рТП}} = P_{\text{р}} \cdot K_{\text{рм}} + \Delta P_{\text{КУ}} = 385,02 \cdot 0,97 + 0,6 = 374,07 \text{ кВт} \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{рТП}} = Q_{\text{р}} \cdot K_{\text{рм}} - Q_{\text{КУном}} = 331,81 \cdot 0,97 - 200 = 121,86 \text{ кВАр} \quad (2.19)$$

$$S_{\text{рТП}} = \sqrt{P_{\text{рТП}}^2 + Q_{\text{рТП}}^2} = \sqrt{374,07^2 + 121,86^2} = 393,42 \text{ кВА} \quad (2.20)$$

Так как в сельскохозяйственных предприятиях отсутствует нагрузка выше 1кВ, то её не рассчитываем.

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях промышленных предприятий является одним из важных вопросов электроснабжения и построения рациональных сетей. В нормальных условиях трансформаторы должны обеспечивать питание всех потребителей предприятия при их номинальной нагрузке.

В основном, установка двух трансформаторов обеспечивает надёжное питание потребителей. Это значит, что при повреждении одного трансформатора, второй, с учётом его перегрузочной способности, обеспечивает 100 % надёжность питания в течении времени, необходимого для ремонта трансформатора.

Выбор ТП от исходных данных осуществляется по полной расчётной мощности предприятия, которую мы определили по формуле 3.20. $S_{\text{рТП}} = 393,42 \text{ кВА}$.

Коэффициент загрузки силового масляного трансформатора не должен превышать значения 0,7.

Так как предприятие имеет потребителей II и III категории, то на ТП установим два трансформатора. Выбор мощности проведем по условию [9]:

$$S_{\text{н.тр}} \geq \frac{S_{\text{р}}}{n_{\text{тр}} \cdot k_s} \geq \frac{393,42}{2 \cdot 0,7} \geq 281,01 \text{ кВА} \quad (2.21)$$

Выбирает силовой трансформатор мощностью 400 кВА.

Определим коэффициенты загрузки трансформаторов ТП мощностью 400 кВ·А в номинальном и аварийном режимах:

$$k_{з.н.} = \frac{S_p}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{393,42}{2 \cdot 400} = 0,492 \quad (2.22)$$

$$k_{з.ав.} = \frac{S_p}{S_{ном.тр.}} = \frac{393,42}{400} = 0,984 \quad (2.23)$$

С учетом дальнейшего развития предприятия, сопровождающееся увеличением потребляемой мощности, выбираем трансформаторы типа ТМГ с номинальной мощностью 400 кВА.

2.3 Расчёт напряжения, мощности питающих и распределительных сетей

Выбор напряжения питающих сетей зависит от напряжений сетей энергосистемы в данном заводе, от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, числа и мощности электроприемников (электродвигателей, электропечей, преобразователей и пр.).

а) Формула Стилла

$$U_{ном} \approx 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P} = 4,34 \cdot \sqrt{1,5 + 0,016 \cdot 0,374} = 6,15 \text{ кВ}, \quad (2.24)$$

где L – длина линии, км; P – активная мощность, МВт;

б) Формула Залесского А.М.

$$U_{ном} = \sqrt{P \cdot (0,1 + 0,015 \cdot \sqrt{L})} = \sqrt{0,374 \cdot (0,1 + 0,015 \cdot \sqrt{2})} 0,21 \text{ кВ}, \quad (2.25)$$

Формула Илларионова

$$U_{ном} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{2} + \frac{2500}{0,374}}} = 12,01 \text{ кВ}. \quad (2.26)$$

Формула (3.26) используется для напряжения 35,1150 кВ и принципиально правильно отражает необходимость все более высоких номинальных напряжений с увеличением протяженности линии, особенно при $P > 1000$ МВт.

г) Эмпирическая формула зависимости напряжения от передаваемой мощности и протяженности линии:

$$U_{\text{НОМ}} = 16 \cdot \sqrt[4]{\frac{P \cdot L}{1000}} = 16 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,374 \cdot 2}{1000}} = 2,65. \quad (2.27)$$

Среднее значение равно 5,255. Таким образом, принимаем стандартное значение напряжения 6 кВ.

Расчёт мощности питающей линии .

$$S_{p.l} = \sqrt{(P_{p.л} + \sum \Delta P_{tr})^2 + (Q_{p.л} + \sum \Delta Q_{tr})^2} = \\ = \sqrt{(374,07 + 13,32)^2 + (121,86 + 42,32)^2} = 420,74 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (2.28)$$

Потери мощности в трансформаторе определяются:

$$\Delta P_{tr} = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot k_z^2, \text{ кВт} \\ \Delta Q_{tr} = I_{xx\%}/100 \cdot S_{н.тр} + U_{кз\%}/100 \cdot S_{н.тр} \cdot k_z^2, \text{ кВАр} \quad (2.29)$$

где ΔP_{tr} и ΔQ_{tr} – потери активной и реактивной мощности, трансформатора при загрузке, определяющей коэффициент загрузки k_z ; $I_{xx\%} U_{кз\%}$ – ток холостого хода и напряжение КЗ (определяются из паспортных данных трансформатора).

Данные трансформаторов:

$$\text{ТМГ 11-400/6/0,4: } \Delta P_{xx} = 0,83 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 5,4 \text{ кВт}$$

$$I_{xx\%} = 4,2 \%;$$

$$U_{кз\%} = 4,5\%$$

Приведенные потери мощности в силовом трансформаторе:

$$P_{xx}' = \Delta P_{xx} + k_{шт} \cdot \Delta Q_{xx} \quad (2.30)$$

для трансформаторов коэффициент изменения потерь $k_{\text{вт}}=0,07$ кВт/кВАр

$$\Delta Q'_{\text{xx}} = S_{\text{н.тр}} \cdot I_{\text{xx}} / 100 = 400 \cdot 4,2 / 100 = 16,8 \text{ кВАр} \quad (2.31)$$

$$\Delta P'_{\text{xx}} = 0,83 + 0,07 \cdot 16,8 = 2,01 \text{ кВт} \quad (2.32)$$

$$\Delta Q'_{\text{кз}} = S_{\text{н.тр}} \cdot U_{\text{кз}} / 100 = 400 \cdot 4,5 / 100 = 18 \text{ кВАр} \quad (2.33)$$

$$\Delta P'_{\text{кз}} = \Delta P_{\text{кз}} + k_{\text{вт}} \cdot Q_{\text{кз}} = 5,4 + 0,07 \cdot 18 = 6,66 \text{ кВт} \quad (2.34)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P'_{\text{xx}} + k_3^2 \cdot \Delta P'_{\text{кз}} = 2,01 + 0,492^2 \cdot 6,66 = 3,62 \text{ кВт} \quad (2.35)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \Delta Q'_{\text{xx}} + k_3^2 \cdot Q_{\text{кз}} = 16,8 + 0,492^2 \cdot 18 = 21,16 \text{ кВАр} \quad (2.36)$$

$$\Delta P_{2\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot \Delta P_{\text{тр}} = 2 \cdot 3,62 = 7,24 \text{ кВт} \quad (2.37)$$

$$\Delta Q_{2\text{тр}} = n_{\text{тр}} \cdot \Delta Q_{\text{тр}} = 2 \cdot 21,16 = 42,32 \text{ кВАр} \quad (2.38)$$

Расчетный ток питающей линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{р.л}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{лнл}}} = \frac{420,74}{\sqrt{3} \cdot 6} = 40,49 \text{ А} \quad (2.39)$$

Выбор сечения питающей линии

При определении сечения по нагреву током нагрузки необходимо делать поправку на прокладку кабеля введением снижающего коэффициент $k_{\text{сн}}$, который определяется ПУЭ-7 табл. 1.3.26. Тогда ток нагрузки в нормальном и аварийном режимах:

$$I_{\text{дн}} = I_{\text{рн}} / k_{\text{сн}}; I_{\text{дав}} = I_{\text{рав}} / k_{\text{сн}} \cdot k_{\text{пер}} \quad (2.40)$$

где $k_{\text{пер}}$ - коэффициент, характеризующий перегрузку кабелей. Определяется ПУЭ $k_{\text{пер}}^{-1}, 25$.

После, выбираем сечение кабеля из условия: $I_{\text{дн}} \geq I_{\text{дав}}$

Далее проверяем выбранное по нагреву сечение S , мм² по потери напряжения:

$$l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}} \cdot I_{\text{дон}} / I_p \geq l_{\text{факт}} \quad (2.41)$$

где $\Delta U_{\text{дон}}$ - допустимые потери напряжения, принимаются 5% в нормальном и 10% в аварийном режимах;

$l_{\Delta U 1\%}$ - длина на 1% потери напряжения, км;

$l_{\text{дон}}, l_{\text{факт}}$ - допустимая и фактическая длина линии, км.

Согласно ПУЭ, сечение проводников выбирается с учетом экономической плотности тока:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j} \quad (2.42)$$

где I_p - расчетный ток линии в нормальном режиме, А;

$j = 1,4 \text{ А/мм}^2$ - нормированное значение экономической плотности тока, определяется по табл. 1.3.36 ПУЭ.

Выбираем сечение по экономической плотности тока для линии ввода на 6 кВ

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j} = \frac{40,49}{1,4} = 28,92 \text{ мм}^2$$

Выбираем марку кабеля АСБ и берем ближайшее сечение $3 \times 25 \text{ мм}^2$.

Кабели применяются для прокладки:

- в земле (траншеях), если в процессе эксплуатации кабели не подвергаются значительным растягивающим усилиям;
- в земле (траншеях) с низкой и средней коррозионной активностью, с отсутствием блуждающих токов.

Кабели предназначены для наклонных и горизонтальных трасс.

Конструкция и технические характеристики кабеля АСБ 3Х25

Жила - мягкая алюминиевая секторная проволока.

Изоляция - бумага, пропитанная вязким составом.

Поясная изоляция - бумага, пропитанная вязким составом.

Экран - лента электропроводящей бумаги.

Оболочка - выпрессованная свинцовая оболочка.

Защитный покров - подушка из крепированной бумаги и пластмассовых лент, две стальные ленты и наружный покров из стеклопряхи по ГОСТ 7006-72.

Алюминиевая токопроводящая жила:

- однопроволочная сечением 25-240 кв.мм ,
- многопроволочная сечением 70-800 кв.мм;

Маркировка жил:

- цифровая: 1, 2, 3, 4,
- цветовая: белая или жёлтая, синяя или зеленая, красная или малиновая, коричневая или чёрная;

Условия эксплуатации.

Основные технические характеристики:

1. Рабочее напряжение 1,6 или 10 кВ
2. Частота переменного тока 50 Гц.
3. Рабочая температура от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, при этом предельно допустимое значение составляет $+70^{\circ}\text{C}$.

Проверяем сечение по нагреву по длительно допустимому току.

Ток допустимый в нормальном режиме

$$I'_{\text{доп}} = I_p / k_{\text{си}} = 40,49 / 0,9 = 44,99 \text{ А} \quad (2.43)$$

Проверка по нагреву: $I_{\text{доп}} > I'_{\text{доп}}$;

$$105 > 44,99$$

Условие «по нагреву» для данного кабеля выполняется. Следовательно, сечение для кабеля АСБ (3×25) выбрано верно.

Проверяем выбранный кабель по потере напряжения по формуле:

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot I_{\text{доп}} / I_p \geq l_{\text{факт}}$$

$$l_{\text{доп}} = 0,26 \cdot 5 \cdot 105 / 40,49 = 3,37 \text{ км} > 1,5$$

Кабель АСБ (3×25) удовлетворяет всем условиям, поэтому окончательно принимаем его, в качестве кабеля питающей линии 6 кВ.

2.4 Картограмма нагрузок

Для определения местоположения ГПП и ЦТП на план предприятия наносится картограмма нагрузок. Картограмма нагрузок предприятия - размещённые по плану окружности, площади которых в выбранном масштабе равны расчётным нагрузкам цехов.

Центр нагрузки цеха является символическим центром потребления эл. энергии цеха. ГПП и ЦТП следует располагать как можно ближе к центру нагрузок, т.к. это позволяет приблизить высокое U к центру потребления эл. энергии и значительно сократить протяжённость сетей.

Площадь круга в определенном масштабе равна расчетной нагрузке соответствующего цеха P_i :

$$P_{Pi} = \pi \cdot r_{Pi}^2 \cdot m, \quad Q_{Pi} = \pi \cdot r_{Qi}^2 \cdot m \quad (2.44)$$

Из этого выражения радиус окружности:

$$r_{Pi} = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m}}, \quad r_{Qi} = \sqrt{\frac{Q_{Pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.45)$$

где P_{Pi} – активная расчетная мощность i -го цеха (таблица 3.3); Q_{Pi} – реак.расчетная мощность i -го цеха (таблица 3.3); m – масштаб для определения площади круга (постоянный для всех зданий предприятия). m выбирается из условия, чтобы была видна наименьшая нагрузка.

Угол сектора (α_i) определяется из соотнош. активных расчетных (P_{Pi}) и освет.нагрузок (P_{Pi0}) зданий.

$$\alpha_i = \frac{P_{Pi0} \cdot 360^\circ}{P_{Pi}} \quad (2.46)$$

При построении картограммы необходимо знать полные расчетные и осветительные нагрузки цехов, которые были рассчитаны в таблице 3.3. Принимаем масштаб $m = 0,125 \text{ кВт/мм}^2$.

