

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт: природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 “Технологические машины и оборудования”  
Кафедра: теоретической и прикладной механики.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Модернизация электропривода запорной арматуры магистральных трубопроводов. УДК 62-83-52:622.692.4.05-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4E21	Солдатенко Денис Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	Кандидат физико- математических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С.	Кандидат химических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теоретической и прикладной механики	Пашков Е.Н.	Кандидат технических наук		

Томск-2017г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт: природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 “Технологические машины и оборудования”  
Уровень образования: бакалавриат  
Кафедра: теоретической и прикладной механики.  
Период выполнения: весенний семестр 2017 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.17
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
17.04.2017	Объект и методы исследования	30
01.05.2017	расчёты	50
29.05.2017	устранение замечаний	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	Кандидат физико-математических наук		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теоретической и прикладной механики	Пашков Е.Н.	Кандидат технических наук		

## Планируемые результаты обучения ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Общекультурные компетенции</b>		
Р1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1; ОК-9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.	Требования ФГОС (ОК-7; ОК-11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8 , п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.	Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность.	Требования ФГОС (ОК-4; ПК-9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах.	Требования ФГОС (ОК-2; ОК-3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях.	Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P7	Умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции.	Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций	Требования ФГОС (ПК-1; ПК-3; ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P9	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.	Требования ФГОС (ПК-2; ПК-4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий.	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства.	Требования ФГОС (ПК-6; ПК-12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.	Требования ФГОС (ПК-21; ПК-22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Готовность составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств,	Требования ФГОС (ПК-11; ПК-13), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный

	систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.	с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.	Требования ФГОС (ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-25), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4; п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Умение применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий, умение применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в нефтегазовом производстве.	Требования ФГОС (ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.8; п. 5.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: природных ресурсов  
 Направление подготовки: 15.03.02 “Технологические машины и оборудования”  
 Кафедра: теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Е21	Солдатенко Денис Николаевич

Тема работы:

Модернизация электропривода запорной арматуры магистральных трубопроводов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
Наименование объекта исследования: Электропривод “ЭПЦМ 10000Д” Производительность: максимальный крутящий момент на выходном звене 10000 Нм Режим работы: Управление задвижкой запорной арматуры Режим работы: Электропривод позволяют осуществлять закрытие - открытие проходного сечения арматуры и остановку запорного устройства арматуры в любом промежуточном положении по командам оператора Требование к продукту: взрывозащищенность Энергозатраты: целью модернизации электропривода является снижение энергопотребления и повышение энергоэффективности.	Модернизация электропривода ЭПЦМ 10000Д для запорной арматуры магистральных трубопроводов, основное требование взрывозащищенность, целью является снижение энергопотребления и экономия на техническом обслуживании, а так снижение уровня экологической безопасности связанные с возможными авариями.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	-Объект и методы исследования -Расчеты и аналитика -Результат проведенного исследования -Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность -Социальная ответственность
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1) Электропривод “ЭПЦМ-10000” (обязательный чертеж) 2) Устройство контроля крутящего момента (обязательный чертеж) 3) Блок коммутации (обязательный чертеж) 4) Бесконтактный датчик положения (обязательный чертеж)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность</b>	Петухов О. Н., доцент, к.э.н.
<b>Социальная ответственность</b>	Король И. С., доцент, к.х.н.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	Кандидат физико-математических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Е21	Солдатенко Денис Николаевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа: 79 стр., 11 рис., 2 таб., 12 ист., 2 прил.

В данной дипломной работе был рассмотрен электропривод ЭПЦМ-10000Д с электромеханическим блоком управления для дистанционного и местного управления запорной арматурой.

Целью работы является модернизация электропривода с электронным блоком управления.

Степень новизны полученного электропривода обуславливается тем, что отключение электродвигателя происходит при достижении затвором задвижки крайних положений, а также при превышении нагрузки на выходном звене электропривода заданных значений крутящего момента. За счет электромеханического блока управления возможно отключение электродвигателя в любом положении затвора задвижки внутри заданного диапазона перемещений.

Электропривод подобного типа применяется для дистанционного и местного управления запорной арматурой DN 600...1000 PN 1,6...10,0 магистральных нефтегазопроводов, эксплуатирующихся в установках на открытом воздухе.

Модернизация электропривода была проведена для повышения его надежности и энергоэффективности, для повышения качества управления и эксплуатации привода. Сокращения дополнительных затрат по обеспечению электропривода стабилизированным питающим напряжением и резервным питанием для поддержания работоспособности системы обогрева и основных модулей блока электронного управления при длительном отсутствии напряжения питания при низких отрицательных температурах окружающей среды. Так же для настройки и обслуживания электропривода не требуется специально обученного персонала.

## Определения

Привод – совокупность устройств, предназначенных для управления запорной арматурой. Основным назначением привода является перемещение запирающего элемента, а также в случае необходимости создание усилия для обеспечения необходимой герметичности в затворе.

Запирающий элемент – регулируемая часть затвора, которая при взаимодействии с седлом позволяет обеспечивать определенную герметичность и осуществить управление потоком транспортируемых сред за счет изменения проходного сечения.

Электропривод переменного, постоянного тока электрический привод, содержащий электродвигатель либо переменного, либо постоянного тока.

Взрывозащищенное электрооборудование электрическое оборудование, в котором заранее предусмотрены конструктивные меры по устранению возможного возгорания его взрывоопасной окружающей среды при эксплуатации этого электрооборудования.

Автоматизированная система управления (сокращённо АСУ) - комплекс аппаратных и программных средств, а также персонала, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия.

Управление местное – управления электроприводом непосредственно с его местоположения.

УХЛ1 – исполнение оборудования, (где У – умеренный климат; ХЛ – холодный климат; 1— оборудование расположено на улице).

## Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель;

БУР – (электронный) блок управления регулируемый;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

ЗА – запорная арматура;

КД – конструкторская документация;

КПД – коэффициент полезного действия;

МОКМ - муфта ограничения крутящего момента

ПМУ – пульт местного управления;

ОТК – отдел технического контроля;

ОКР – опытно-конструкторские разработки;

ЩСУ – щит стационарного управления;

ЭПЦМ – электропривод с циклическим режимом работы многооборотный;

ЭП – электропривод;

## Оглавление

### Введение

1. Обзор литературы.....	15
2. Объект и методы исследования .....	22
4. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность .	41
4.1. Техничко-экономическое обоснование модернизации системы.....	43
4.2 Анализ потенциальных рисков.....	46
6. Патентная проработка.....	47
6.1 Анализ патента .....	52

## Введение

В современном мире системы ЭП устойчиво занимают ведущее место в сфере приводных устройств, которое предоставляет бесперебойную и надежную эксплуатацию механизмов во множественных отраслях техники и жизнедеятельности человека.

Многофункциональные способности и характеристики эксплуатации, нынешних ЭП определяют во многом свойства используемых систем управления.

При эксплуатации трубопроводов нельзя обойтись без элементов ЗА, основным предназначением которых является управление потоками перемещаемой среды. К видам ЗА относятся: заслонки, задвижки, краны и вентили. Вследствие высокой герметичности в закрытом состоянии и небольшого гидравлического сопротивления в открытом задвижки обширно используются на магистральных нефтепроводах. Потребность в осуществлении дистанционного контроля и требований эксплуатации во взрывоопасной зоне порождают обширное использование асинхронного ЭП для перемещения ЗА.

Электропривод запорной арматуры (ЭПЗА) предполагает собой непростой мехатронный модуль, связывающий в собственном составе концепцию управления, энергосилового конвертер, редуктор и асинхронный двигатель. Системы ЭПЗА обширно применяют в производственных процессах при перекачке нефтепродуктов. Выход из строя ЭПЗА способен послужить причиной значительных экономических и экологических последствий. В ситуации, когда максимальный крутящий момент превышает допустимые значение, ЭПЗА способен разрушить корпус задвижки. В том случаи, если ЭПЗА не достигает требуемого момента, есть вероятность заклинивания задвижки в закрытом состоянии, что также, можно отнести к аварийным ситуациям.

В настоящее время АО «Транснефть» в составе запорной арматуры применяют взрывозащищенные электроприводы ЭПЦ-10000 с блоком электронного управления. Опыт эксплуатации электроприводов показал, что наличие в составе электропривода блока электронного управления типа БУР:

- 1) требует дополнительных затрат по обеспечению электропривода стабилизированным питающим напряжением и резервным питанием для поддержания работоспособности системы обогрева и основных модулей

блока электронного управления при длительном отсутствии напряжения питания при низких отрицательных температурах окружающей среды;

2) требует специально обученного персонала для настройки и обслуживания электропривода на действующем объекте.

В данной ВКР была рассмотрена модернизация электропривода ЭПЦМ то есть произведена замена электронного блока управления на электромеханический блок управления, что позволит:

- повысить эксплуатационную надежность за счет исключения блокировки управления электроприводом при неисправности в сравнении с использованием электронного блока управления;
- гарантированно избежать самопроизвольных изменений положения затвора запорной арматуры при повреждениях кабеля управления и отказах, имеющих место при использовании существующих электроприводов с блоком электронного управления;
- уменьшить энергопотребление электропривода по сравнению с использованием электронного блока управления;
- уменьшить расходы на пуско–наладочные работы за счет снижения требований к квалификации персонала;
- уменьшить расходы на ремонт электропривода.