Пример расчета:

$$R_{P1} = \sqrt{\frac{P_{P1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{38,16}{3,14 \cdot 0,125}} = 9,86 \text{ мм},$$

$$R_{Q1} = \sqrt{\frac{Q_{P1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{32,64}{3,14 \cdot 0,125}} = 9,12 \text{ мм}$$

$$\alpha_{1 \text{ осв}} = \frac{P_{P0.1} \cdot 360^\circ}{P_{P.1}} = \frac{6,16 \cdot 360^\circ}{38,16} = 58,11^\circ$$

Данные по остальным зданиям сведем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Данные для картограммы

№ п.п.	Наименование здания	$P_{p.o.},$ кВт	$P_{pi},$ кВт	$Q_{pi},$ кВАр	$X_i,$ мм	$Y_i,$ мм	$R_{pi},$ см	$R_{Qi},$ см	$\alpha_{юсв.},$ град.
Нагрузка до 1 кВ									
1	Административное здание	6,16	38,16	32,64	57	95	9,86	9,12	58,11
2	Ремонтный цех	4,03	46,03	49,14	6	83	10,83	11,19	31,52
3	Основной цех	15,61	155,61	123,2	67	54	19,91	17,72	36,11
4	Склад	2,96	14,96	9	15	38	6,17	4,49	71,23
5	Гараж	2,96	12,96	10,2	49	27	5,75	5,1	82,22
6	Склад	7,3	37,3	22,5	100	16	9,75	7,57	70,46
7	Котельное	1,07	51,07	37,5	18	111	11,41	9,77	7,54

Примечание. X_i, Y_i , координаты центров зданий на плане.

Определение условного центра электрических нагрузок

В настоящее время существует ряд математических методов, позволяющих аналитическим путём определить центр электрических нагрузок (ЦЭН) как отдельных цехов, так и всего промышленного предприятия. Среди них можно выделить три основных метода.

Наличие многоэтажных зданий цехов обуславливает учёт в расчётах третий координаты (Z_i).

Таким образом, мы определили ЦЭН для ТП, но поставить их точно в центре электрических нагрузок не всегда технически возможно.

Координаты центра электрических нагрузок всего предприятия определим по формулам:

$$\begin{aligned}
X_{\text{ЦЭН}} &= \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{12} P_{pi}} \\
&= \frac{(38,16 \cdot 57) + (46,03 \cdot 6) + (155,61 \cdot 67) + (14,96 \cdot 15) +}{375,49} \\
&\quad + \frac{(12,96 \cdot 49) + (37,3 \cdot 100) + (51,07 \cdot 18)}{375,49} \\
&= 51,63 \text{ мм} \quad (2.47)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{\text{ЦЭН}} &= \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{12} P_{pi}} \\
&= \frac{(38,16 \cdot 95) + (46,03 \cdot 83) + (155,61 \cdot 54) + (14,96 \cdot 38) +}{375,49} \\
&\quad + \frac{(12,96 \cdot 27) + (37,3 \cdot 16) + (51,07 \cdot 111)}{375,49} = 64,68 \text{ мм.} \quad (2.48)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_{\text{KY}} &= \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{pi} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_{pi}} = \frac{(32,64 \cdot 57) + (49,14 \cdot 6) + (123,2 \cdot 67) + (9 \cdot 15) +}{284,18} \\
&\quad + \frac{(10,2 \cdot 49) + (22,5 \cdot 100) + (37,5 \cdot 18)}{284,18} = 49,16 \text{ мм} \quad (2.49)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{\text{KY}} &= \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{pi} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_{pi}} = \frac{(32,64 \cdot 95) + (49,14 \cdot 83) + (123,2 \cdot 54) + (9 \cdot 38) +}{284,18} \\
&\quad + \frac{(10,2 \cdot 27) + (22,5 \cdot 16) + (37,5 \cdot 111)}{284,18} = 66,76 \text{ мм.} \quad (2.50)
\end{aligned}$$

Таблица 2.5 – Данные для определения ЦЭН

№ п/ п	Наименован ие здания	P_{pi} , кВт	Q_{pi} , кВА	X_b , мм	Y_b , мм	$P_{pi} \cdot X_i$	$P_{pi} \cdot Y_i$	$Q_{pi} \cdot X_i$	$Q_{pi} \cdot Y_i$
Нагрузка до 1 кВ									
1	Админи- стративное здание	38,16	32,64	57	95	2175,1 2	3625, 2	1860, 48	3100,8
2	Ремонтный цех	46,03	49,14	6	83	276,18	4069, 49	294,8 4	4078,6 2
3	Основной цех	155,6	123,2	67	54	10425, 87	8402, 94	8254, 4	6652,8
4	Склад	14,96	9	15	38	224,4	568,4 8	135	342
5	Гараж	12,96	10,2	49	27	635,04	349,9 2	499,8	275,4
6	Склад	37,3	22,5	100	16	3730	596,8	2250	360
7	Котельное	51,07	37,5	18	111	919,26	5668, 77	675	4162,5
	Итого					18385, 87	2328 1,6	1396 9,52	18972, 12

Таблица 2.6 – Выбор сечения кабелей сетей предприятия

№ линии	Назначение линии	Кол-во кабеле й	Расчетный ток		Длина линии, м	Доп. рас. коэф.	Допустимая нагрузка на один кабель		Сечение по усл. нагрева, мм ²	Сечение по потере напряж., мм ²	Сечение по экономической плотности, мм ²	Принятая марка, кол-во и сечение кабелей ,мм ²	
			I _{рас} , А	I _{рав} , А			Г _{доп} ,А	S _{экон} , мм ²					
Нагрузка 0,4 кВ													
Л1	Администра тивное здание	1	72,49	72,49	29	0,9	81	51,78	16	16	50	АВББШВ (4×50)	
Л2	Ремонтный цех	1	97,18	97,18	25	0,9	108	69,41	25	25	70	АВББШВ (4×70)	
Л3	Основной цех	2	286,48	358,1	38	0,9	400	204,63	2×70	2×70	2×95	2АВББШВ (4×95)	
Л4	Склад	1	111,87	111,87	66	0,9	124,3	79,9	35	35	95	АВББШВ (4×95)	
Л5	Гараж	1	86,67	86,67	41	0,9	96,3	61,91	16	16	70	АВББШВ (4×70)	
Л6	Склад	1	62,87	62,87	32	0,9	70	44,91	10	10	50	АВББШВ (4×50)	
Л7	Котельное	1	91,45	91,45	33	0,9	102	65,32	25	25	70	АВББШВ (4×70)	

2.5 Выбор защитной аппаратуры

Выбор предохранителей

Предохранители - это коммутационные электротехнические изделия, используемые для защиты электрической сети от сверхтоков и токов короткого замыкания.

Условия выбора предохранителей:

$$I_{\text{пл.вст.}} \geq I_{\text{пуск}}/\alpha \quad (2.51)$$

где $\alpha = 2,5$ для двигателей с плавным пуском; $\alpha = 2,0$ для двигателей со средним пуском; $\alpha = 1,6$ для двигателей с тяжелым пуском.

Для линии Л1 $I_{\text{пл.вст.1}} > I_{\text{рЛ1}} > 87$. С учетом запаса и возможных ложных срабатываний, принимаем $I_{\text{пл.вст.1}} = 100$ А.

Для остальных зданий расчет ведется аналогично.

Таблица 2.7 – Выбранные предохранители для производства

№	Назначение линии	Расчетный ток, А	Ток плавкой вставки, А	Марка предохранителя
Л1	Административное здание	72,49	87	ПН2- 100(100)
Л2	Ремонтный цех	97,18	233,23	ПН2- 250(250)
Л3	Основной цех	286,48	687,6	ПН2- 600(600)
Л4	Склад	111,87	134,24	ИПР- 200(160)
Л5	Гараж	86,67	104	ПР2-200(100)
Л6	Склад	62,87	75,44	ПР2-100(80)
Л7	Котельное	91,45	192,05	ПР2-200(200)

На линию 6 кВ выбираем предохранитель ПКТ-102-50 УЗ на ток 100 А.

Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматических выключателей является ответственной задачей, к которой нужно отнестись серьезно. В условиях возникновения аварийных ситуаций правильно выбранный автомат является гарантией защиты не только вашего оборудования, но и вашей жизни.

Автоматический выключатель – это коммутационный аппарат предназначенный для автоматического размыкания электрической цепи в момент возникновения коротких замыканий или перегрузок.

Основными показателями на которые ссылаются при *выборе автоматов* являются :

- количество полюсов;
- номинальное напряжение;
- максимальный рабочий ток;
- отключающая способность (ток короткого замыкания).

$$\begin{aligned} I_{РАСЦ} &= (1,1...1,3) \cdot I_P; \\ I_{ПИК} &= i_{пуск} + (I_P - K_H \cdot I_{НОМ.МАХ}); \\ I_{УСТ.РАСЦ} &\geq (1,25...1,35) \cdot I_{ПИК} \end{aligned} \quad (2.52)$$

Для линии Л1:

$$I_{РАСЦ} = 1,15 \cdot 72,49 = 83,36 \text{ А}$$

$$I_{ПИК} = 181,23 + (72,49 - 0,4 \cdot 72,49) = 224,72 \text{ А}$$

$$I_{УСТ.РАСЦ} \geq 1,35 \cdot 224,72 = 303,4 \text{ А}$$

Для остальных зданий расчет ведется аналогично.

Результат расчета вносим в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Результаты выбора автоматических выключателей

№	Назначение линии	Расчетный ток, А	Ток расцепителя, А	Тип выключателя
Л1	Административное здание	72,49	83,36	A3712Б 160(100)
Л2	Ремонтный цех	97,18	111,76	A3712Б 160(125)
Л3	Основной цех	286,48	329,45	A3796Б 630(400)
Л4	Склад	111,87	128,65	ABM 400(150)
Л5	Гараж	86,67	99,67	A3712Б 160(100)
Л6	Склад	62,87	72,3	A3712Б 160(80)
Л7	Котельное	91,45	105,17	A3716Ф 160(100)

На линию 6 кВ выбираем выключатель ВА 88-40 3-полюсный 630А 35кА ИЭК.

Расчет токов короткого замыкания

При расчете токов КЗ в сетях до 1000 В учитываются все активные и реактивные сопротивления элементов схемы, а также переходные сопротивления контактов. Расчет ведется в именованных единицах. А именно: сопротивления в мОм, а ток в кА.

Переходные сопротивления можно учитывать упрощенно, а именно, путем прибавления добавочного сопротивления в характерной точке КЗ.

1 уровень: РУ и щиты на подстанции $R_{доб} = 15$ мОм

2 уровень: первичные РП, питаемые непосредственно от распределительного щита подстанций или от главной магистрали $R_{доб} = 20$ мОм

3 уровень: вторичные цеховые РП и клеммы аппаратов, питаемых непосредственно от первичных РП $R_{доб} = 25 \text{ мОм}$

4 уровень: коммутационная аппаратура, установленная непосредственно у потребителей электроэнергии, получающих питание от вторичных РП $R_{доб} = 30 \text{ мОм}$.

Составляется однолинейная схема (рисунок 2.

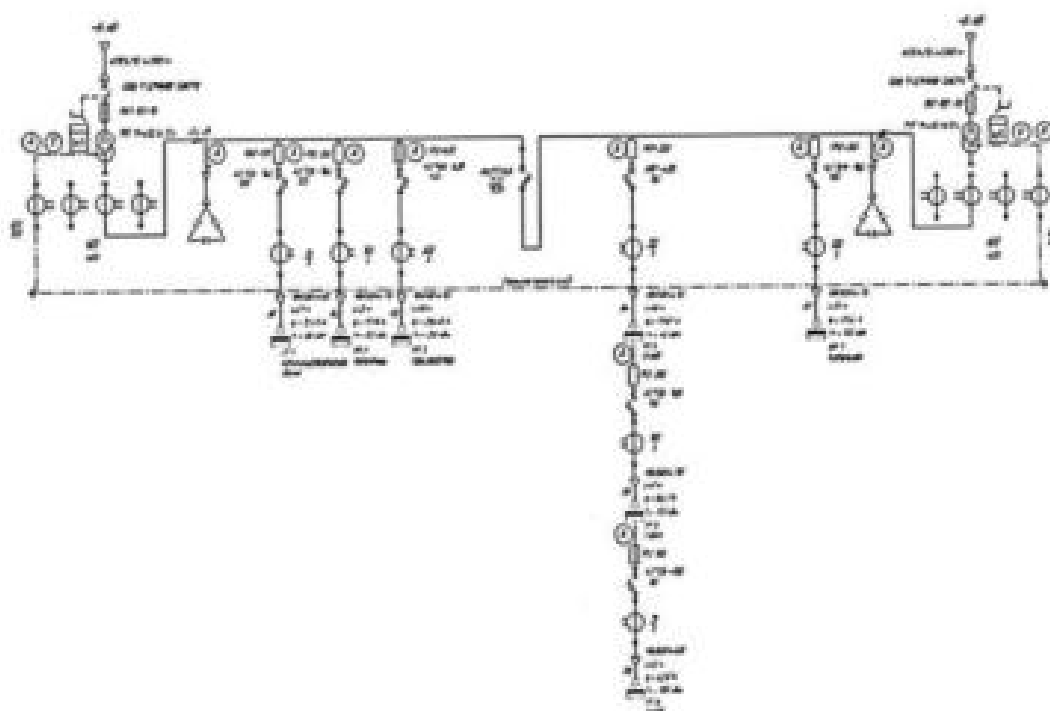


Рисунок 2.1 – Однолинейная схема

Задаются базисные условия. За базисное напряжение принимают $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$. Напряжение системы $U_c = 6 \text{ кВ}$.

Составляется схема замещения, в которой все элементы представляются сопротивлениями (рисунок 2.2).

Определяем численные значения сопротивлений. Сопротивления системы, и питающей линии приводим к $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$.

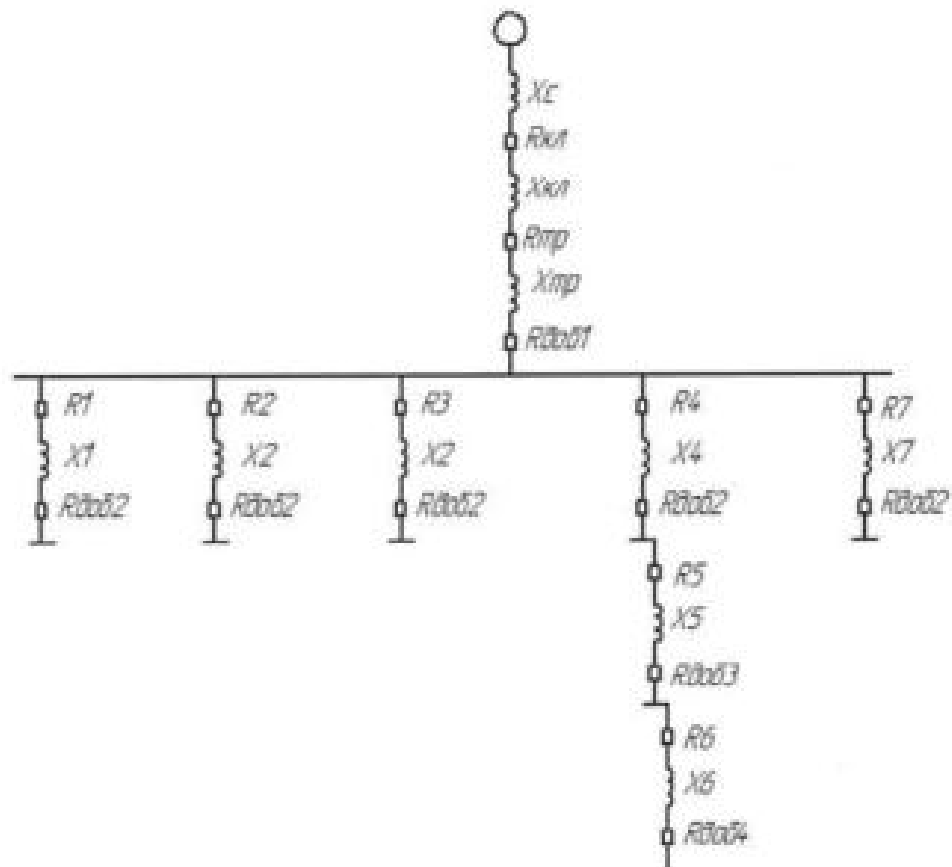


Рисунок 2.2 – Схема замещения, в которой все элементы представляются сопротивлениями.

Сопротивление системы

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{sc}} \cdot \left(\frac{U_\delta}{U_c} \right)^2 \cdot 10^3 \quad (3.59)$$

$$X_c = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,541 \text{ МОм}$$

$$X_{кл} = X_r L_i \quad (3.60)$$

$$R_{кл} = R_r L_i \quad (3.61)$$

где L_i , длина i -го участка, м; R_i , X_i , - активное и реактивное удельное сопротивление проводника, мОм/м.

Точка К0

$$X_{к0} = X_0 \cdot L_0 = 0,0662 \cdot 2000 = 132,4 \text{ мОм}$$

$$R_{к0} = R_0 \cdot L_0 = 1,25 \cdot 2000 = 2500 \text{ мОм}$$

Приведем сопротивления к базисному напряжению

$$X'_{к0} = X_{к0} \cdot \left(\frac{U_6}{U_c}\right)^2 / n_s = 132,4 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 / 2 = 0,294 \text{ мОм}$$

$$R'_{к0} = R_{к0} \cdot \left(\frac{U_6}{U_c}\right)^2 / n_s = 2500 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 / 2 = 5,56 \text{ мОм}$$

Сопротивление силового трансформатора

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2 \cdot n_{тр}} = \frac{5,4 \cdot 400^2}{400^2 \cdot 2} = 2,7 \text{ мОм}$$

$$\begin{aligned} X_{тр} &= \sqrt{\left(\frac{U_{кз}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}} / n_s = \\ &= \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{5,4}{400}\right)^2} \cdot \frac{400^2}{400} / 2 = 8,6 \text{ мОм} \end{aligned}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке К0

$$X_{\Sigma к0} = X_c + X'_{к0} + X_{тр} = 1,541 + 0,294 + 8,6 = 10,435 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma к0} = R'_{к0} + R_{тр} + R_{доб1} = 5,56 + 2,7 + 15 = 23,26 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке К0

$$I_{к0}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma к0}^2 + R_{\Sigma к0}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,435^2 + 23,26^2}} = 9,51 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{удк0} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{к0}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 9,51 = 13,45 \text{ кА}$$

Точка К1

$$X_{к1} = X_0 \cdot L_1 = 0,0625 \cdot 29 = 1,813 \text{ мОм}$$

$$R_{к1} = R_0 \cdot L_1 = 0,625 \cdot 29 = 18,125 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке К1

$$X_{\Sigma к1} = X_{к1} + X_{\Sigma к0} = 1,813 + 10,435 = 12,248 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K1} = R_{K1} + R_{\Sigma K0} + R_{доб2} = 18,125 + 23,26 + 20 = 61,385 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке K1

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma K1}^2 + R_{\Sigma K1}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{12,248^2 + 61,385^2}} = 3,9 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток } i_{y0K1} = \sqrt{2} \cdot k_{y0} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,9 = 5,52 \text{ кА}$$

Точка K2

$$X_{K2} = X_0 \cdot L_2 = 0,0612 \cdot 25 = 1,53 \text{ мОм}$$

$$R_{K2} = R_0 \cdot L_2 = 0,447 \cdot 25 = 11,175 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке K2

$$X_{\Sigma K2} = X_{K2} + X_{\Sigma K0} = 1,53 + 10,435 = 11,965 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K2} = R_{K2} + R_{\Sigma K0} + R_{доб2} = 11,175 + 23,26 + 20 = 54,435 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке K2

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma K2}^2 + R_{\Sigma K2}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{11,965^2 + 54,435^2}} = 4,35 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{y0K2} = \sqrt{2} \cdot k_{y0} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 4,35 = 6,15 \text{ кА}$$

Точка K3

$$X_{K3} = X_0 \cdot L_3 = 0,0602 \cdot 38 = 2,288 \text{ мОм}$$

$$R_{K3} = R_0 \cdot L_3 = 0,329 \cdot 38 = 12,502 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке K3

$$X_{\Sigma K3} = X_{K3} + X_{\Sigma K0} = 2,288 + 10,435 = 12,723 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K3} = R_{K3} + R_{\Sigma K0} + R_{доб2} = 12,723 + 23,26 + 20 = 55,762 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке K3.

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma K3}^2 + R_{\Sigma K3}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{12,723^2 + 55,762^2}} = 4,24 \text{ кА}$$

Ударный ток $i_{y\partial K3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 4,24 = 6 \text{ кА}$

Точка K4

$$X_{K4} = X_0 \cdot L_4 = 0,0602 \cdot 66 = 3,973 \text{ мОм}$$

$$R_{K4} = R_0 \cdot L_4 = 0,329 \cdot 66 = 21,714 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке K4

$$X_{\Sigma K4} = X_{K4} + X_{\Sigma K0} = 3,973 + 10,435 = 14,408 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K4} = R_{K4} + R_{\Sigma K0} + R_{доб2} = 21,714 + 23,26 + 20 = 64,974 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке K4

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma K4}^2 + R_{\Sigma K4}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{14,408^2 + 64,974^2}} = 3,64 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{y\partial K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,64 = 5,15 \text{ кА}$$

Точка K5

$$X_{K5} = X_0 \cdot L_5 = 0,0612 \cdot 41 = 2,509 \text{ мОм}$$

$$R_{K5} = R_0 \cdot L_5 = 0,447 \cdot 41 = 18,327 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке K5

$$X_{\Sigma K5} = X_{K5} + X_{\Sigma K4} = 2,509 + 14,408 = 16,917 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma K5} = R_{K5} + R_{\Sigma K4} + R_{доб3} = 18,327 + 64,974 + 25 = 108,301 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке K5

$$I_{K5}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma K5}^2 + R_{\Sigma K5}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,917^2 + 108,301^2}} = 2,21 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{y\partial K5} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K5}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 2,21 = 3,13 \text{ кА}$$

Точка К6

$$X_{к6} = X_0 \cdot L_6 = 0,0625 \cdot 32 = 2 \text{ мОм}$$

$$R_{к6} = R_0 \cdot L_6 = 0,625 \cdot 32 = 20 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке К6

$$X_{\Sigma к6} = X_{к6} + X_{\Sigma к5} = 2 + 16,917 = 18,917 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma к6} = R_{к6} + R_{\Sigma к5} + R_{до64} = 20 + 108,301 + 35 = 163,301 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке К6

$$I_{К6}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma К6}^2 + R_{\Sigma К6}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{18,917^2 + 163,301^2}} = 1,48 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{y\partial К6} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{К6}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,48 = 2,09 \text{ кА}$$

Точка К7

$$X_{к7} = X_0 \cdot L_7 = 0,0612 \cdot 33 = 2,02 \text{ мОм}$$

$$R_{к7} = R_0 \cdot L_7 = 0,447 \cdot 33 = 14,751 \text{ мОм}$$

Определяем суммарные сопротивления в точке К7

$$X_{\Sigma к7} = X_{к7} + X_{\Sigma к6} = 2,02 + 10,435 = 12,455 \text{ мОм}$$

$$R_{\Sigma к7} = R_{к7} + R_{\Sigma к6} + R_{до61} = 14,751 + 23,26 + 15 = 53,011 \text{ мОм}$$

Ток короткого замыкания в точке К7

$$I_{К7}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma К7}^2 + R_{\Sigma К7}^2}} = \frac{1,05 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{12,455^2 + 53,011^2}} = 4,45 \text{ кА}$$

Ударный ток

$$i_{y\partial К7} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{К7}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 4,45 = 6,29 \text{ кА}$$

Таким образом, выполнен расчет токов короткого замыкания по всем основным точкам.

2.6 Физическая культура на производстве

Физическая культура на производстве – важный фактор обеспечения производительности труда.

С учётом преобладания умственного или физического труда и его тяжести специалисты механизаторы подразделяются на 2 группы: водители самоходных агрегатов и машин (шофёры, трактористы) и специалисты стационарных установок (мотористы, слесари, электрификаторы). Поэтому работа одних связана с управлением транспорта, с большой психофизической нагрузкой, а других – со сложной координацией движения и работой в непростых условиях (на высоте, в узких помещениях). Это требует выносливости, силы отдельных мышц, специальной координации движений. Занятия по физической культуре для выпускников должны включать следующие виды спорта: гиревой спорт, армспорт, борьбу, гимнастику, спортивные игры и другие виды спорта.

Физическая культура на производстве – важный фактор обеспечения производительности труда.

С учётом преобладания умственного или физического труда и его тяжести специалисты механизаторы подразделяются на 2 группы: водители самоходных агрегатов и машин (шофёры, трактористы) и специалисты стационарных установок (мотористы, слесари, электрификаторы). Поэтому работа одних связана с управлением транспорта, с большой психофизической нагрузкой, а других – со сложной координацией движения и работой в непростых условиях (на высоте, в узких помещениях). Это требует выносливости, силы отдельных мышц, специальной координации движений. Занятия по физической культуре для выпускников должны включать следующие виды спорта: гиревой спорт, армспорт, борьбу, гимнастику, спортивные игры и другие виды спорта.

3 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

3.1 Исходные данные

В настоящее время концепция модели электропривода практически приближена к идеалу. Электропривод на основе асинхронного электродвигателя с частотным регулированием является одним из самых популярных на сегодняшний момент. Это объясняется его повышенной надежностью, простой конструкцией и легкостью в обслуживании. Но, не смотря на преимущества частотного регулирования, распространен и прямой пуск асинхронного двигателя (подключение к сети питания), имеющий существенные недостатки.

Одним из самых главных недостатков асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором является наличие у них больших пусковых токов. И если теоретически методы их снижения были хорошо разработаны уже довольно давно, то вот практически все эти разработки (использование пусковых резисторов и реакторов, переключение со звезды на треугольник, использование тиристорных регуляторов напряжения и т.д.) применялись очень в редких случаях.

Жесткие удары, происходящие в результате частых прямых пусков, влекут за собой электродинамические разрушения обмоток двигателя, а также увеличивают износ передаточного звена и исполнительного механизма. Ток, возникающий в момент прямого пуска, во много раз превышает номинальный, а это способствует просадке напряжения в сети, которая может вывести из строя или повредить различные электромеханизмы.

В том случае, если электродвигатель работает по алгоритму, в котором не задано регулирование скорости вращения, а подразумевается лишь выход на номинальную скорость, решение данных проблем заключается в установке

устройства плавного пуска. Такое устройство характеризуется простотой в настройке, надежностью, функциональностью и удобством эксплуатации. Все резко изменилось в наше время, т.к. благодаря прогрессу силовой электроники и микропроцессорной техники на рынке появились компактные, удобные и эффективные устройства плавного пуска электродвигателей (софтстартеры).