## **1.Обзор литературы**

Требования предъявляемые к приводам арматуры [1 с. 679]

Электроприводы получили широкое применение для управления арматурой благодаря тем достоинствам, которые они имеют. Доступный вид энергии и простота создания коммуникаций для транспортировки этой энергии позволяет устанавливать арматуру с электроприводом в любых

труднодоступных местах. С помощью электропривода сравнительно легко осуществляются следующие действия, связанные с управлением арматуры:

- 1) автоматическая остановка запорного или дросселирующего элемента арматуры при помощи путевого выключателя;
- 2) автоматическое отключение электродвигателя при превышении крутящего момента на выходном валу сверх установленного;
- 3) закрывание и открывание прохода в арматуре с пульта управления путем нажатия кнопок «заккрыть», «открыть» и «стоп»; 4) сигнализация на пульте управления крайних положений шпинделя;
- 5) указание степени открытия арматуры на циферблате путевого выключателя для местного наблюдения;
- 6) дистанционное указание положения запорного элемента на пульте управления при помощи сельсин-датчика и сельсин приемника;
- 7) ручное управление арматурой в аварийных условиях, при отсутствии электроэнергии или выходе из строя какого-либо участка электрической части привода;
- 8) электрическая блокировка электропривода с работой других приводов и механизмов.

Электроприводы в основном имеют компактную конструкцию и малые габариты. Исключением является арматуры малых проходов. Электропривод устанавливается на расстоянии или непосредственно на арматуре; в этом случае передача движения от электропривода к арматуре осуществляется с помощью соответствующих передаточных звеньев (валы, муфты, зубчатые передачи, шарнирные муфты и т. д.).

Электропривод по мощности в основном подбирают так, чтобы на шпинделе арматуры крутящий момент имел величину в пределах 40—100% от наибольшего, который развивает данный. Стопроцентную нагрузку электропривод может принимать только при повторно-кратковременном режиме (ПВ 15%).

Значение ПВ% при повторно-кратковременном режиме работы определяется по формуле:

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_0} \cdot 100 = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{цикла}}} \cdot 100\%, (1)$$

Где  $t_{\text{раб}}$  – продолжительность работы под нагрузкой в мин;

$t_0$  – продолжительность между перерывами в мин.

Продолжительность одного цикла  $t_{\text{цикла}} = t_{\text{раб}} + t_0$  при повторно-кратковременном режиме работы не должна превышать 10 мин. В момент закрытия арматуры, когда соприкасаются уплотняющие кольца клина с корпусом, происходит очень резкое торможение движения, при этом за счет использования кинетической энергии ротора двигателя момент на выходном валу возрастает. Для того чтобы обеспечить надежную работу арматуры, закрытие обязано производиться с моментом, необходимым для обеспечения плотности замка затвора. Чрезмерное увеличение момента при закрытии могут затруднять последующее открытия и привести к поломке деталей.

В связи с увеличением коэффициента трения при трогании с места и под действием увеличенного момента после закрытия затвора мощность электродвигателя для открытия затвора может оказаться недостаточной. Для того чтобы этого не произошло, все электроприводы, снабженные электродвигателями, контролирующие момент на выходном валу при закрытии арматуры. С этой целью применяют реле ограничения максимальной силы тока в электродвигателе (электрический способ) или муфты, которые ограничивают крутящего момента (механический способ)

Использование муфт ограничения крутящего момента (МОКМ) весьма удорожает и затрудняет изготовление электропривода, но механические свойства электроприводов с МОКМ значительно лучше, чем с реле ограничения максимальной силы тока, или, как их обычно называют, реле максимального тока. Муфта ограничения крутящего момента дает возможность ограничивать моменты именно там, где это требуется как при

ручном, так и при электрическом управлении. При эксплуатации реле максимального тока разница между номинальным моментом на выходном валу электропривода и моментом при закрывании будет тем больше, чем выше жесткость арматуры и механизма привода, в связи с этим для арматуры больших проходов разница будет меньше, чем для арматуры малых проходов. Для задвижек разница между механической муфтой и реле силы тока будет меньше, чем в вентилях. Несмотря на указанные недостатки, электроприводы с реле максимального тока получили применение благодаря своей простоте и дешевизне.

Муфты ограничения крутящего момента можно разделить на следующие группы: муфты с подвижным червяком, торцовым кулачком, с радиальным кулачком и муфты фрикционного действия.

Муфты могут быть одностороннего и двустороннего действия. У арматуры, не имеющей верхнего уплотнения (перекрытие сальника), муфта может быть одностороннего действия, ограничение момента при этом происходит только в сторону закрытия арматуры. При открытии крутящий момент от действия электродвигателя не ограничивается. При наличии верхнего уплотнения применяются муфты двустороннего действия, в которых ограничение момента производится при движении в обе стороны.

Силовой расчет электроприводов [1 с. 682]

В электроприводах скорость открывания и закрывания арматуры и крутящий момент на выходном валу привода определяются числом оборотов и мощностью электромотора и передаточным отношением механизма привода. Крутящий момент, создаваемый электромотором при постоянной нагрузке, в момент резкой остановки при закрывании затвора резко возрастает за счет использования кинетической энергии ротора. Для ограничения момента используются муфты или реле ограничения тока.

Общая схема силового расчета электропривода (статический расчет без учета перегрузки и использования кинетической энергии ротора) заключается в следующем.

1. Определяется необходимое общее передаточное число редуктора привода

$$i = \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где,  $n_{\text{ном}}$  — номинальное число оборотов электродвигателя в минуту (при номинальной нагрузке);

$n_{\text{в}}$  — число оборотов в минуту выходного вала привода.

Общее передаточное число привода в зависимости от конструкции и числа пар зубчатых колес разбивается на ряд передаточных чисел таким образом, чтобы было выдержано условие

$$i = i_1 i_2 i_3 \dots i_n, \quad (3)$$

где,  $i_1 i_2 i_3 \dots i_n$  — передаточные числа частных передач.

2. В зависимости от типа, числа передач редуктора и характера их выполнения (наличие масляной ванны, открытая передача и пр.) определяется общий к. п. д. редуктора

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n \quad (4)$$

где,  $\eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n$  — к. п. д. частных передач.

3. Определяется необходимая мощность электродвигателя. Для приводов арматуры наиболее часто используются трехфазные асинхронные электродвигатели с повышенным скольжением в закрытом обдуваемом исполнении типа ЛОС, наиболее пригодные при периодической работе с ударной нагрузкой.

Механическая характеристика асинхронного двигателя приведена на рис. (а) и рис. (б);  $n=f(M)$  и  $M = \varphi(s)$ , т. е. зависимость числа оборотов в минуту  $n$  от вращающего момента  $M$  и вращающего момента  $M$  от скольжения  $s$ .

Скольжение  $s$  равно:

$$s = \frac{n_c - n}{n_c} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где,  $n_c$  – синхронное число оборотов, зависящее только от частоты тока (числа периодов в секунду) и числа полюсов электродвигателя;  $n$  – фактическое число оборотов.

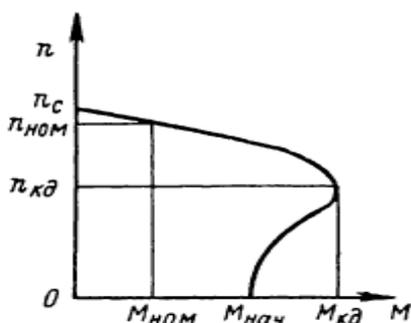


Рисунок 1- Характеристика  $M = \phi(s)$  асинхронного электродвигателя трехфазного тока

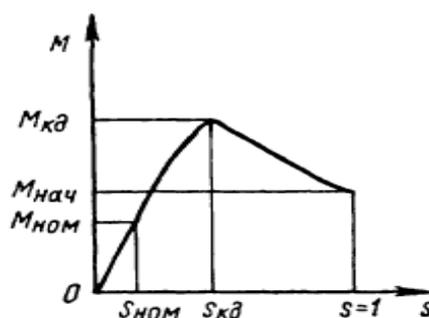


Рисунок-2 Характеристика  $n=f(M)$  асинхронного электродвигателя трехфазного тока.

При синхронном числе оборотов  $n_c = 1500$  об/мин двигатели типа АОС при номинальной мощности дают  $n_{ном} = 1300 \div 1395$  об/мин в зависимости от мощности электродвигателя.

В рассматриваемых двигателях начальный, или пусковой,

$$M_{ном} = (2,2 \div 2,3)M_{ном}; \text{ наибольший момент } M_{нб} = (2,3 \div 2,6)M_{ном}.$$

Из графика  $n=f(M)$  видно, что асинхронный мотор допускает значительное превышение момента по сравнению с номинальным.

Так как наибольшая нагрузка в затворах возникает в последний период закрывания или в первый период открывания, а эти периоды обычно кратковременны, то выбор электродвигателя целесообразно производить с учетом коэффициента перегрузки  $K_n$ .

Расчетную мощность электродвигателя определяют по формуле:

$$N_{расч} = \frac{M_B n_B}{97400\eta} \text{ КВт}, \quad (6)$$

где,  $M_B$  — момент на выходном валу привода в кг·см;  $n$  — число оборотов выходного вала привода в об/мин;  $\eta$  — общий к. п. д. передачи привода.

С целью экономии мощность электродвигателя можно принимать равной:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{расч}}}{K_n}, \quad (7)$$

По полученной мощности  $N_{\text{дв}}$  выбирается по каталогу двигатель, ближайший по мощности, с тем, однако, чтобы мощность выбранного электродвигателя не была бы ниже  $N_{\text{дв}}$  более чем на 20%. В противном случае выбирается электродвигатель большей, чем  $N_{\text{дв}}$ , мощности.

### Расчет схемы механической части электропривода [2]

Механическая часть электропривода представляет собой, как правило, сложную электромеханическую систему, состоящую из инерционных тел – роторов, электродвигателей вращательного движения, бегунков линейных двигателей, соединительных муфт, редукторов, различного рода шкивов, звездочек, барабанов и т.п., связанных между собой упругими звеньями, при этом различные связанные между части между собой части электропривода могут совершать движения с разными параметрами либо движение различного вида.