Устройства плавного пуска асинхронных двигателей – это устройства, которые значительно увеличивают срок эксплуатации электродвигателей и исполнительных устройств, работающих от вала этого двигателя. При подаче напряжения питания обычным способом, происходят процессы, разрушающие электродвигатель.

Пусковой ток и напряжение на обмотках двигателей, в момент переходных процессов, значительно превышают допустимые значения. Это приводит к износу и пробое изоляции обмоток, «подгоранию» контактов, значительно сокращает срок службы подшипников, как самого двигателя, так и устройств «сидящих» на валу электродвигателя.

В момент пуска электродвигатель является серьезным источником электромагнитных помех, нарушающих работу электронного оборудования, запитанного от этих же электрических сетей, или находящихся в непосредственной близости от двигателя.

Если произошла аварийная ситуация и двигатель перегрелся или сгорел, то, в результате нагрева, параметры трансформаторной стали изменятся настолько, что номинальная мощность, отремонтированного двигателя, может снизиться на величину до 30%, в результате, этот электродвигатель окажется непригодным к использованию на прежнем месте.

Устройство плавного пуска электродвигателей объединяет функции плавного пуска и торможения, защиты механизмов и электродвигателей, а также связи с системами автоматизации.

Плавный пуск с помощью софтстартера реализуется медленным подъемом напряжения для плавного разгона двигателя и снижения пусковых

токов. Регулируемыми параметрами обычно являются начальное напряжение, время разгона и время торможения электродвигателя. Очень маленькое значение начального напряжения может очень сильно уменьшить пусковой момент электродвигателя, поэтому оно обычно устанавливается 30-60% от значения номинального напряжения.

При запуске напряжения скачком увеличивается до установленного значения начального напряжения, а потом плавно за заданное время разгона поднимается до номинального значения. Электродвигатель будет при этом плавно и быстро разгоняться до номинальной скорости.

Применение софстартеров позволяет уменьшить пусковой «бросок» тока до минимальных значений, уменьшает количество применяемых реле и контакторов, выключателей. Обеспечивает надежную защиту электродвигателей от аварийной перегрузки, перегрева, заклинивания, обрыва фазы, снижает уровень электромагнитных помех.

3.2 Разработка электропривода с использованием устройства плавного пуска

Основными преимуществами использования устройств плавного пуска являются:

- снижение бросков тока в статоре электродвигателя в момент его запуска;
- обеспечение полного контроля перегрузок двигателя;
- устранение рывков в приводном механизме, что повышает эксплуатационный срок всего оборудования;
- устранение гидравлических ударов в трубопроводах при запуске насосных агрегатов;
- управление остановкой электродвигателя в заданный момент времени;
- при отключении в аварийной ситуации такое устройство обеспечивает предельное быстродействие.

– устройства плавного пуска электродвигателей просты в устройстве, монтаже и эксплуатации.

При выборе устройства плавного пуска необходимо учитывать следующее:

1. Ток электродвигателя. Необходимо выбирать устройство плавного пуска по полному току нагрузки двигателя, который не должен превышать ток предельной нагрузки устройства плавного пуска.

2. Максимальное число запусков в час. Обычно оно ограничено софтстартером. Необходимо, чтобы количество запусков в час электродвигателя не превышало этот параметр.

3. Напряжение сети. Каждое устройство плавного пуска рассчитано на работу при определенном напряжении. Напряжение сети питания должно соответствовать паспортному значению софтстартера.

Существует несколько режимов работы устройства плавного пуска:

Нормальный. При таком режиме время пуска колеблется в пределах 10 – 20 секунд, требуемое значение пускового тока составляет не более $3,5 \times I_{ном}$.

Тяжелый. Время пуска составляет около 30 секунд. Режим отличается нагрузкой, которая имеет большее значение момента инерции; требуемое количество пускового тока — не более $4,5 \times I_{ном}$.

Самый тяжелый. Время разгона длительное, нагрузка характеризуется очень большим значением момента инерции, пусковой ток — до $5,5 \times I_{ном}$.

Реальные условия работы машин и механизмов могут отличаться от типовых. Поэтому при выборе устройств плавного пуска рекомендуется проведение необходимых измерений.

Благодаря использованию устройств плавного пуска электродвигателя имеется возможность:

- ограничить пусковой ток двигателя на определенном уровне;
- убрать механические ударные нагрузки;
- запрограммировать необходимый темп разгона механизма до установившейся скорости; осуществить реверс электродвигателя;

- обеспечить защиту электродвигателя от аварийных токов;
- избежать недопустимых просадок напряжения в питающей сети при пуске механизма.

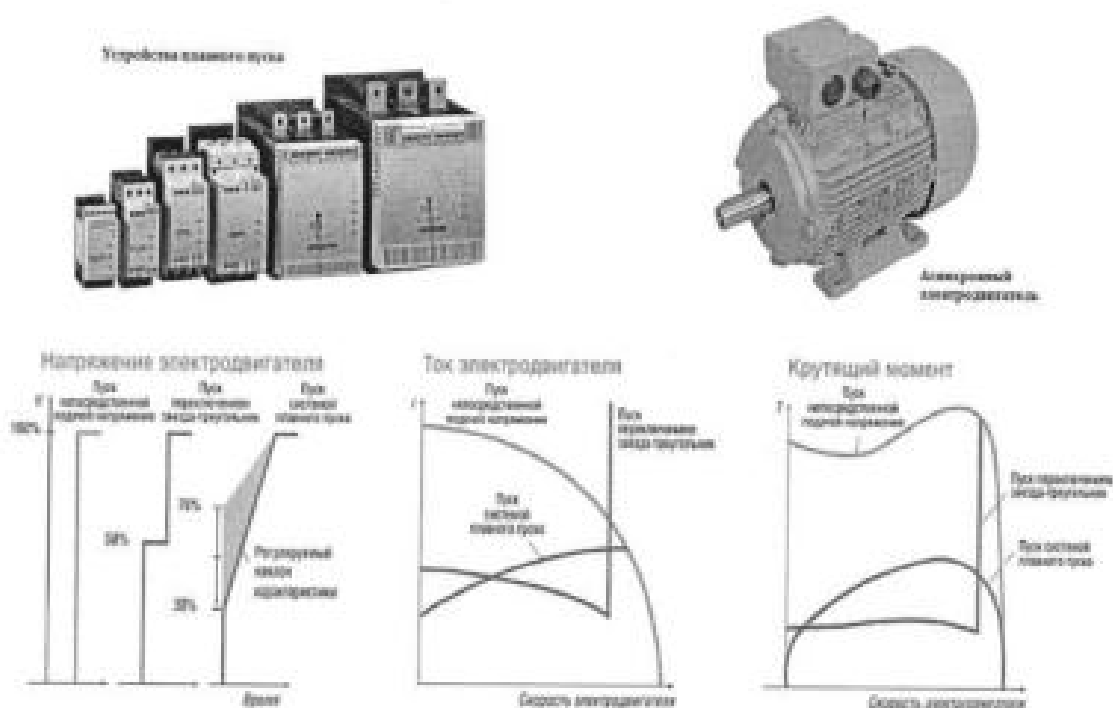


Рисунок 3.1 – Напряжение, ток и крутящий момент электродвигателя

Из всех видов двигателей асинхронные двигатели получили наиболее широкое распространение в промышленности и продолжают вытеснять все больше и больше двигатели постоянного тока.

Асинхронные двигатели получили широкое распространение благодаря следующим своим качествам: дешевизне двигателя, простоте конструкции, надежности, высокому КПД. До настоящего времени асинхронные двигатели уступали место двигателям постоянного тока только в тех случаях, где требовалось плавное регулирование частоты вращения (строгальные станки, правильные машины, регулируемые главные приводы прокатных станов и т. п.), в электрическом транспорте и в приводах большой мощности повторно-кратковременного режима (реверсивные станы). Внедрение в промышленность регулируемых преобразователей частоты позволит, еще шире применять асинхронные двигатели.

Недостатками асинхронных двигателей являются:

- 1) Квадратичная зависимость момента от напряжения, при падении напряжения в сети сильно уменьшаются пусковой и критический моменты (рисунок 3.2).
- 2) Опасность перегрева статора, особенно при повышении напряжения сети, и ротора при понижении напряжения.
- 3) Малый воздушный зазор, несколько понижающий надежность двигателя.
- 4) Большие пусковые токи асинхронных двигателей (рисунок 3.3).

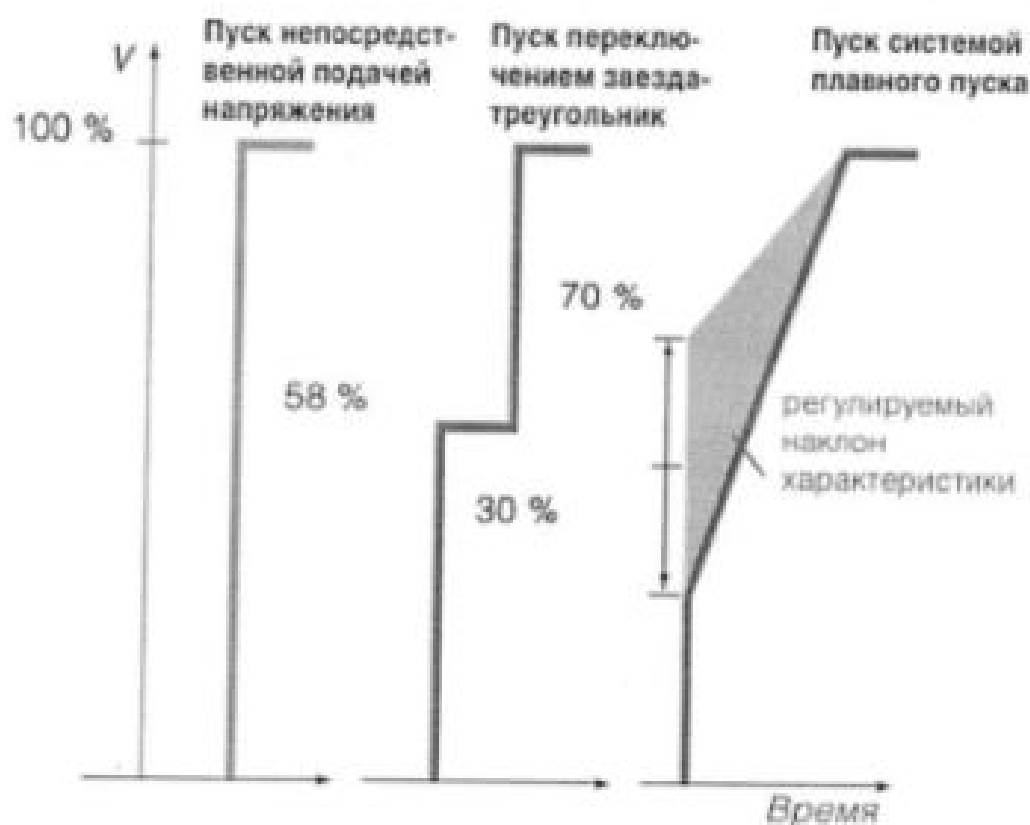


Рисунок 3.2 – Напряжение электродвигателя

При пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором ток статора больше номинального в 5 - 10 раз. Такие большие токи в статоре недопустимы по условиям динамических усилий в обмотках и нагрева обмоток. В асинхронных двигателях могут возникать переходные режимы с большими бросками тока не только при подключении двигателя к сети но и при его реверсе и торможении.



Рисунок 3.3 – Сила тока электродвигателя

Для чего нужно ограничивать пусковой ток в обмотках статора асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Необходимость ограничения тока двигателей диктуется причинами электрического и механического характера.

Причины электрического характера ограничения тока двигателей могут быть следующие:

1) Уменьшение толчков тока в сети. В некоторых случаях для крупных двигателей требуется ограничить пусковой ток до допустимого для питающей системы.

2) Уменьшение электродинамических усилий в обмотках двигателя.

Уменьшение толчков тока в сети требуется обычно при пуске крупных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, если они получают питание от сравнительно маломощной питающей системы. Кроме того, для крупных двигателей заводы-изготовители машин не разрешают прямой пуск

из-за чрезмерно больших электродинамических усилий в лобовых частях обмоток статора и ротора.

Для устройств, эксплуатация которых предполагается при температуре не выше 40°C, при температуре от 40 до 50 необходимо выбирать устройство плавного пуска (УПП) на один номинал старше, при температуре от 50 до 60 необходимо выбирать УПП на два номинала старше (рисунок 3.4).

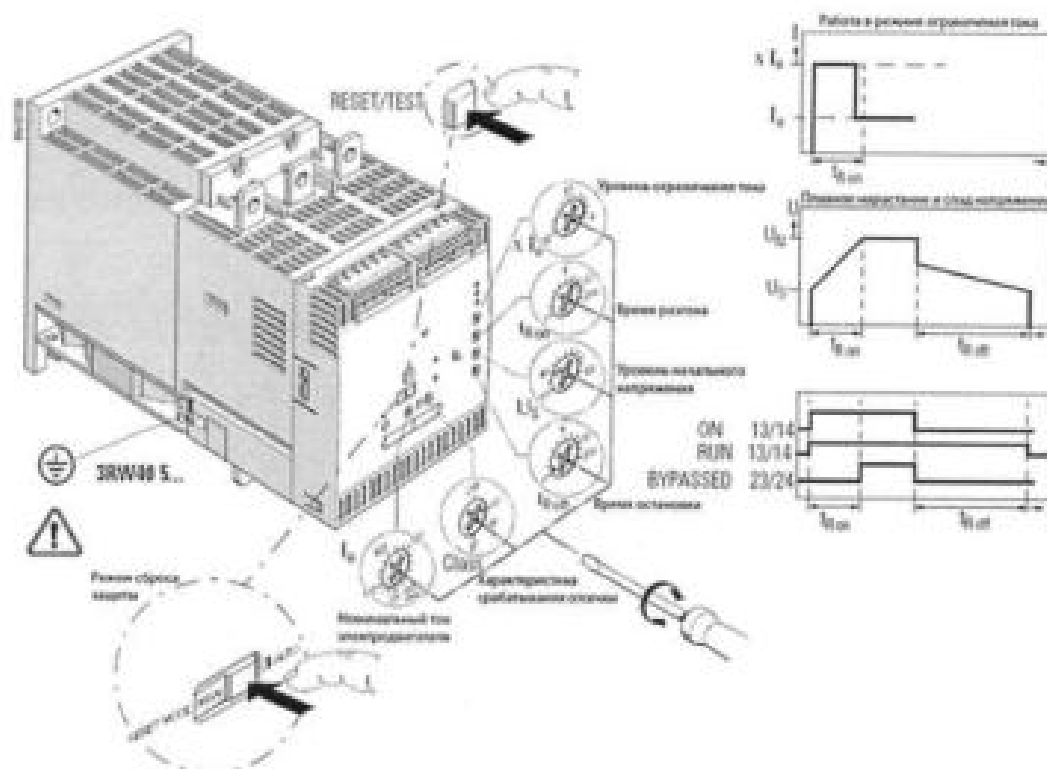


Рисунок 3.4 – Общая схема управления УПП

Причины механического характера ограничения момента двигателей.

Причинами могут быть самыми разнообразными, например предотвращение поломки или быстрого изнашивания передач, соскальзывания ремней со шкивов, буксования колес подвижных тележек, больших ускорений или замедлений, недопустимых для оборудования или людей в различных средствах передвижения и т. д. Иногда требуется уменьшить пусковой момент двигателей, даже небольших, для того чтобы смягчить удары в передачах и обеспечить плавное ускорение.

Во всех случаях, где условия работы не требуют форсированных ускорений или замедлений, желательно рассчитывать режимы на минимальные броски тока, а следовательно, и момента, сохраняя этим передачи механизма и двигатель.

Для ограничения тока применяются пусковые реакторы, резисторы и автотрансформаторы, а также современные электронные устройства -софт-стартеры (устройства плавного пуска двигателей).

Необходимо обратить внимание на то, что ограничение тока и момента с помощью устройств плавного пуска двигателей получается за счет усложнения схемы управления и удорожания установки, а потому должно применяться только там, где это обосновано.

Анализ технических решений: устройства плавного пуска, частотно-регулируемый привод или параллельная схема управления насосом.

Обеспечение энергоэффективности – одна из наиболее актуальных и в то же время сложных задач в настоящее время. Сокращение затрат на потребление электроэнергии – это один из методов повышения рентабельности производства и эффективной эксплуатации технологических линий. Общий анализ предприятий в самых различных областях применения показывает, что затраты, связанные с закупкой оборудования и простоем производства из-за обслуживания и ввода нового оборудования в эксплуатацию, могут быть частично компенсированы за счет экономии на потреблении электроэнергии.

Часто используемый механический способ управления подачей насоса, или метод дросселирования, является крайне неэффективным с точки зрения экономии электроэнергии. В связи с этим возникает вопрос: какое из двух технических решений является самым экономичным методом снижения потребления энергии – частотно-регулируемые приводы или циклическое управление (рис. 4.4.) По существу, характеристика гидравлической системы, в которой используется центробежный насос, является определяющим фактором при выборе одного или другого метода управления.

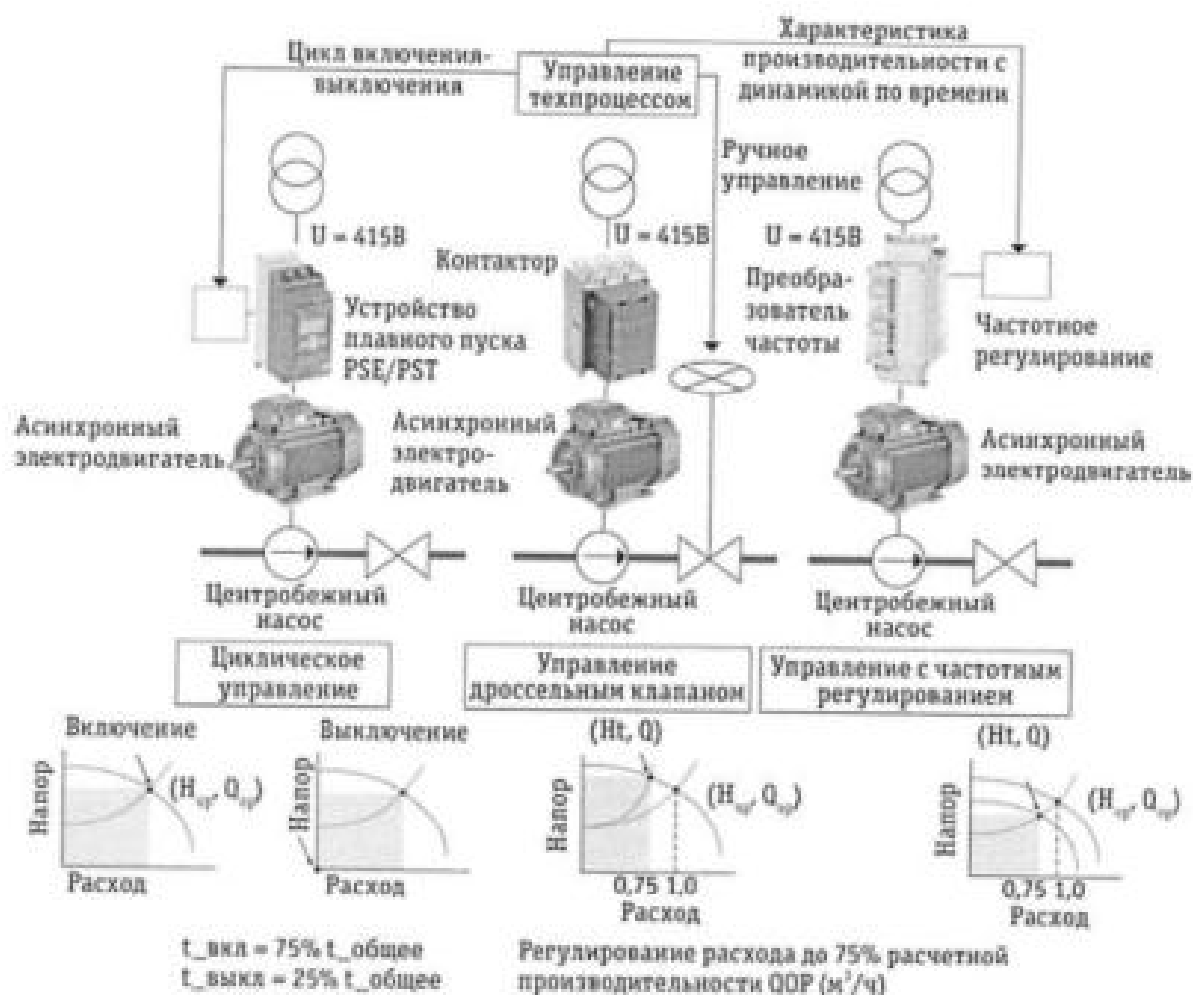


Рисунок 3.5 – Регулирование расхода в системе посредством дросселирования, циклического и частотного управления

В сфере обработки сточных вод включение/выключение центробежных насосов, как правило, выполняется под контролем системы управления технологическим процессом. Остаточная вода (то есть вода, поступающая из жилых или коммерческих зданий) обычно собирается в отстойниках или резервуарах для сточных вод до момента ее перекачки с помощью насосов на муниципальные водоочистные станции [10]. С учетом некоторой периодичности, использование устройств плавного пуска значительно снижает риск засорения насосов отходами, содержащимися в воде.

Циклическое управление является интересной альтернативой частотно-регулируемому приводу, несмотря на утрату гибкости при регулировании расхода. Другими словами, устройство плавного пуска считается подходящей

и конкурентоспособной технологией, защищающей асинхронный электродвигатель от электрических перегрузок, механических ударов и вибрации при пуске, а также от гидравлических ударов в трубопроводной системе, возникающих при останове насоса. Кроме того, электродвигатель эксплуатируется в оптимальной рабочей точке и выключается на остальное время.

Рабочие характеристики преобразователя частоты, устройства плавного пуска и электродвигателя

Преобразователи частоты имеют высокий КПД (η_{conv}), который естественным образом уменьшается, когда происходит снижение выходной мощности по отношению к номинальному значению. При работе УПП в установившемся режиме, то есть при активации байпаса, КПД устройств плавного пуска составляет практически 100 %. Следует отметить, что КПД устройств плавного пуска заметно снижается с увеличением количества пусков в час и сокращением интервалов рабочего времени, что обусловлено дополнительными потерями Джоуля при пуске и останове электродвигателя, а также работой тиристоров (рис. 3.6).

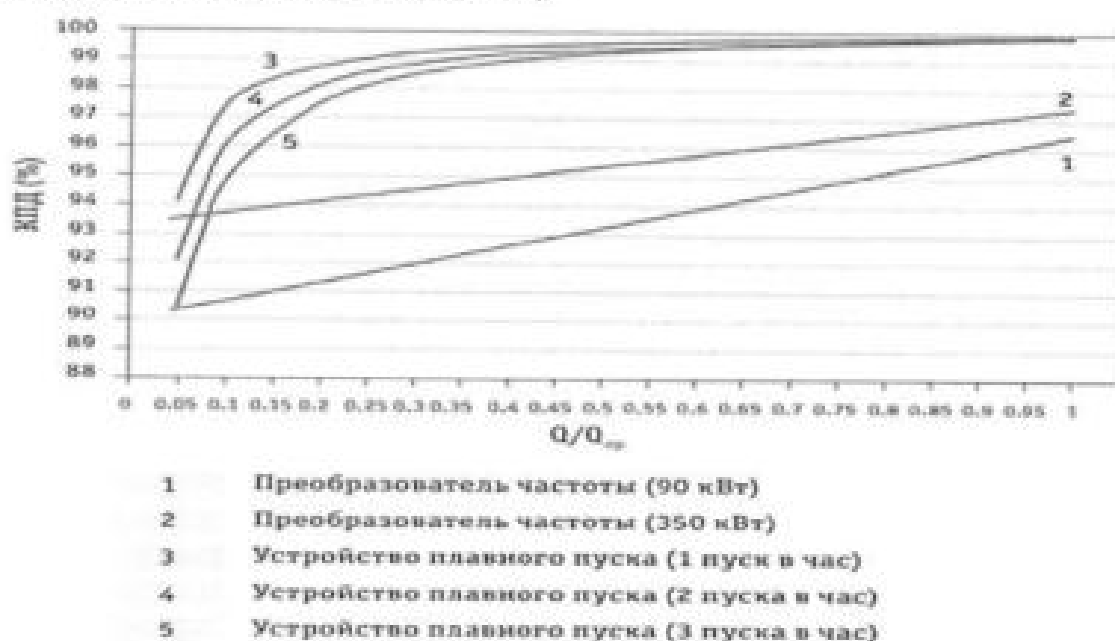


Рисунок 3.6 – Изменение электрического КПД (%) устройства плавного пуска и преобразователя частоты с насосной нагрузкой

Принятые недавно более строгие стандарты (классы IE) гарантируют повышенный КПД электродвигателя – при его работе под нагрузкой [3, 4] (рис. 3.7 и 3.8).



Рисунок 3.7 – Влияние класса энергоэффективности электродвигателя на КПД насоса

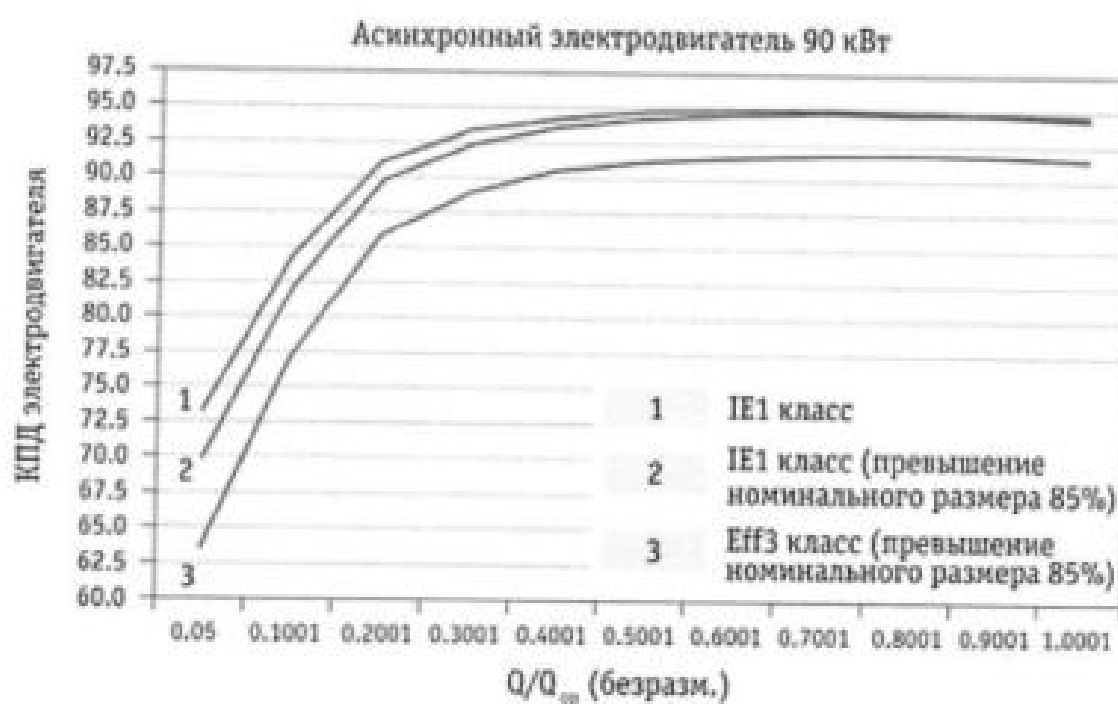


Рисунок 3.8 – Изменение электрического КПД электродвигателя с гидравлической нагрузкой

На КПД электродвигателя (в строгой зависимости от класса) влияет использование либо преобразователя частоты, либо устройства плавного пуска: КПД снижается при питании от быстродействующего выходного инвертора ПЧ вследствие наличия гармонических искажений по току и напряжению, но не изменяется при питании от УПП после окончания переходного процесса разгона благодаря синусоидальной форме напряжения на выходе устройства.