Для анализа механической части электропривода реальный механизм заменяют динамически эквивалентной, приведенной расчетной схемой, состоящей из дискретных (сосредоточенных) инерционных элементов, соединенных между собой упругими связями, и обладающей таким же энергетическим запасом, как и реальная система. Здесь под дискретным инерционным элементом понимается тело, обладающее свойствами инерции, податливостью которого можно пренебречь. Под упругой связью понимается упругое звено, массой которого можно пренебречь» т. е. имеются в виду так называемые невесомые упругие связи, характеризующиеся постоянным коэффициентом жесткости и линейной восстанавливающей силой. При деформации упругих звеньев имеет место рассеяние механической энергии, обусловленное силами внутреннего трения, называемыми диссипативными

силами, которые пропорциональны разности скоростей перемещения соседних дискретных масс.

В приведенной расчетной схеме все инерционные элементы осуществляют один вид движения - либо вращательное, либо поступательное. При этом они располагаются на какой-нибудь одной упругой связи или, как принято говорить, приводятся к одной связи. Расчетные параметры можно приводить к любому заранее выбранному месту кинематической схемы механизма, к любому упругому ее элементу. Если приведение производится к какому-нибудь валу механизма, то получается расчетная приведенная схема вращательной системы, в которой все массы имеют общую геометрическую ось. В такой системе нагрузки характеризуются крутящими моментами  $M$ , инерционные элементы моментами инерции  $J$ , упругие элементы — коэффициентами жесткости при кручении (крутильной жесткостью)  $C_{кр}$ .

Если приведение производится к какому-либо поступательному движущему элементу (штанга, рейка, ходовой винт, канат, цепь и т. п.), то получается расчетная приведенная схема поступательного движения, в которой нагрузки характеризуются силами  $F$ , инерционные элементы — массами  $m$ , упругие элементы — коэффициентами жесткости при растяжении или сжатии (линейной жесткостью)  $C_{л}$ .

## **2 Объект и методы исследования**

Данная работа направлена на модернизацию электропривода с электронным блоком управления БУР ЭПЦ-10000Д. Данный электропривод используется в составе электроприводной задвижки магистрального трубопровода в условиях, приравненных к условиям крайнего севера на открытом воздухе. Работа электронного блока управления сопровождается периодическими выходами из строя, что приводит к нарушению технологического процесса.

В качестве объекта исследования рассматривается вариант замены БУР электромеханическим блоком управления для повышения надежности электропривода. А именно для защиты двигателя от перегрузки предлагается устройство контроля крутящего момента.

При выполнении работ по проекту необходимо провести геометрические и прочностные расчеты деталей и узлов устройства контроля крутящего момента. Описать конструктивные особенности электропривода и принцип работы составных частей электропривода с учетом произведенной модернизации.

Работы по конструированию и оформлению документации следует выполнять с использованием графических редакторов, например, с помощью графического пакета Компас 3D.

### **3. Расчеты и аналитика**

#### **3.1 Конструктивные особенности и принцип работы составных частей электропривода**

##### Технические характеристики

Режим работы электроприводов: повторно-кратковременный S3 с продолжительностью включения не менее 25 % по ГОСТ 183. Продолжительность цикла – 60 мин. Время непрерывной работы - 15 мин.

Электроприводы климатического исполнения УХЛ1 по ГОСТ 15150 сохраняют свою работоспособность при:

- диапазоне температуры окружающего воздуха, °С - от минус 60 до плюс 40;
- верхнем значении относительной влажности, % - 98 при 25°С с конденсацией влаги и более низких температурах без конденсации влаги;
- верхнем значении атмосферного давления 106,7 кПа (800 мм рт. ст.), нижнем значении атмосферного давления 84,0 кПа (630 мм рт. ст.);
- ветровой нагрузке до 50 м/с;
- установке над уровнем моря до 1000 м.
- Рабочее положение электроприводов в пространстве – любое.

Таблица 1 - Основные технические параметры

Наименование параметра	Норма
1. Максимальный крутящий момент на выходном звене, Нм	10000
2. Частота вращения выходного звена, об/мин:	12
3. Диапазон регулирования по положению, в оборотах выходного звена	0 ... 100
4. Погрешность остановки выходного звена в заданном положении, угл. град, не более	$\pm 10$
5. Диапазон ограничения крутящего момента на выходном звене, в Нм, в пределах	4000... 10000
6. Максимальная погрешность ограничения крутящего момента на выходном звене изделия, в % от заданного значения момента, не более: - в первой половине значений диапазона; - во второй половине значений диапазона	$\pm 15 \pm 10$
7. Максимальное усилие на маховике ручного дублера при максимальном моменте на выходном звене, Н, не более	750
8. Степень защиты электротехнических устройств изделия по ГОСТ 14254, не ниже	IP 54
9. Исполнение изделия по условиям эксплуатации и категории размещения согласно ГОСТ 15150	УХЛ1
10. Сейсмостойкость, баллы по шкале MSK-64	10
11. Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм, не более	1050x640 x1460
12. Масса, кг, не более	350

## Состав изделия

Электропривод «ЭПЦМ-10000» состоит из следующих частей (см. рисунок 3): редуктор (1) с приводом ручного дублера (2), взрывозащищенного блока коммутации (3) со встроенным постом местного управления (4), взрывозащищенного асинхронного электродвигателя (5), устройства контроля крутящего момента на выходном звене электропривода (6), взрывозащищенного бесконтактного датчика положения (7) и защитных оболочек (8) электрических кабелей выключателей устройства контроля крутящего момента.

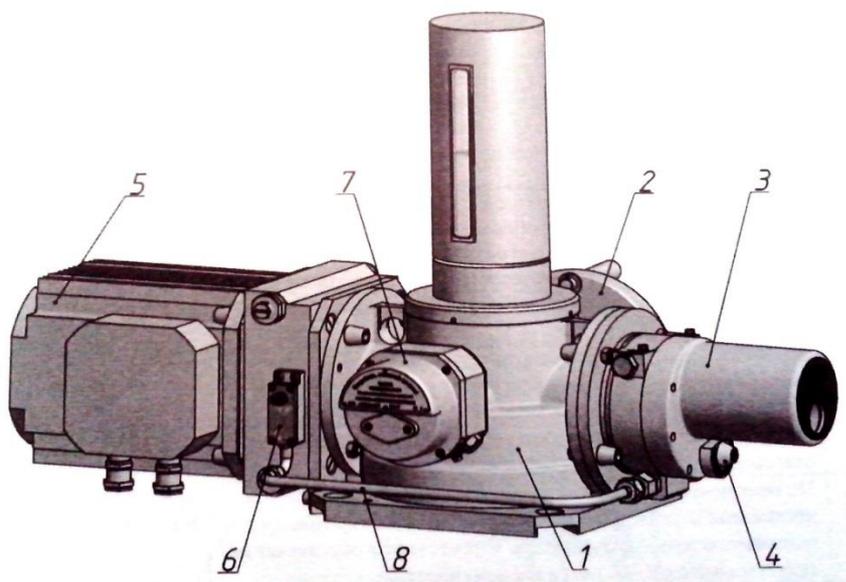


Рисунок 3 – общий вид электроприводов «ЭПЦМ – 10000»

Порядок работы изделия в автоматическом режиме от электродвигателя  
При включении электродвигателя (1) (см. рисунок 3) вращение через устройство контроля крутящего момента (2) передается на шестерню (4), установленную на выходном валу устройства (2).

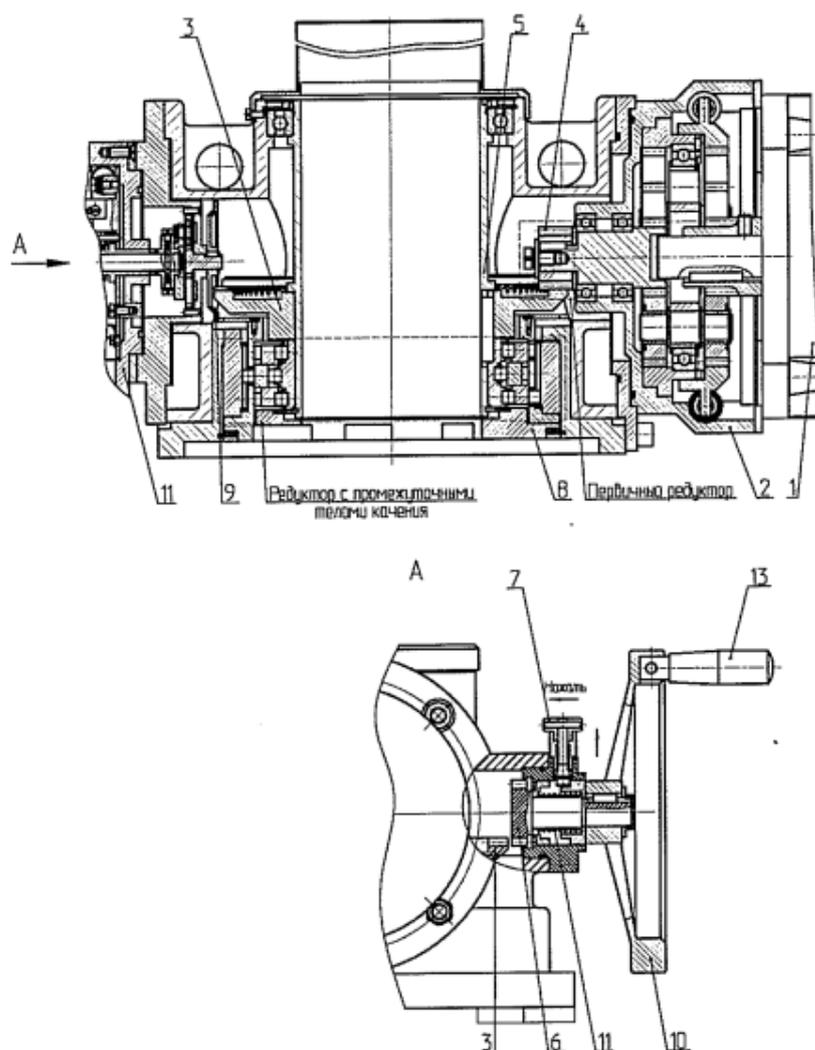


Рисунок 4 - Редуктор электроприводов «ЭПЦМ-10000»с приводом ручного дублера

1 – электродвигатель; 2 – устройство контроля крутящего момента; 3 – колесо зубчатое; 4 – шестерня; 5 – входной вал редуктора; 6 – шестерня; 7 – фиксатор; 8 – выходное звено электропривода; 9 – колесо зубчатое; 10 – маховик; 11 – пружина; 12 – блок коммутации; 13 – ручка.