Энергосбережение, достигнутое при использовании частотного и циклического управления в насосных системах 90 кВт, показано на рис. 4.8. В системах с преобладанием напора на преодоление трения (5 %) частотное управление обеспечивает более высокую экономию энергии практически во всем рабочем диапазоне (от 7 до 98 %) для обеих насосных систем. В случае насоса 90 кВт и в системе с преобладанием статического напора (50 %) циклическое управление является лучшим техническим решением по сравнению с использованием частотного преобразователя для всех рабочих точек. Преобразователь частоты обеспечивает чуть более высокую экономию энергии для насоса мощностью 350 кВт, но только в диапазоне от 75 до 92 % производительности насоса. При рассмотрении комбинированной гидравлической системы (25 %), управление посредством частотно-регулируемого привода позволяет получить более высокую экономию электроэнергии только для насосов с производительностью выше 28 % (для системы 90 кВт) и 24 % (для системы 350 кВт). В действительности, самая высокая экономия энергии при использовании частотного управления наблюдается в диапазоне производительности насоса от 15 до 20 %.

В отличие от преобразователей частоты, в которых присутствуют потери на полупроводниковых компонентах при номинальном режиме работы, устройства плавного пуска, в этом случае, работают через байпасный контактор, таким образом тиристоры не задействованы (рисунок 3.10).

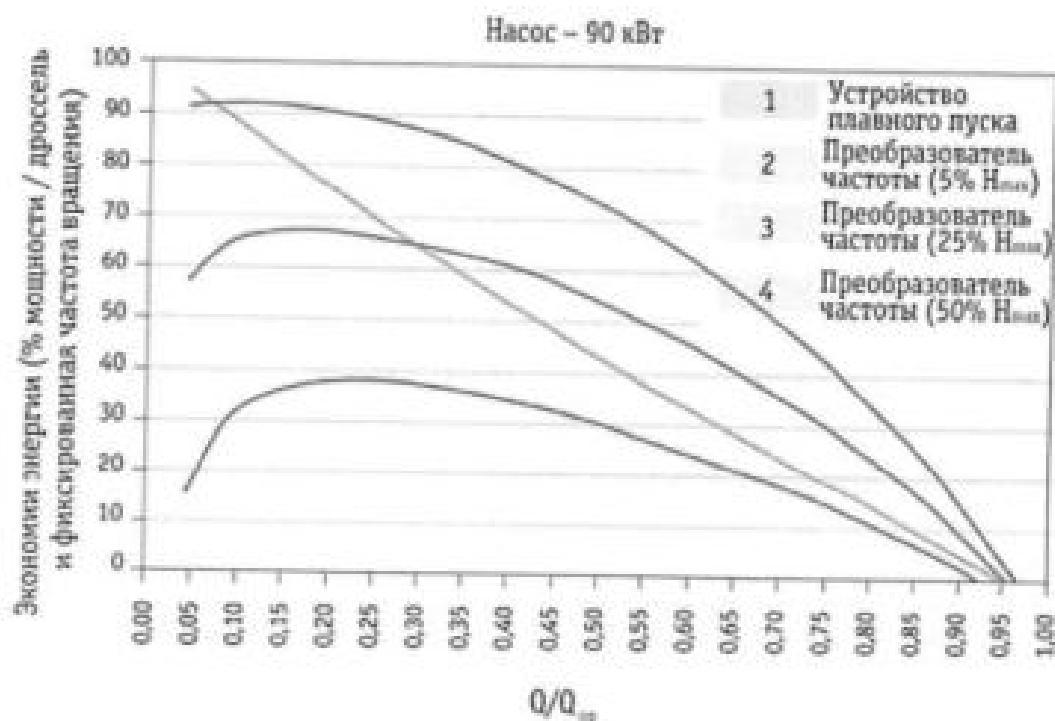


Рисунок 3.9 – Экономия энергии [%] при частотном и циклическом управлении для насоса 90 кВт

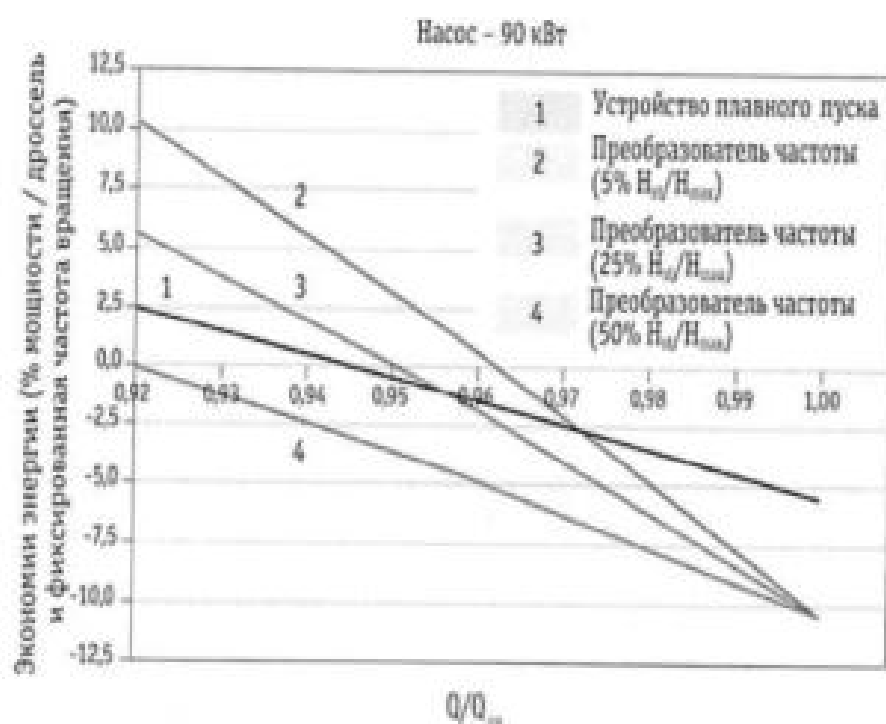


Рисунок 3.10 – Оптимальный КПД для насоса 90 кВт при байпасировании через устройство плавного пуска при высоких нагрузках (90–100 % расчетной производительности)

И следовательно, нет дополнительных тепловых потерь. Эксплуатационные и системные характеристики, при которых предпочтителен выбор того или иного способа управления для регулирования производительности насоса, приведены на рисунок 3.11.

Одним из важнейших факторов для заказчиков является расчет окупаемости инвестиций, в которые входят дополнительные расходы в связи с простоем оборудования во время монтажа и ввода в эксплуатацию устройства плавного пуска.

Стоимость преобразователя частоты в три раза выше стоимости устройства плавного пуска для насосов с номинальной мощностью до 25 кВт, а для насосов 350 кВт – в пять раз [10]. Общие начальные инвестиции при частотном регулировании или циклическом управлении рассчитываются как сумма стоимости частотного преобразователя или устройства плавного пуска и плюс процентная доля расходов, связанных с простоем оборудования, по отношению к расходам, затраченным на протяжении всего жизненного цикла работы технологической линии [10]. Для частотных преобразователей и устройств плавного пуска эта доля составляет 7,5 %.

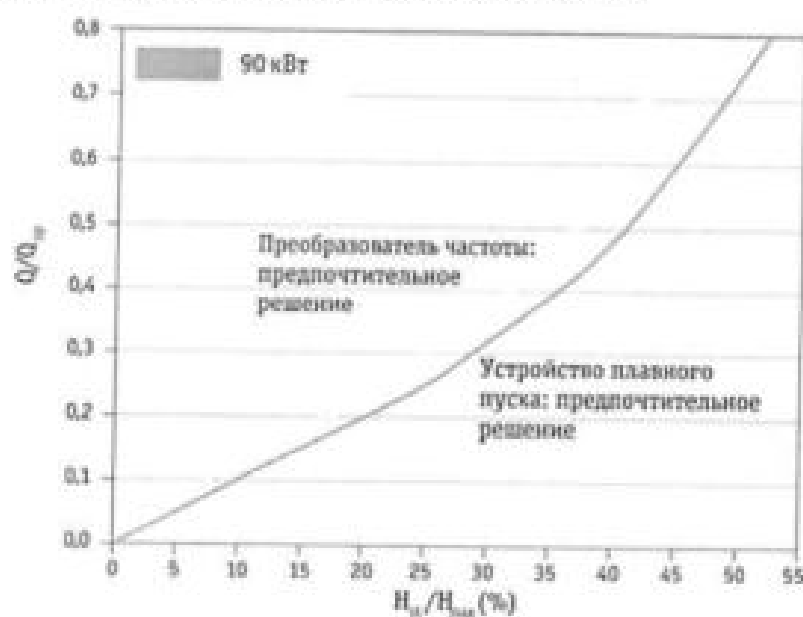


Рисунок 3.11 – Контрольная точка, в которой экономия при использовании циклического управления становится выше, чем при использовании решения с частотно-регулируемым приводом.

Стоимость индивидуальных компонентов может различаться по нескольким причинам. Прежде всего, следует отметить, что низковольтные частотные преобразователи чаще применяются при продолжительном режиме включения электродвигателя, а не в режиме пуска/останова, и обеспечивают более точное управление.

Период окупаемости для преобразователей частоты и циклического управления расходом показан на рис. 3.12 для электродвигателей 90 кВт и 350 кВт для трех гидравлических систем: 5 %, 25 % и 50 %.

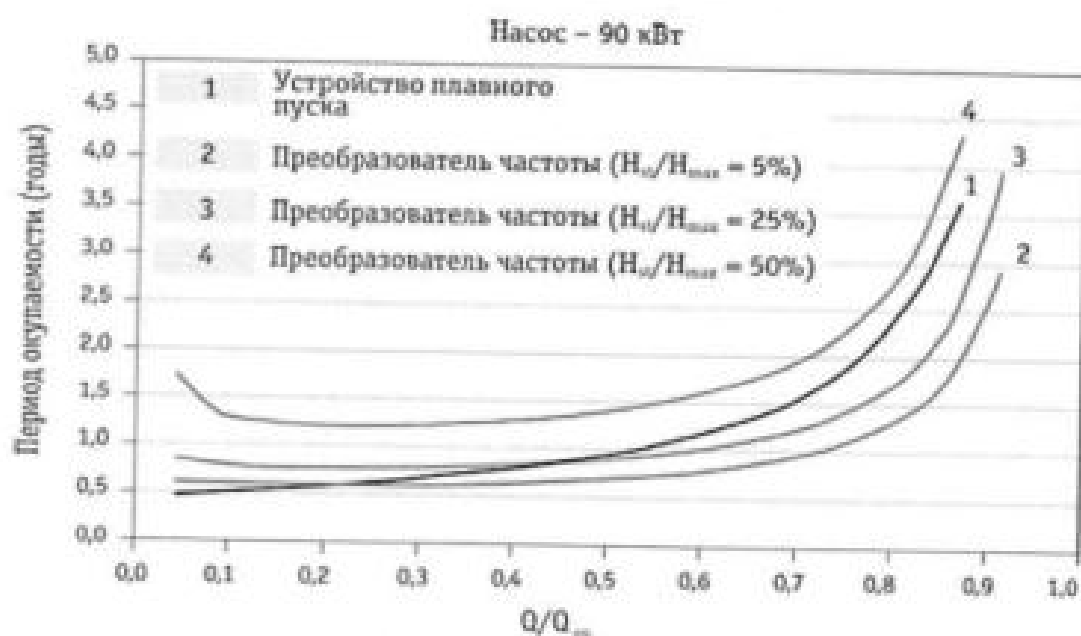


Рисунок 3.12 – Период окупаемости решений с частотным и циклическим управлением (устройство плавного пуска) для насоса 90 кВт

Однако биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), применяемые в частотных преобразователях, требуют поддержания определенного температурного режима и охлаждения, что делает их достаточно дорогостоящими элементами и соответственно повышает стоимость частотных преобразователей по сравнению с устройствами плавного пуска такой же номинальной мощности. В устройствах плавного пуска полупроводниковые силовые элементы – тиристоры – отработывают только режимы пуска и останова со средним временем каждого режима около 15 секунд. Стоит отметить, что недорогие и надежные тиристоры не требуют постоянного принудительного охлаждения.

3.3 Безопасность жизнедеятельности при использовании устройства плавного пуска

Требования безопасности жизнедеятельности перед началом работы

1. Осмотреть, привести в порядок и надеть спецодежду и спецобувь. Волосы убрать под головной убор. Надеть каску.

2. В соответствии с нормами выдачи спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты машинисту пневмотранспортных установок выдаются:

Наименование средств индивидуальной защиты	Сроки носки
Костюм х/б пылезащитный	14 месяцев
Рукавицы комбинированные	3 месяца
Респиратор противопылевой	до износа
Каска противoshумная	24 месяца
Очки защитные	до износа

Работодатель обязан заменить или отремонтировать спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты, пришедшие в негодность до истечения установленного срока носки по причинам, не зависящим от работника.

3. Перед началом работы машинист пневмотранспортных установок должен проверить:

- соответствие записей в журнале приема-сдачи смены техническому состоянию оборудования и рабочего места;

- наружным осмотром - герметичность приемных устройств, болтовых соединений, сварных швов сосудов и трубопроводов, находящихся под давлением;

- отсутствие трещин, выпучин на стенках сосудов, а также исправность креплений люков;

- наличие и исправность средств индивидуальной защиты (респиратор, защитные очки, рукавицы и пр.), наличие и комплектность аптечки доврачебной помощи;

- наличие средств пожаротушения;

- освещенность рабочего места, в первую очередь пусковых устройств, приводов, ограждений, натяжных устройств, лестниц, переходных мостиков и т.д. Неисправности в осветительной сети устраняет электромонтер;

4. Все обнаруженные неполадки и нарушения отразить в журнале и сообщить мастеру.

5. Если время приема смены совпало с моментом аварии или недопустимого отклонения в режиме работы агрегата, смену необходимо принимать только с разрешения мастера, начальника смены или начальника цеха.

6. Осмотр состояния пневмокамерных насосов производить только при отключенных от питающей сети электродвигателях и вывешенных на пускателях плакатах "Не включать - работают люди!".

7. Перед пуском убедиться в отсутствии людей в рабочей зоне оборудования и дать предупредительный сигнал.

Требования безопасности жизнедеятельности во время работы.

1. В течение смены необходимо следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и электронных указателей пневмокамерных насосов. При обнаружении нарушений сообщить мастеру или начальнику смены и руководствоваться его указаниями.

2. Не допускать перегрузок и завалов пневмокамерных насосов.

3. При обслуживании пневмокамерных насосов запрещается:

- работать без манометров, с неисправными манометрами, а также самостоятельно производить их замену;

- производить работы на резервуарах и трубопроводах, находящихся под давлением;

- открывать смотровые люки приемного бункера во время загрузки насоса материалом;

- подтягивать болты фланцевых соединений;

- производить регулировку и замену клапанов системы воздухораспределения, находящейся под давлением;

- работать без средств индивидуальной защиты.

4. Подтягивание болтовых соединений, ремонт трубопроводов производить после отключения рабочего воздуха и снятия давления.

5. Немедленно удалять пролитые масла. Место, залитое маслом, засыпать песком или опилками, а затем убрать с помощью скребка и метлы.

6. Пневмокамерный насос остановить при:

- угрозе аварии или несчастного случая;

- неисправности предохранительных клапанов;

- падении или повышении давления воздуха относительно установленных норм;

- неисправности манометра;

- неисправности системы блокировки;

- угрозе завала оборудования материалом;

7. Ремонтные или очистные работы внутри пневмокамерного насоса должны производиться по наряду-допуску.

8. Перед ремонтом или очисткой необходимо:

- выработать материал из приемного бункера и насоса;

- перекрыть подачу воздуха от магистрали;

- закрыть шибер на тракте разгрузки цемента из мельницы в пневмокамерный насос;

- открыть аспирационный клапан;

- электродвигатель насоса отключить от питающей сети; на пусковые устройства, а также на запорную арматуру, предотвращающую поступление материала и сжатого воздуха в резервуар насоса, вывесить запрещающие знаки безопасности "Не включать - работают люди!".

9. Следить за сигналами, предупреждающими возникновение опасности, соблюдать меры личной безопасности.

Требования безопасности жизнедеятельности в аварийных ситуациях

1. В случае возникновения обстоятельств, указанных в п. 3.6, или при угрозе аварии необходимо остановить работу и сообщить об этом мастеру, начальнику смены или начальнику цеха.

2. В случае пожара необходимо остановить оборудование, полностью обесточить установку, вызвать пожарную охрану, сообщить мастеру или начальнику цеха, принять меры к тушению очага возгорания имеющимися средствами.

Требования безопасности жизнедеятельности по окончании работы

1. До окончания смены произвести уборку рабочего места. Запрещается протирать перильные ограждения, рабочие площадки, ступени лестниц ветошью, смоченной горюче-смазочными материалами, а также производить уборку с помощью сжатого воздуха.

2. Ручной инструмент и инвентарь привести в порядок, сложить в отведенном месте. Поврежденный в течение смены инструмент или инвентарь отремонтировать самостоятельно или сдать мастеру смены для ремонта.

3. Использованный обтирочный материал сложить в предназначенное место.

4. Ознакомить сменщика со всеми неполадками, имевшими место при эксплуатации оборудования в течение смены, произвести соответствующую запись в журнале приема-сдачи смен, доложить мастеру или начальнику цеха.

5. При неявке сменщика, доложить мастеру или начальнику смены и в дальнейшем руководствоваться его указаниями.

6. После окончания смены проверить состояние спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты. Чистка спецодежды легковоспламеняющимися растворителями запрещается. Поместить спецодежду, спецобувь и средства индивидуальной защиты в шкаф. Принять душ.

Меры экологической безопасности.

По федеральному закону «Об охране окружающей среды» (2002 г.): охрана окружающей среды - есть система мероприятий направленное на рациональное использование, охрану и восстановление природных ресурсов, на защиту от загрязнения и разрушения естественного природного фона. К этой системе относятся также проведение мероприятий для создания оптимальных условий сосуществования природы и человеческого общества.

-охрана воздушного бассейна от вредных выбросов, содержащихся в дымовых газах, осуществляется путем выбрасывания газов в атмосферу через дымовую высотой 31,8 м для того, чтобы содержание вредных веществ в нижних слоях атмосферы соответствовало ПДК;

- озеленение территории;
- устроено специальное место для сбора твердых отходов;
- сточные воды перед утилизацией проходят полную биологическую очистку и обеззараживание на очистных сооружениях и сливаются в реку;
- осажденные твердые отходы утилизируются силами хозяйства на поля;
- атмосферные осадки с территории объекта собираются и отводятся на очистные сооружения.

Загрязнение атмосферы соответствует ГОСТу 17.2.3.02- 78 "Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ, промышленными предприятиями".

Загрязнение поверхностных вод вредными веществами должно соответствовать ГОСТу 17.1.3.13-86 "Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений" [10].

2. Очищаемая на очистных сооружениях вода должна соответствовать ГОСТу 11091-630.8-83 "Охрана окружающей среды. Типовая инструкция по эксплуатации очистных сооружений" [10].

3.4 Технико-экономическая эффективность устройства плавного пуска

В процессе технико-экономической оценки определяются следующие основные показатели:

1. Инвестиции (капитальные затраты), тыс. руб.;
2. Годовое сбережение от внедрения того или иного мероприятия, тыс. руб./год;
3. Срок окупаемости мероприятия;
4. Прибыльность мероприятия, т.е. сколько рублей прибыли мы получили на каждый вложенный рубль.

Инвестиции (I_o) включают в себя затраты, связанные с общими вложениями на внедрение энергосберегающего мероприятия или проекта. Они включают в себя следующие статьи затрат:

1. Проект;
2. Стоимость оборудования;
3. Стоимость материалов;
4. Монтаж и наладка;
5. Другие затраты;
6. Налоги.

Годовое чистое сбережение (B) – чистые ежегодные сбережения, получаемые после внедрения энергосберегающего мероприятия или проекта.

$$B = S \cdot E, \quad (3.1)$$

где S – сбереженная за год энергия (электрическая, тепловая и т.д.), кВт·ч/год;
 E – стоимость единицы энергии, руб/кВт·ч.

Срок окупаемости (PB) – время, которое необходимо, чтобы инвестиции окупилась:

$$PB = I_o / B \quad (3.2)$$

Исследования показывают, что многие энергосберегающие мероприятия, имеющие одинаковые, дают разную прибыль при их внедрении.

Поэтому для распределения мероприятий по прибыльности необходимо определить коэффициент чистой прибыли.

Коэффициент чистой существующей прибыли (NPVQ) – отношение чистой существующей прибыли (NPV) к общим инвестициям (I_o):

$$NPVQ = NPV / I_o. \quad (3.3)$$

Наибольший NPVQ указывает на наиболее прибыльное мероприятие.

Чистая существующая прибыль определяется по выражению:

$$NPV = B \cdot \left[\frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \right] - I_o, \quad (3.4)$$

где r – реальная процентная ставка;

n – экономический срок службы мероприятия.

Реальная процентная ставка определяется по выражению.

$$r = (n_r - b) / (1 + b), \quad (3.5)$$

где n_r – номинальная процентная ставка (соответствует заемной процентной ставке банка);

b – уровень инфляции.

Требуется определить коэффициент чистой существующей прибыли от установки тепловой завесы.

Согласно сметной стоимости материалов и оборудования найдем капиталовложения для тепловой завесы по следующей формуле:

$$I = I_o + I_m + I_t, \quad (3.6)$$

где I_o – оптовая цена оборудования, руб.;

I_m – затраты на монтаж и наладку оборудования, руб.;

I_t – транспортно-складские расходы и наценки снабженческих организаций, руб.;

Закупочная стоимость составляет 200000 руб. Устройство плавного пуска 90кВт 400В PST175-600-70 (1SFA894011R7000).

Затраты на монтаж УПП определяем по следующей формуле:

$$I_m = (0,2 \div 0,25) \cdot I_o, \quad (3.7)$$

$$I_m = 0,2 \cdot 200000 = 40000 \text{ руб.}$$

Транспортно-складские затраты определяем по формуле:

$$I_r = (0,1 \div 0,12) \cdot I_o, \quad (3.8)$$

$$I_r = 0,1 \cdot 200000 = 20000 \text{ руб.}$$

Общие капиталовложения подсчитываются по формуле (5.6):

$$I = 200000 + 40000 + 20000 = 280000 \text{ руб.}$$

Годовое сбережение составит:

$$\sum B \approx 130000 \text{ руб}$$

Принимаем $n = 2,2$ лет, $n_r = 25\%$, $b = 15\%$

Реальная процентная ставка:

$$r = (0,25 - 0,15) / (1 + 0,15) = 0,087 = 8,7\%$$

Срок окупаемости:

$$PB = 280000 / 130000 = 2,15 \text{ года}$$

Чистая существующая прибыль:

$$NPV = 130000 \cdot \left[\frac{1 - (1 + 0,087)^{-2,2}}{0,087} \right] - 280000 = 1282,4 \text{ руб.}$$

Коэффициент чистой существующей прибыли:

$$NPVQ = 1282,4 / 280000 = 0,005$$

Таким образом, выполненные расчёты показывают эффективность применения устройств плавного пуска в электроприводе сельскохозяйственных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий строится на основе питающих, распределительных, трансформаторных, преобразовательных подстанций, а также на связывающих их кабельных, воздушных сетях, токопроводов (низкого и высокого напряжения). Проектирование электроснабжения сельскохозяйственных предприятий должно происходить с учетом важнейших требований, определяющих: надежность; удобство; безопасность; обеспечение необходимого количества/качества энергии; бесперебойность снабжения электрической энергии в обычном режиме и послеаварийном; экономичность по затратам энергии, материалов и оборудования.

Устройства плавного пуска являются одним из перспективных технических решений для электропривода. Они регулируют уровень напряжения, подаваемого на электродвигатель, за счет чего обеспечивается плавный запуск и останов привода. Данные устройства плавного пуска отличаются высокой надежностью и имеют встроенные функции для устранения скачков напряжений и тока как при пуске, так и при останове системы. Однако максимального энергосбережения и минимального периода окупаемости для широкого ряда технических систем можно достичь путем применения параллельных схем управлением электроприводами, в которых используется комбинация преобразователей частоты и устройств плавного пуска. Опираясь на ноу-хау в области автоматизации и широкий ассортимент низковольтного оборудования для автоматизации, компания АББ предлагает и другие решения для эффективного использования энергии в самых различных областях применения.

При переводе экономии энергии в процентах (в отношении фиксированной скорости и дросселирования) в показатель экономической эффективности предполагается, что насос работает 8760 часов в год (330×24) при цене 0,065 долл. США за 1 кВт-ч электричества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шогенов А.Н., Стребков Д.С., Шогенов Ю.Н. Аналоговая, цифровая и силовая электроника / Под ред. Академика РАН Д.С. Стребкова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 416 с.
2. Игошин В.А. Методическое пособие для выполнения расчетного задания по курсу «Электроснабжение предприятий», КГЭУ, 2017 г.
3. Бобылев Ю. Методические указания. Устройства плавного пуска и торможения двигателей электроустановок: грамотное использование. КГЭУ, 2016 г.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника / Учебник – М.: Высшая школа, 2000.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ-6 и ПУЭ-7, 8-й выпуск), Новосибирск, Сиб. унив. изд. 2007 г.
6. Кудрин Б. И. “Электроснабжение промышленных предприятий”.
7. Лещинская Т. Б. “Электроснабжение сельского хозяйства”, из-во “Колос”, 2006 г.
8. П. А. Рубцов, П. А. «Применение электрической энергии в сельском хозяйстве». Москва 1997 г.
9. Г. И. Назаров.» Электропривод и применение электроэнергии в с/х». – М. Колос, 2012 г.
10. Справочник. Применение электроэнергии в с/х. Под редакцией П.Н. Листова. М. Колос, 2014 г.
11. А.Г. Мудров, «Текстовые документы» - Учебно – справочные пособия., Казань, РИЦ «Школа», 2004 г.
12. В.Н. Михайлов и др. «Охрана труда в с/х», М. Агропромиздат, 1989 г.
13. Булгариев Г.Г. и др. «Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов и выпускных квалификационных работ», 2009 г.