С шестерни (4) вращение передается на зубчатое колесо (3), установленное на входном валу (5) редуктора с промежуточными телами качения. С зубчатого колеса (3) вращение передается на входной вал (6), редуктора с промежуточными телами качения. С редуктора вращение выводится на выходное звено (8) электропривода.

Колесо зубчатое (9), установленное на входном валу блока коммутации (11) и находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом (3), обеспечивает обратную передачу вращательного движения, созданного электродвигателем, на устройство контроля положения блока коммутации (11).

При достижении выходным звеном электропривода (8) одного из конечных положений происходит срабатывание конечного выключателя в блоке коммутации выдача дискретного сигнала на пускатель в ЩСУ, который размыкается и отключает электродвигатель (1).

Контроль текущего положения выходного звена электропривода в процессе работы ведется по аналоговому сигналу (4-20) мА бесконтактного датчика положения.

Также в процессе работы электропривода от электродвигателя в устройстве (2) обеспечивается постоянный контроль величины крутящего момента на выходном звене (8) и при превышении нагрузки заданного значения момента ограничения - отключение электродвигателя путем выдачи дискретного сигнала на пускатель ЩСУ.

Информация об отключении электродвигателя, при достижении выходным звеном электропривода заданного конечного положения или при отключении по заданному моменту ограничения, выводится на механический указатель «Открыто» / «Закрыто» блока коммутации и передается по дискретным сигнальным выходам в систему телемеханики.

Порядок работы изделия от ручного дублера  
Для включения привода ручного дублера (см. рисунок 4) необходимо вытянуть фиксатор (7) и, удерживая фиксатор, нажать на маховик (10) в осевом направлении, при этом шестерня (6) войдет в зацепление с зубчатым колесом (3).

При удерживании маховика в нажатом положении и его вращении за ручку (13), происходит передача вращательного движения через зубчатое колесо (3)

на входной вал (5) редуктора с промежуточными телами качения и далее на выходное звено электропривода (8).

Удерживать фиксатор после включения привода ручного дублера - не требуется.

При снятии прижимного осевого усилия с маховика происходит, за счет пружины (11), автоматическое расцепление привода ручного дублера с зубчатым колесом (3), а фиксатор (7) заблокирует привод от повторного или несанкционированного включения.

Направление вращения привода ручного дублера для перемещения запорного органа арматуры к конечным положениям «Закрыто» или «Открыто» указано на маховике (10).

Усилие на ручке маховика привода ручного дублера при перемещении затвора арматуры между крайними положениями составляет не более 300 Н.

При необходимости обеспечения на приводе ручного дублера усилия до 750 Н, для уплотнения или одергивания затвора арматуры в крайних положениях – использовать шестигранный ключ (S17) по ГОСТ 11737. Гнездо для установки ключа находится в центральной части маховика (10).

Во время работы от привода ручного дублера обеспечивается постоянный контроль текущего положения выходного звена электропривода в блоке коммутации и по сигналам бесконтактного датчика положения.

#### Устройство и принцип работы блока коммутации

Блок коммутации электропривода (см. рисунок 5) является взрывозащищенным электротехническим устройством, соответствует ГОСТ Р 51330.0 и ГОСТ Р 51330.1, ГОСТ Р 51330.13, ГОСТ Р 52350.14, Главе 7.3 ПУЭ и состоит из: корпуса (1), колпака (2), двух вводов кабельных (3), переходника (4), двух реек с соединительными клеммами (5), поста местного управления (6) и механизма конечных выключателей (7).

Колпак (2) блока коммутации оснащен прозрачным смотровым окном (8) для визуального контроля по указателям положения выходного звена (9)

(затвора арматуры). При проведении работ по монтажу и настройке электропривода на месте эксплуатации руководствоваться надписями на шильдике (10), установленном на колпаке (2).

Пост управления (6) выполняет функции управления электроприводом непосредственно на месте применения. При повороте кнопки в одну из (сторон по маркировке «ОТКРЫТЬ» или «ЗАКРЫТЬ») происходит включение электропривода, а при нажатии на нее («СТОП») - отключение. Конструкция блока выключателей в посту управления содержит кронштейн (11), на котором закреплены три взрывозащищенных выключателя (12) фирмы «BARTEC GmbH» (Германия) тип 07-1511-1 540/2. Упор (13), жестко закрепленный с внешней кнопкой управления (14), воздействует непосредственно на рычаги выключателей при повороте или нажатии кнопки. Возврат кнопки в исходное положение обеспечивается за счет встроенной пружины (15).

В нижней части корпуса блока коммутации выполнен прилив, в котором установлены пробка (16) для слива конденсата и два взрывозащищенных кабельных ввода (3) для прокладки и уплотнения внешних кабелей от выключателей устройства контроля крутящего момента.

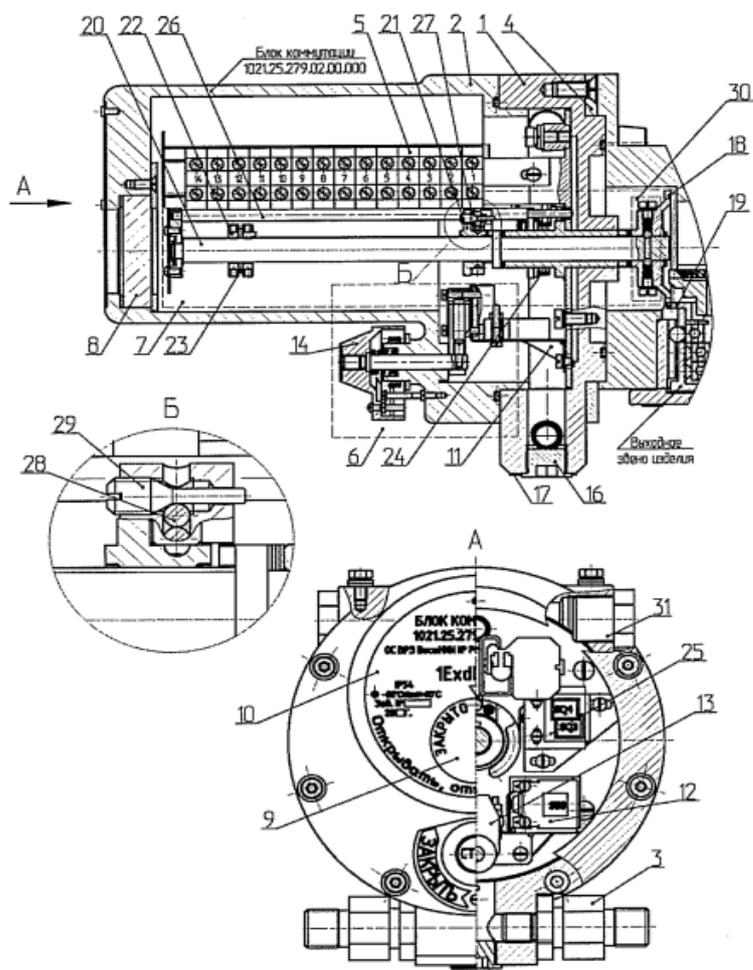


Рисунок 5 – Блок коммутации

1 – корпус; 2 – колпак; 3 – ввод кабельный; 4 – переходник; 5 – рейка с соединительными клеммами; 6 – пост местного управления; 7 – механизм концевых выключателей; 8 – смотровое окно; 9 – указатель положения выходного звена; 10 – шильдик; 11 – кронштейн; 12 – выключатель взрывозащищенный; 13 – упор; 14 – кнопка; 15 – пружина; 16 – пробка; 17 – указатель; 18 – шестерня; 19 – колесо зубчатое; 20 – винт ходовой; 21 – гайка; 22 – гайка; 23 – шайба; 24 – пружина; 25 – выключатель взрывозащищенный; 26 – кулиса; 27 – поводок; 28 – шарик; 29 – винт; 30 – муфта предохранительная; 31 – заглушка.

Вокруг пробки (16) установлен указатель (17) с надписью "Открывать, отключив от сети".

В верхней части корпус блока коммутации имеет два резьбовых отверстия, в которые при монтаже электропривода на месте применения устанавливаются взрывозащищенные кабельные вводы и вводятся кабели с внешними цепями управления и сигнализации. В транспортном положении в отверстиях установлены заглушки (31).

Механизм концевых выключателей (7) состоит из следующих основных частей: шестерни (18), колеса зубчатого (19) и ходового винта (20), гайки (21), двух гаек (22), шайбы (23), пружины (24), двух выключателей (позиция 25) («SQ1/ SQ2» и «SQ3/ SQ4»), кулисы (26), указателя (9) и поводка (27) с двумя фиксаторами (состоящими из шариков (28) и винтов (29)). Механизм концевых выключателей обеспечивает отключение электродвигателя при достижении выходным звеном электропривода границ предварительно настроенного диапазона перемещений.

Во время работы с выходного звена электропривода через зубчатую передачу (19) и (18) вращение передается на ходовой винт (20), где преобразуется в поступательное перемещение гайки (21). Поводок (позиция 27), установленный на гайке (21) и имеющий с ней фрикционное зацепление, обеспечивает поступательное перемещение гайки (21) относительно ходового винта (20), за счет зацепления с кулисой (26), зафиксированной пружиной (24). Усилие фрикционного зацепления поводка (27) с гайкой (21) регулируется винтами (29) через шарики (28). Гайки (22) и шайба (23) выполняют роль регулируемого упора, положение которого определяется при настройке электропривода на требуемый диапазон перемещений.

В момент достижения выходным звеном электропривода одного из крайних положений происходит блокировка поступательного перемещения гайки (21) и ее поворот за счет зацепления шипов на гайке и на буртике ходового винта (20) или на гайке и на регулируемом упоре с ходовым винтом (20). При этом поводок (27) поворачивает, преодолевая усилие пружины (24), кулису (26), которая одним из своих кулачков на задней щеке нажимает на

рычаг соответствующего выключателя (25). При этом выключатель «SQ1» или «SQ3» разрывает цепь пускателя в ЩСУ, который отключает электродвигатель, а сигнал с «SQ2» или «SQ4» о достижении запорным органом арматуры конечного положения передается на пульт оператора или в систему телемеханики. Указатель (9), повернувшись вместе с кулисой (26), укажет положение выходного звена (запорного органа арматуры), в котором произошло отключение электропривода.

При реверсе направления вращения выходного звена электропривода гайка (21) с поводком (27) поворачиваются до нейтрального положения кулисы (26), определенного пружиной (24), а контакты выключателей (25) возвращаются в исходное состояние.

Кулиса (26) имеет ограничение по углу поворота ( $\pm 90^\circ$ ). Для исключения поломки механизма конечных выключателей при перемещении выходного звена электропривода за границы установленного диапазона перемещений (при обтяжке запорной арматуры от привода ручного дублера) в конструкции шестерни (18) предусмотрена предохранительная муфта (30), обеспечивающая расцепление шестерни с ходовым винтом (20).

Устройство и принцип действия редуктора с промежуточными телами качения

Редуктор с промежуточными телами качения состоит (см. рисунок 6) из следующих основных частей: входного вала-генератора (1), являющегося входным звеном, подшипников (2), сепаратора (выходного звена) (3), промежуточных тел качения (роликов) (4) и зубчатого венца (5) с зубьями сложной формы.

Для увеличения нагрузочной способности, а также для центрирования и балансирования, быстроходно вращающихся элементов, редуктор состоит из трех одинаковых, взаимно развернутых относительно друг друга на угол  $120^\circ$  передаточных звеньев.

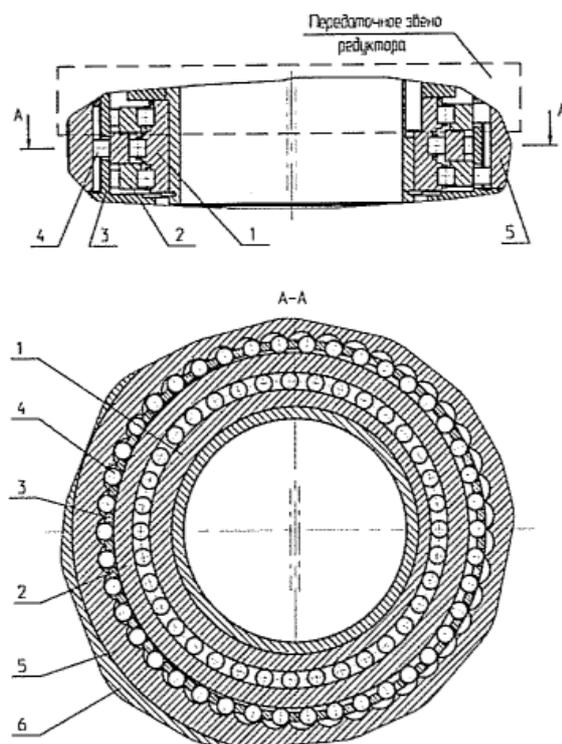


Рисунок 6— Редуктор с промежуточными телами качения

1— входной вал-генератор; 2— подшипник; 3— сепаратор; 4— промежуточное тело качения; 5— венец зубчатый; 6— корпус электропривода.

В процессе работы электропривода вращение от электродвигателя или от ручного дублера передается на генератор (1), при этом подшипники (2), установленные на эксцентриковых шейках генератора, совершают планетарное движение относительно оси вращения, а их наружные кольца, контактируя с промежуточными телами качения (4), поступательно перемещают их в пазах сепаратора (3).

Одновременно с поступательным перемещением промежуточные тела (4) обкатываются по профильным впадинам зубчатого венца (5), неподвижно закрепленном в корпусе (6) электропривода. За счет разницы количества промежуточных тел качения (4) в каждом передаточном звене редуктора и профильных впадин на зубчатом венце (5) в процессе обката происходит поворот сепаратора — выходного звена (3) редуктора. За один оборот

генератора (1) каждое промежуточное тело обкатывается половиной поверхности соответствующей профильной впадины зубчатого венца (5).

Передаточное число редуктора равно количеству промежуточных тел качения в одном передаточном звене (U-44).

Направление вращения выходного звена (3) редуктора противоположно вращения входного вала-генератора (1).

Редуктор заполнен тефлоновой смазкой «ТОМФЛОН-ЭПЦ 10» ТУ 0254-037-12435252-06 обеспечивающей работоспособность изделия в окружающей среде с диапазоном рабочих температур от минус 60 °С до + 180 °С

Устройство и принцип действия устройства контроля крутящего момента

Устройство контроля крутящего момента (см. рисунок 7) состоит из: корпуса (1), обоймы с зубчатым венцом (2), двух блоков пружин (3), двух демпферов (4), водила (5), шести сателлитов (6), колеса зубчатого (7), выходного вала (8), подшипника (9), шестерни (10), подшипника (11), шестерни (12), двух блоков настройки крутящего момента (13) и двух защитных оболочек (14) электрических кабелей выключателей блоков настройки крутящего момента.

При включении электропривода шестерня (12), установленная на выходном валу электродвигателя, передает вращение через сателлиты (6) на водило (5) и далее через сателлиты на зубчатый венец выходного вала (8). С шестерни (10), установленной на выходном валу (8) вращение передается на зубчатое колесо входного вала редуктора.

В случае возникновения нагрузки (отсутствия вращения) на шестерне (10) вращение от шестерни (12) через сателлиты (позиция 6) передается на зубчатый венец обоймы (2), которая проворачивается относительно зубчатого колеса (7), неподвижно закрепленного в корпусе (1), и нажимает выступом на толкатель одного из блока пружин (3). Другой выступ обоймы нажимает на один из демпферов (4), чем обеспечивается длительный период (до 3 секунд) поворота обоймы относительно зубчатого колеса (7).

Угол поворота обоймы относительно зубчатого колеса (7) зависит от соотношения величины крутящего момента на шестерне (12) и нагрузки на шестерне (10). Если угол поворота превысил заданный параметр в блоке настройки момента (13), то с выключателя выдаются дискретные сигналы:

- на пускатель в ЩСУ – на отключение электродвигателя;
- на пульт оператора или в систему телемеханики – о срабатывании устройства контроля крутящего момента.

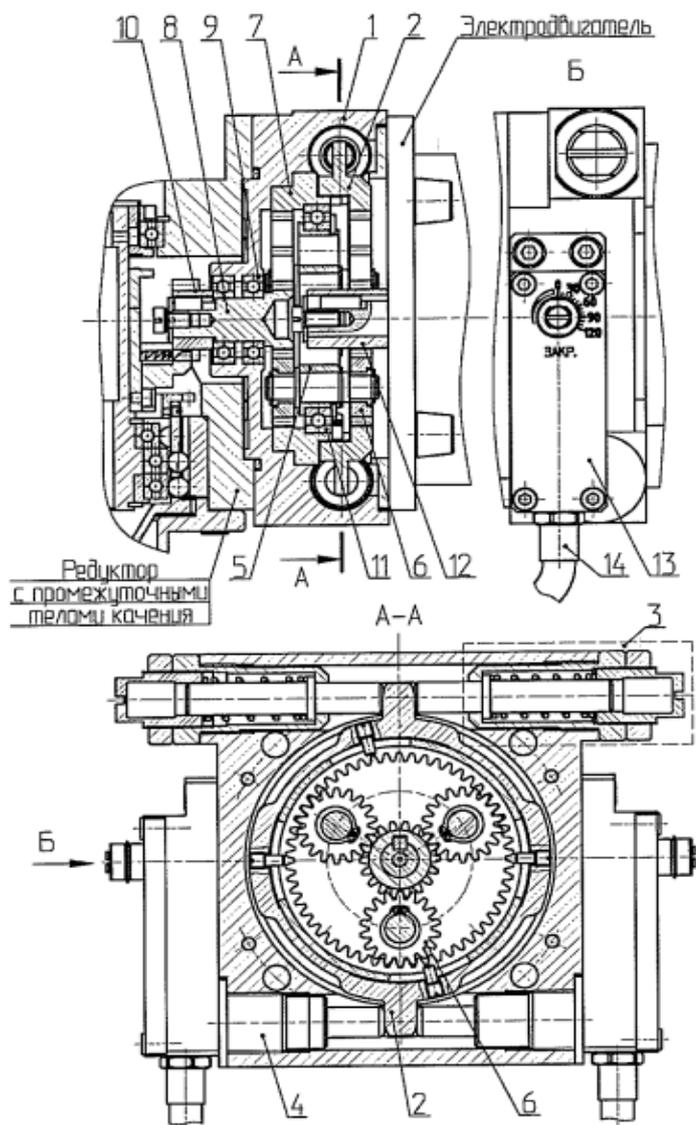


Рисунок 7 – Устройство контроля крутящего момента

1 – корпус; 2 – обойма; 3 – блок пружин; 4 – демпфер; 5 – водило; 6 – сателлит; 7 – колесо зубчатое; 8 – вал выходной; 9 – подшипник; 10 –

шестерня; 11 – подшипник; 12 – шестерня; 13 – блок настройки крутящего момента; 14 – защитная оболочка.

Блок настройки крутящего момента (см. рисунок 8) состоит из следующих основных частей: корпуса (1), взрывозащищенного выключателя, встраиваемого (2) типа 07-2511-1 1 40/02 (фирма «BARTEC GmbH», Германия), шестерни (3), валика (4), кулачка (5), гайки (6), шайбы (7), кольца уплотнительного (8), крышки (9) и защитной оболочки(10).