14. Л.Б. Масандилов «Регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей», 1978 г.
15. Лихачев «Электродвигатели асинхронные», 2002 г.
16. Г.Б. Онищенко «Электрический привод», 2003 г.
17. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. - М.: Высшая школа, 1990 г.
18. Александров К.К., Кузьмина Е.Г. Электротехнические чертежи и схемы. - М.: Энергоатомиздат, 1990 г.
19. Справочник по проектированию электроснабжения. Под редакцией Барыбина Ю.Г., Федорова Л.Е. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990 г.
20. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергия, 1975 г.
21. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / М.: Энергосервис, 2013 – 406 с.
22. ГОСТ 30732-2006. Производства ООО НПП «Пенополимер» г. Коломна
23. Е.П. Шубина. Электропривод - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 376 с.
24. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей. - М.: Энергия, 1974. - 114 с.
25. СНиП 02.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий»



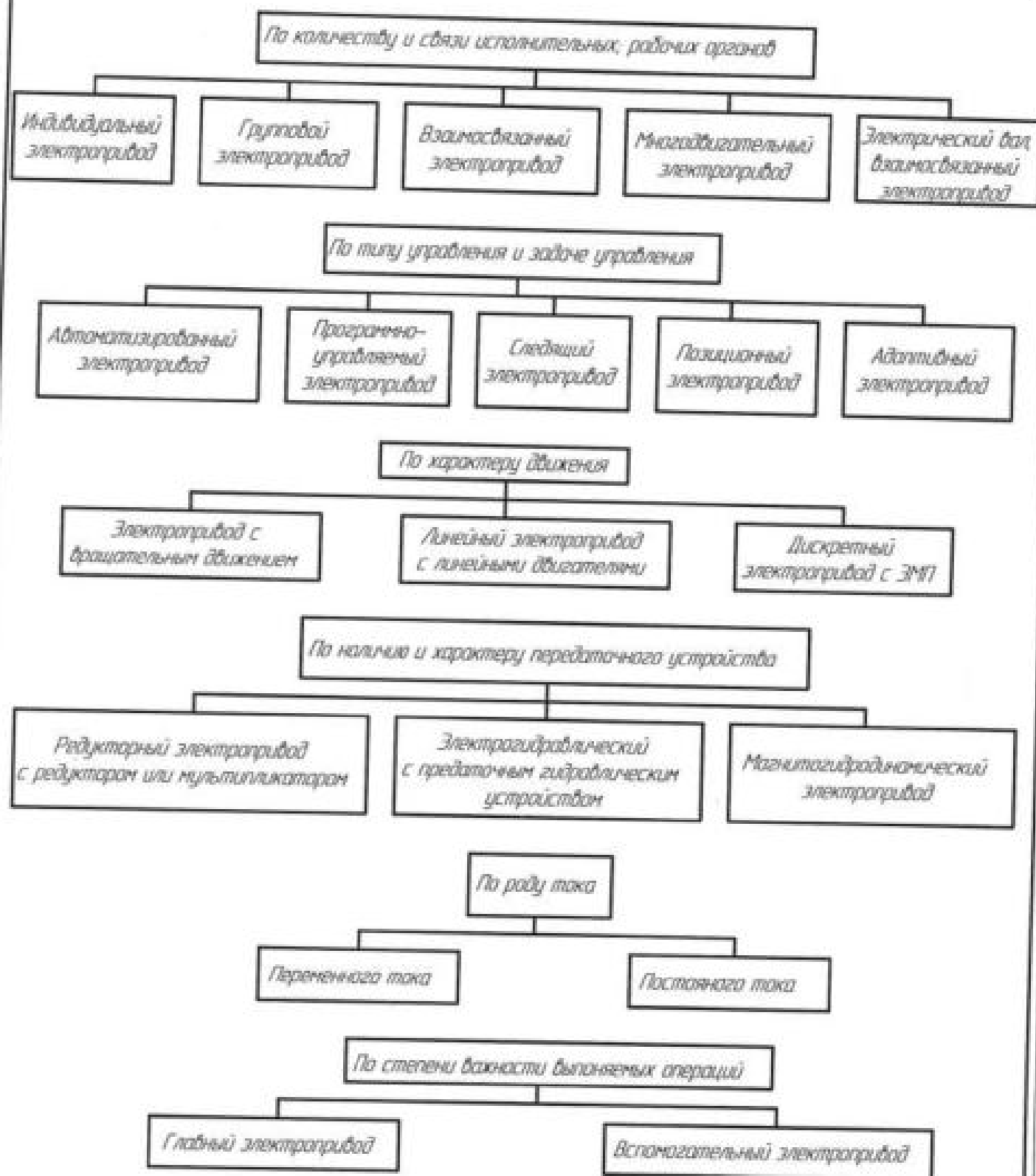
СПРАВКА о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Гайфуллин Р.М.
Подразделение	кафедра МОА
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	Совершенствование системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с разработкой устройства для плавного пуска электродвигателей
Название файла	Гайфуллин Р.М. Совершенствование системы электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с разработкой устройства для плавного пуска электродвигателей.docx
Процент заимствования	22.71 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	14.99 %
Процент оригинальности	62.31 %
Дата проверки	12:35:28 18 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты ИББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Коллекция Патенты; Модуль поиска общепотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Нуруллин Эльмас Габбасович ФИО проверяющего
Дата подписи	 Подпись проверяющего

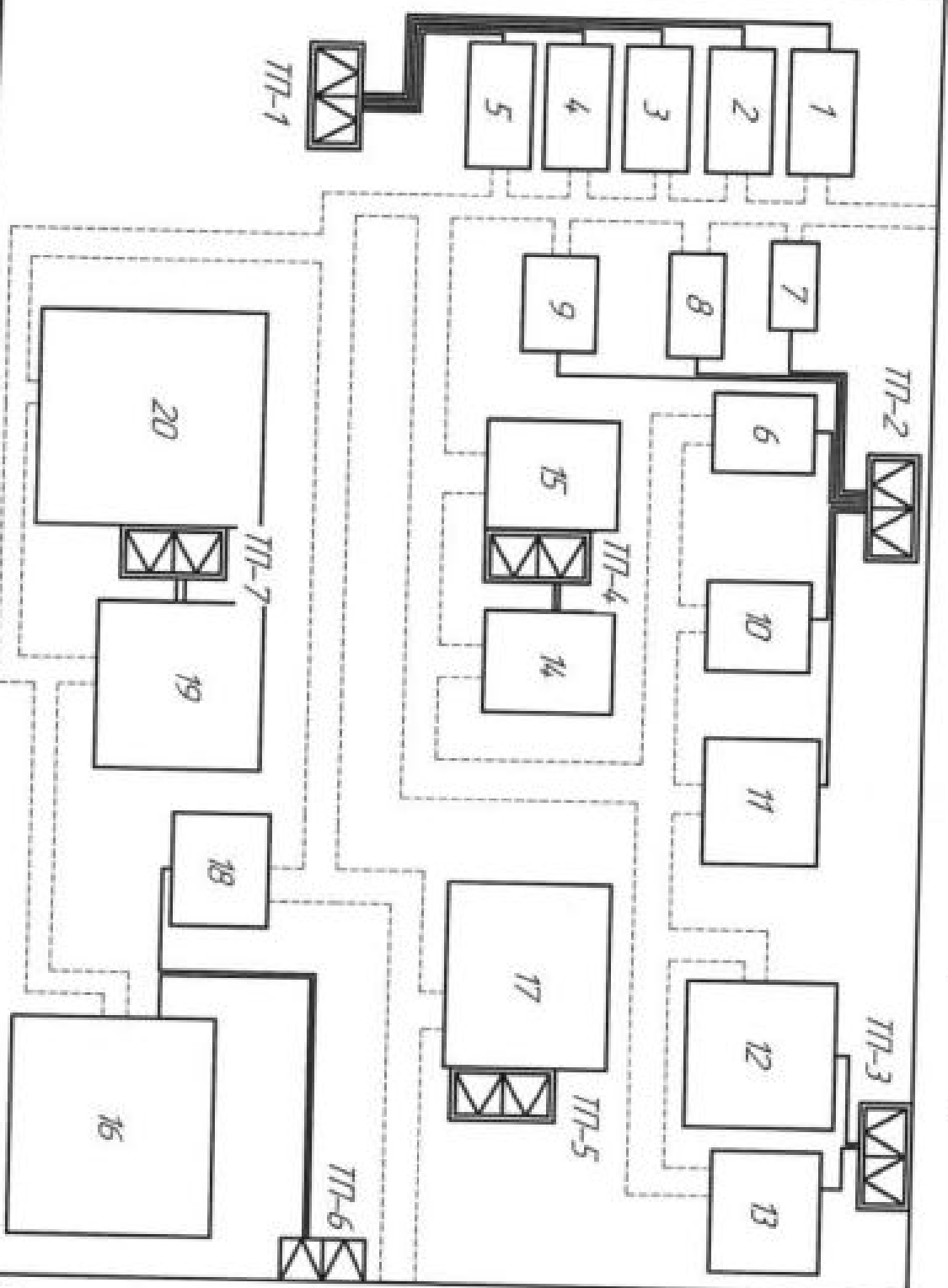


Классификация электроприводов



06.20
06.20
06.20

ВКР 35.03.06.006.20	ПТЗ.00.00.КЗ
Классификация электроприводов	
Классификация	
Классификация	



- 1 Коробчик №1
- 2 Коробчик №2
- 3 Коробчик №3
- 4 Коробчик №4
- 5 Коробчик №5
- 6 Коробчик
- 7 Коробчик
- 8 Коробчик
- 9 Короб
- 10 Дом для собаки
- 11 Мешочек
- 12 Замок
- 13 Кук
- 14 Одежда
- 15 Одежда
- 16 Детские игрушки
- 17 Аксессуары
- 18 Одежда
- 19 Одежда
- 20 Мит

[illegible]



Verfahrensklassifizierung

- **offene Verfahren** (offen zugängliche IT)
 - **offene Kommunikation** (offen zugängliche Kommunikation)
 - **offene Daten** (offen zugängliche Daten)
 - **offene Schnittstellen** (offen zugängliche Schnittstellen)
- **geschlossene Verfahren** (geschlossenen IT)
 - **geschlossene Kommunikation** (geschlossenen Kommunikation)
 - **geschlossene Daten** (geschlossenen Daten)
 - **geschlossene Schnittstellen** (geschlossenen Schnittstellen)

[illegible]

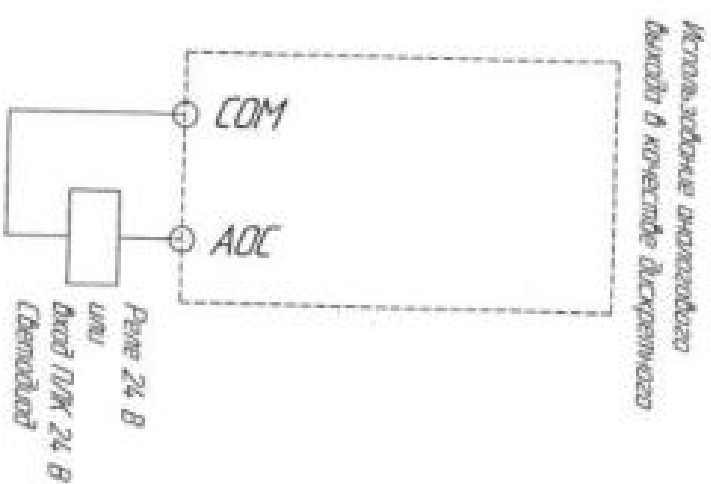
[illegible]

Figure 1 is a line graph showing the dependence of the refractive index n on the concentration of the solution H_2O/CH_3OH (%). The x-axis represents the concentration of the solution, ranging from 0 to 55% in increments of 5. The y-axis represents the refractive index n , ranging from 0.0 to 0.8 in increments of 0.1. There are three curves plotted:

- A straight line labeled "Исходная смесь спирто-бензольная" (Initial mixture of alcohol-benzene), which starts at (0, 0) and increases linearly to approximately (55, 0.75).
- A curve labeled "Удельное падение n при спиртовании" (Specific decrease in n upon alcoholation), which starts at (0, 0) and increases non-linearly, reaching approximately 0.45 at 55% concentration.
- A curve labeled "90 кДт" (90 kD), which starts at (0, 0) and increases non-linearly, reaching approximately 0.35 at 55% concentration.

Тип микробов	Процент (%)
Бактерии	56
Грибы	30
Вирусы	70

Fig. 4. Dependence of maximum intergrowth distance on



Ca: 15
06.20. 15
06.20. 15

1999 10 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035	
--	--