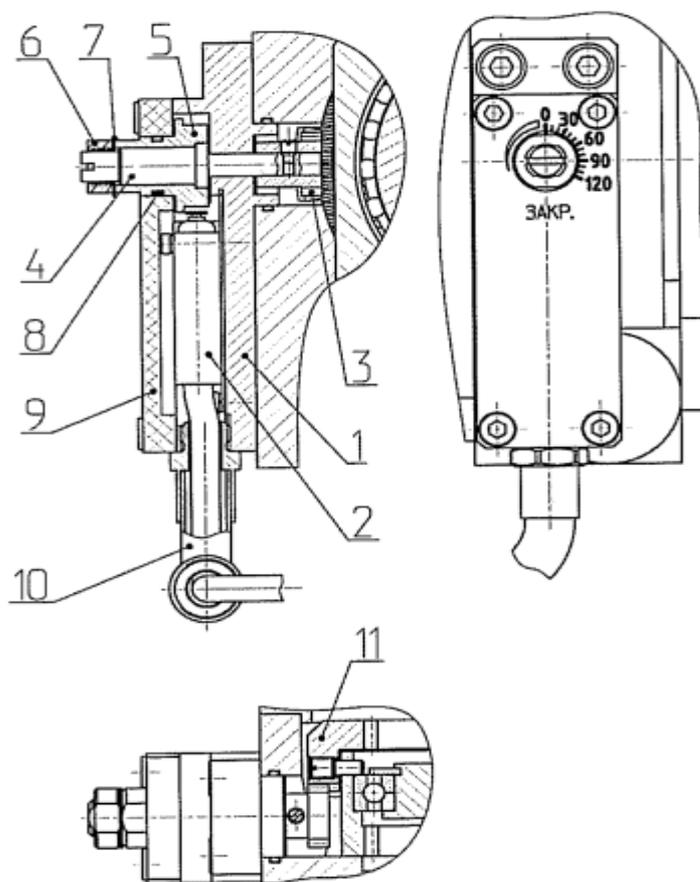


Рисунок 8 – Блок настройки момента

1 – корпус; 2 – выключатель встраиваемый; 3 – шестерня; 4 – валик; 5 – кулачок; 6 – гайка; 7 – шайба; 8 – кольцо уплотнительное; 9 – крышка; 10 – защитная оболочка; 11 – зубчатый венец обоймы устройства контроля крутящего момента.

После монтажа электропривода на конкретный вид запорной арматуры производится настройка величины крутящего момента для каждого

направления вращения выходного звена. Значение крутящего момента выбирается из паспорта на запорную арматуру.

Установка требуемого значения крутящего момента обеспечивается поворотом кулачка (5) до совмещения метки на кулачке со значением шкалы, на крышке (9).

Гайка (6) обеспечивает стопорение кулачка (5) в выбранном положении.

При работе электропривода (в зависимости от нагрузки на выходном звене) происходит поворот обоймы устройства контроля крутящего момента на угол, который через зубчатый венец (11) передается на шестерню (3), закрепленную на валике (4) с кулачком (5).

В момент, когда метка на кулачке (5) совпадет со значением «О» на шкале, рабочая поверхность кулачка нажимает на рычаг выключателя (2).

При этом выключатель «SR1» или «SR2» разрывает цепь пускателя в ЩСУ и отключает электродвигатель, а выключатель «SR3» или «SR4» выдает на пульт оператора или в систему телемеханики сигнал о срабатывании устройства контроля крутящего момента.

Устройство и принцип действия бесконтактного датчика положения

Бесконтактный датчик положения (см. рисунок 9) является взрывозащищенным электротехническим устройством, соответствует ГОСТ Р 51330.0 и ГОСТ Р 51330.1, ГОСТ Р 51330.13, ГОСТ Р 52350.14, Главе 7.3 ПУЭ и состоит из: корпуса (1), колпака (2), абсолютного энкодера AV58M-MWI-6-M12 (3), переходника (4), рейки с соединительными клеммами (5), выходного вала (6), подшипниковой опоры (7), шестерни (8) и саморегулирующегося греющего кабеля (9).

Колпак (2) оснащен прозрачным смотровым окном (10) для визуального контроля световой индикации на торце энкодера (3) при настройке электропривода на месте применения. При проведении работ по монтажу и настройке электропривода на месте эксплуатации руководствоваться надписями на шильдике (11), установленном на колпаке (2).

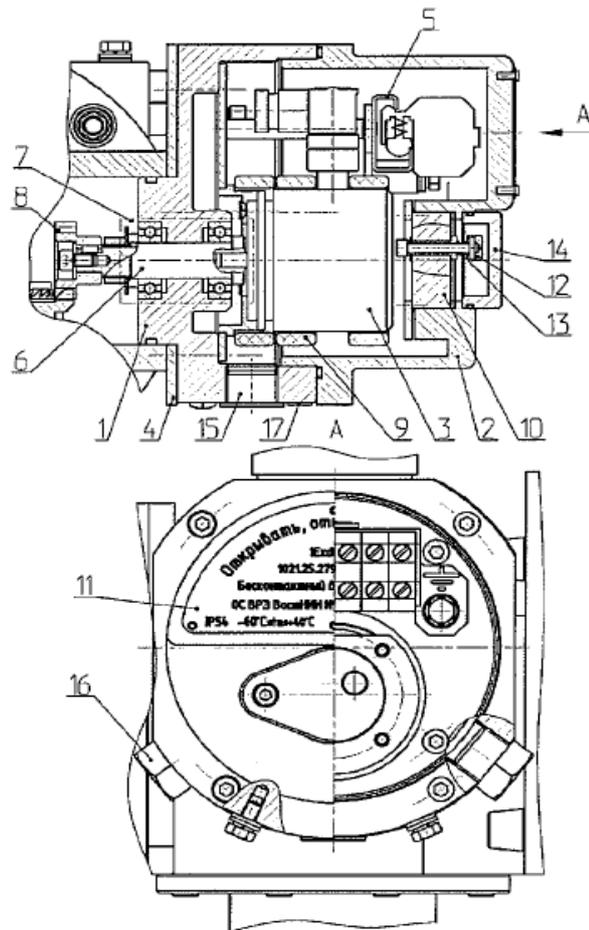


Рисунок 9 – Бесконтактный датчик положения

1 – корпус; 2 – колпак; 3 – абсолютный энкодер AV58M-MWI-6-M12; 4 – переходник; 5 – рейка с соединительными клеммами; 6 – вал выходной; 7 – подшипниковая опора; 8 – шестерня; 9 – саморегулирующийся греющий кабель; 10 – смотровое окно; 11 – шильдик; 12 – кнопка; 13 – пружина; 14 – крышка; 15 – пробка; 16 – заглушка; 17 – указатель.

В нижней части корпуса (позиция 1) выполнены два резьбовых отверстия, в которые при монтаже электропривода на месте применения устанавливаются взрывозащищенные кабельные вводы (из комплекта ЗИП) и вводятся внешние кабели с питающим напряжением для саморегулирующегося греющего кабеля (9) и цепь с аналоговым сигналом (4-20 мА) о текущем положении выходного звена электропривода (затвора

задвижки). В транспортном положении в отверстиях установлены заглушки (16).

Пробка (15) предназначена для слива конденсата. Указатель (17) с надписью «Открывать, отключив от сети» регламентирует условия, при которых возможно выкручивание пробки и вскрытие внутренней полости датчика.

Настройка бесконтактного датчика положения на измерительный диапазон проводится в следующем порядке:

- 1) снять защитную крышку (14) на колпаке (2);
- 2) перевести энкодер (3) в режим «Программирования» одновременным нажатием кнопок (12) до включения кнопок «Set 1» и «Set 2» (см. рисунок 10) на энкодере и удержанием кнопок в нажатом состоянии в течение 15 ... 20 секунд.

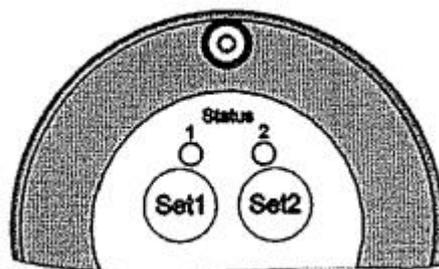


Рисунок 10 – Абсолютный энкодер. Панель управления

- 3) с ПМУ блока коммутации подать команду ЗАКРЫТЬ и после отключения электродвигателя и выдачи дискретного сигнала «Закрыто» нажать кнопку (12) напротив кнопки «Set 1» на время 1 секунда;
- 4) с ПМУ блока коммутации подать команду ОТКРЫТЬ и после отключения электродвигателя и выдачи дискретного сигнала «Открыто» нажать кнопку (12) напротив кнопки «Set 2» на время 1 секунда.

После выполнения вышеуказанных операций аналоговый выход (4-20) мА настроен на новый измерительный диапазон.

Виды запорной арматуры:

Запорная арматура, на которой возможна установка электропривода, делится по способу уплотнения на 3 вида:

а) арматура, не требующая принудительного уплотнения в положениях «Закрыто» и «Открыто»;

б) арматура, требующая принудительного уплотнения в положении «Закрыто»;

в) арматура, требующая принудительного уплотнения в положениях «Закрыто» и «Открыто»;

В электроприводах, установленных на арматуру первого вида, необходимо:

1) настроить устройство контроля крутящего момента на значение момента в обе стороны вращения выходного звена (значение момента рекомендуется выбирать из «Паспорта» запорной арматуры).

2) настроить концевые выключатели блока коммутации для автоматического отключения электродвигателя и сигнализации момента выхода затвора арматуры в крайние положения;

3) настроить энкодер бесконтактного датчика положения на заданный диапазон перемещения затвора арматуры.

#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-4Е21	Солдатенко Денис Николаевич

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТНМ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Технологические машины и оборудования

#### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT – анализ проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 1. Основная заработная плата исполнителей темы. 2. Отчисления на социальные нужды. 3. Накладные расходы. 4. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Перечень графического материала: 1 таблица, 1 график.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	17.04.2017
---	------------

#### Задание выдал руководитель:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Петухов О.Н.	Кандидат экономических наук		

#### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-4Е21	Солдатенко Денис Николаевич		

## **Введение**

Целью дипломной работы является модернизация электропривода запорной арматуры для магистрального трубопровода. Причиной проведения модернизации стала необходимость увеличения надежности оборудования, которое не обеспечивает в полном объеме требования технологического процесса и в следствии является причиной внеплановых простоев нефтепровода.

Модернизация даст возможность сократить расходы на обслуживание, ремонт, монтаж оборудования, пуско-наладочные работы.

Характерной чертой этого проекта, является малый срок реализации, по этой причине с целью установления их экономической эффективности больше в целом используются статистические методы, связанные с расчетом срока окупаемости.

#### 4.1. Технико-экономическое обоснование модернизации системы

Срок окупаемости модернизации предполагает собой период времени, на протяжении которого разница между изначальными капитальными затратами и капитальными затратами модернизации окупаются за счет снижения эксплуатационных затрат.

Данный коэффициент способен применяться с целью оценки экономической эффективности модернизации электроприводов и подбора более выгодного варианта реализации электропривода.

Расчет срока окупаемости модернизации производится по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{KЗ_2 - KЗ_1}{ЭЗ_1 - ЭЗ_2},$$

где  $KЗ_1$  — капитальные затраты до модернизации;

$KЗ_2$  — капитальные затраты после модернизации;

$ЭЗ_1$  — эксплуатационные затраты до модернизации;

$ЭЗ_2$  — эксплуатационные затраты после модернизации.

В эксплуатационные затраты в данном случае входят затраты на обслуживание и ремонт оборудования, которые определяются по формуле:

$$ЭЗ_1 = Q_{11} + Q_{21};$$

$$ЭЗ_2 = Q_{12} + Q_{22},$$

где  $Q_{11}$  — затраты на обслуживание до модернизации;

$Q_{12}$  — затраты на обслуживание после модернизации;

$Q_{21}$  — затраты на ремонт до модернизации;

$Q_{22}$  — затраты на ремонт после модернизации.

Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования, затраты на его транспортирование, монтажные и пусконаладочные работы, которые определяются по формуле:

$$KЗ_1 = C_{11} + C_{21} + C_{31} + C_{41};$$

$$KЗ_2 = C_{12} + C_{22} + C_{32} + C_{42},$$

где  $C_{11}$  — затраты на стоимость оборудования до модернизации;

$C_{21}$  — затраты на транспорт до модернизации;

$C_{31}$  — затраты на монтажные работы до модернизации;

$C_{41}$  — затраты на пусконаладочные работы до модернизации;

$C_{12}$  — затраты на стоимость оборудования после модернизации;

$C_{22}$  — затраты на транспорт после модернизации;

$C_{32}$  — затраты на монтажные работы после модернизации;

$C_{42}$  — затраты на пусконаладочные работы после модернизации;

Определим капитальные затраты:

$$КЗ_1 = C_{11} + C_{21} + C_{31} + C_{41} = 360 + 10 + 25 + 20 = 415 \text{ т. р.};$$

$$КЗ_2 = C_{12} + C_{22} + C_{32} + C_{42} = 480 + 10 + 20 + 15 = 525 \text{ т. р.}$$

Построим таблицу сравнительных данных до и после модернизации:

Затраты	Условные обозначения	До модернизации	После модернизации
Стоимость оборудования	$C_1$	360 000 рублей	480 000 рублей
Транспортные расходы	$C_2$	10 000 рублей	10 тыс. рублей
Монтажные работы	$C_3$	25 000 рублей	20 000 рублей
Пуско-наладочные работы	$C_4$	20 000 рублей	15 000 рублей
Капитальные затраты	КЗ	415 000 рублей	525 000 рублей
Обслуживание	$Q_1$	5 000 руб./мес.	2 000 руб./мес.
Ремонт	$Q_2$	15 000 руб./мес.	3 000 руб./мес.
Эксплуатационные затраты	ЭЗ	20 000 руб./мес.	5 000 руб./мес.

Таблица 2- Сравнительные данные затрат до и после модернизации

Определим эксплуатационные затраты:

$$\text{ЭЗ}_1 = Q_{11} + Q_{21} = 5 + 15 = 20 \text{ т. р./мес.};$$

$$\text{ЭЗ}_2 = Q_{21} + Q_{22} = 2 + 3 = 5 \text{ т. р./мес.}$$

Рассчитаем срок окупаемости модернизации:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{\text{ЭЗ}_1 - \text{ЭЗ}_2} = \frac{525 - 415}{20 - 5} = 7,3 \text{ мес.}$$

Представим срок окупаемости модернизации графически:

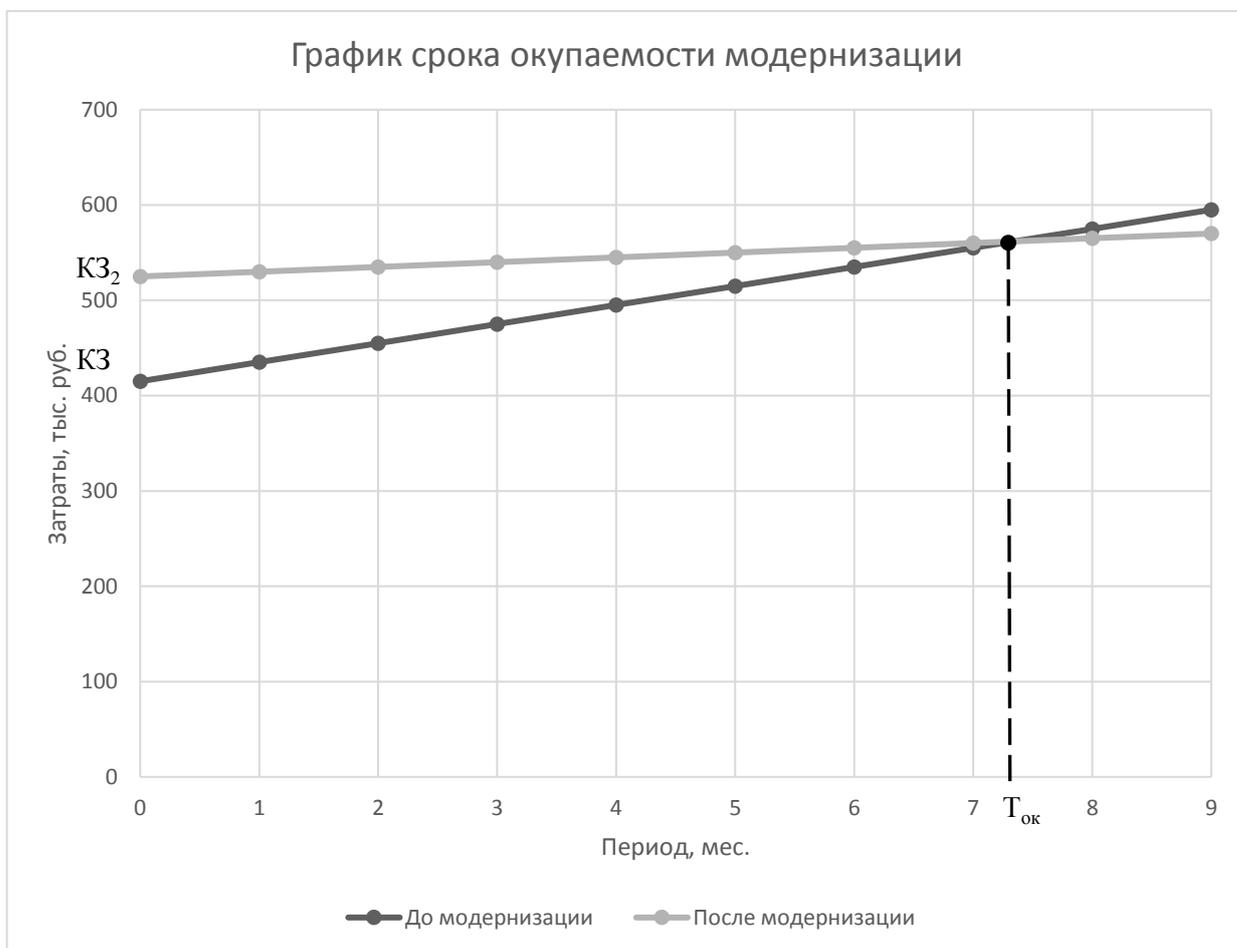


График 1- График срока окупаемости модернизации

## 4.2 Анализ потенциальных рисков

Применения модернизированного электропривода с электромеханическим блоком управления в составе запорной арматуры на объектах АО «Транснефть» позволит гарантированно избежать рисков:

- блокировки управления электроприводом при наличии неполадок в сравнении с применением электронного блока управления;
- самопроизвольных изменений положения затвора запорной арматуры при повреждениях кабеля управления и отказах, имеющих место при применении существующих электроприводов с блоком электронного управления

Данные риски имеют все шансы послужить причиной к приостановки нефтепровода, а невыработка продукции за время простоя способна принести убыток до 600 тыс.руб. в час.

Магистральные нефтепроводы зачастую проходят в труднодоступных местах для наземного транспорта, по этой причине для ремонта электроприводов приходится прибегать к вертолетному транспорту, что приводит к огромным затратам, стоимость часа полета на вертолете МИ-8 составляет 70 тыс.руб.

Поэтому модернизация электропривода, экономически полностью себя оправдывает.

## **6. Патентная проработка**

Б. Г. Хохряков, С. И. Бакалов, И. В. Штин. Авторское свидетельство №2225558, №45 2004г. с. 3 «Привод трубопроводной запорной арматуры» [<http://www.fips.ru>]

Изобретение относится к управляющим приводным устройствам для трубопроводной запорной арматуры и может быть использовано в трубопроводном транспорте нефти, газа и других продуктов.

Цель изобретения– расширение арсенала технических средств, предназначенных для приведения в действие трубопроводной запорной арматуры путем создания привода с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, в частности с высоким КПД передаточного механизма, малыми габаритами и массой, удобного и безопасного в использовании и техническом обслуживании, менее трудоемкого в изготовлении.

Указанная цель решается за счет усовершенствования передаточного механизма, основанного на принципе качения в резьбовой паре, и других элементов привода.

Изобретение принадлежит к области наук таких как, электротехника и нефтяное оборудование и затрагивает особенности конструкции управляемых электроприводов, а конкретно- многооборотных, регулируемых электроприводов с асинхронным электродвигателем.

Цель изобретения– увеличения нагрузочной способности, усовершенствование габаритно-массовых параметров и модернизации силовой трансмиссии управляемого электропривода, простоты ее сборки, по мимо этого обеспечение в одном типоразмере габаритно-массовых параметров его конструктивного исполнения обширного параметрического

ряда выходных характеристик по скорости и моменту с неизменным высоким значением КПД.

В зависимости от установленной номинальной мощности двигателя  $P_{дв}$ , управляемого электропривода и воссоздаваемой передаточной функции  $U_{Ha}^b$ , данная цель может быть достигнута несколькими способами исполнения. Рассмотрев первый вариант исполнения управляемого электропривода, в котором мощность двигателя берется в диапазоне  $0,25\text{кВт} \leq P_{дв} \leq 5\text{кВт}$ , а воспроизводимую передаточную функцию берем из диапазона  $40 \leq U_{Ha}^b \leq 120$ , фланцевый асинхронный электродвигатель включает, силовую зубчатую трансмиссию и блок управления асинхронным электродвигателем в цельном корпусе на базе планетарной передачи с односателлитным исполнением. В состав силовой трансмиссии входит: входной вал-водило, связанный кинематически с выходным валом ротора электродвигателя, центральное колесо условно неподвижное с внутренними эвольвентными зубьями  $z_b$ , закрепленное внутри корпуса, выходное подвижное центральное колесо с внутренними эвольвентными зубьями  $z_a$ , установленное на подшипниках в корпусе и жестко связанное с выходным валом, двухвенцовый сателлит с внешними эвольвентными зубьями, установленный на подшипниках на вале-водителе. Зубья  $z_f$  первого венца, которого зацеплены с зубьями  $z_b$  неподвижного центрального колеса, а зубья  $z_g$  второго венца зацеплены с зубьями  $z_a$  выходного подвижного центрального колеса, образуя два рабочих эвольвентных зацепления. Новизной в этом электроприводе считается то, что зубчатые венцы двухвенцового сателлита выполнены полностью идентичными по числу зубьев и по их геометрическим параметрам. Причем число зубьев  $z_a$  выходного подвижного центрального колеса выбирается из диапазона  $40 \leq z_a \leq 120$ , число зубьев  $z_b$  неподвижного центрального колеса на 1, 2, 3 или 4 меньше числа зубьев  $z_a$  выходного подвижного центрального колеса, а число зубьев каждого венца сателлита  $z_f$

и  $z_g$  равно ближайшему целому числу, определяемому из выражения  $z_f = z_g = \frac{2}{3}z_a$ . При этом угол рабочего зацепления выходное подвижное центральное колесо - второй венец сателлита назначается из диапазона  $15^\circ \leq \alpha_{ga} \leq 20^\circ$ , а угол рабочего зацепления неподвижное центральное колесо - первый венец сателлита определяется из выражения:

$$\alpha_{fd} = \arccos \left[ \left( 1 - \frac{z_a - z_b}{z_a} \right) \cos \alpha_{ga} \right]. \quad (11)$$

С целью повышения ряда параметров выходных свойств по моменту и скорости электропривода неподвижное центральное колесо рационально выполнять сменным, и он комплектуется с запасными колесами с числом зубьев  $z_b$  соответственно меньше от одного до четырех, чисел зубьев за подвижного выходного центрального колеса. С целью улучшения динамических свойств электропривода его вал-водило было бы рационально снабдить противовесом сателлита для его динамического уравнивания.

Рассматривая второй вариант исполнения управляемого электропривода, мощность двигателя если мы берем в диапазоне  $2,5 \text{ кВт} \leq P_{дв} \leq 100 \text{ (160)}$  кВт, а воспроизводимая передаточная функция берется из диапазона  $15 \leq U_{На}^b \leq 50$ , он включает в себя фланцевый асинхронный электродвигатель и его блок управления, а так же силовую зубчатую трансмиссию находящаяся в едином корпусе на базе планетарной передачи с многосателлитным исполнением. Силовая трансмиссия включает входной вал-водило, связанный кинематически с выходным валом ротора электродвигателя, центральное неподвижное колесо с эвольвентными внутренними зубьями  $z_b$ , закрепленное в корпусе, подвижное центральное выходное колесо с эвольвентными внутренними зубьями  $z_a$ , жестко связанное с выходным валом установленное на подшипниках, установленный на подшипниках на вале-водителе  $n$  двухвенцовых сателлитов, где  $2 \leq n \leq 4$ . Двухвенцовые сателлиты выполнены с эвольвентными внешними зубьями, зубья  $z_{fn}$  первых

венцов которых зацеплены с зубьями неподвижного центрального колеса, а зубья  $z_{gn}$  вторых венцов зацеплены с зубьями выходного подвижного центрального колеса, образуя при этом две рабочие группы эвольвентных зацеплений. Новизной в этом электроприводе считается то, что зубчатые венцы всех двухвенцовых сателлитов выполнены абсолютно идентичными по их геометрическим параметрам и по количеству зубьев. При этом число зубьев  $z_g$  выходного центрального подвижного колеса выбирается в диапазоне  $40 \leq z_a \leq 120$  и кратно числу сателлитов  $n$ . Количество зубьев  $z_b$  неподвижного центрального колеса меньше количества зубьев  $z_a$  выходного подвижного центрального колеса на величину равную числу сателлитов  $n$ , а количество зубьев всех сателлитов каждого венца  $z_{fn}$  и  $z_{gn}$  равно самому ближайшему целому числу, выбираемому из выражения  $z_{fn} = z_{gn} = (0,5z_a - n)$ . При этом угол рабочего зацепления выходного подвижного центрального колеса - второй венец каждого сателлита выбирается из диапазона  $15^\circ \leq \alpha_{gan} \leq 20^\circ$ , а угол рабочего зацепления центрального неподвижного колеса - первый венец каждого сателлита определяется из выражения:

$$\alpha_{fbn} = \arccos \left[ \left( 1 - \frac{n}{z_a - z_{gn}} \right) \cos \alpha_{gan} \right]. \quad (12)$$

А. А. Пашин, П. Г. Сидоров, В. Я. Распопов, А. В. Дмитриев, М. В. Терёшкин, Ю. В. Ведешкин, А. В. Плясов. Авторское свидетельство № 2457385, № 21, с. 1 «Универсальный высокомоментный многооборотный электропривод запорной арматуры трубопроводного транспорта»

Изобретение относится к областям машиностроения и может быть использовано в структуре любых отраслевых машин, в частности в запорной арматуре трубопроводных транспортных систем.

Цель изобретения – повышение надежности и экономичности работы, повышение технологичности изготовления и монтажа, обеспечение возможности унификации и универсализации редуктора в заданном габарите

и привода в целом, а также снижение габаритов и материалоемкости за счет коаксиальной установки электропривода на запорной арматуре и расширения кинематических и энергетических возможностей его силовой трансмиссии с цилиндрическими зубчатыми колесами при заданных габаритах привода.

Указанная цель достигается тем, что в электропривод запорной арматуры, содержащий электродвигатель, размещенный в корпусе планетарный редуктор, состоящий из входного вала, сателлита, опорного центрального колеса и двухопорного выходного вала с закрепленным на нем выходным центральным колесом, отличающийся тем, что планетарный редуктор выполнен двухступенчатым и многосателлитным, для чего в него введены двухопорное водило и сателлиты в количестве, соответствующем нечетному числу сателлитов в каждой ступени, установленных попарно в водиле, причем оси вращения ротора электродвигателя, входного вала, водила и выходного вала расположены коаксиально друг относительно друга и совпадают с осью передвижения шпинделя запорного органа, ротор электродвигателя жестко закреплен на входной консольной части входного вала, а его статор охватывает ротор и закреплен на фланце корпуса, входной вал, водило и выходной вал редуктора выполнены пустотелыми с проходными отверстиями, позволяющими свободное движение размещенных в них подвижных частей редуктора и шпинделя, сумма чисел зубьев центральных колес при этом в обеих планетарных ступенях равны между собой.

## 6.1. Анализ патентов

Проанализировав данные патенты мною были обнаружены следующие недостатки:

В первом патенте недостатками привода являются низкий КПД передаточных механизмов вследствие трения между деталями, их большие размеры, сложность конструкции механизма, преобразующего вращательное движение в поступательное.

Во втором патенте недостатком считается, двухвенцовые венцы сателлитов имеют разную геометрию и число зубьев. Данный факт значительно усложняет сборку силовой трансмиссии и технологию их изготовления, а значит приводит к снижению характеристик силовой трансмиссии, как по КПД так и по его передаточному числу.

В третьем патенте недостатками решения с червячной передачей являются: низкий КПД, особенно при передаточных числах  $и.п.=40...60$  и выше; повышенный износ и нагрев; склонность к заеданию и повышенные требования к материалам зубчатых звеньев и смазке; строго фиксированное расположение осей вращения входного и выходного валов ( $90^\circ$ ) и, как следствие, консольное крепление электродвигателя относительно оси передвижения шпинделя; большие осевые нагрузки на червяк; монопоточность при передаче мощности и ограниченная нагрузочная способность материала червячного колеса по прочности и выносливости, особенно при возрастании выходного крутящего момента; невозможность унификации и универсализации электроприводов в заданном габарите, и как следствие этого - «каждой задвижке свой индивидуальный привод», а следовательно необходимость изготовления большого количества типоразмеров.