

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ**

## Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидравлических машин»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

## **МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЦИЛИНДРОВ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ ЗАТВОРАМИ ГТС

## 08.04.01 Строительство

## 08.04.01.12 Гидротехническое строительство

# Научный руководитель

---

подпись, дата

Доцент кафедры  
ГГЭЭС Саяно-  
Шушенского филиала  
СФУ  
должность

В.И. Татарников  
ициалы, фамилия

Выпускник

---

подпись, паспорт

В.А. Жукова  
инициалы, фамилия

Рецензент

---

подпись дата

Ведущий инженер  
Филиала ПАО  
«РусГидро» - «Саяно-  
Шушенская ГЭС  
имени П.С.  
Непорожнего»  
должность

В.С. Архипенко

## Консультант

---

подпись писателя

Доцент кафедры ГТС  
и ГМ Саяно-  
Шушенского филиала  
СФУ  
должность

В.Б. Затеев  
ициалы, фамилия

## Нормоконтролёр

---

## А.А. Чабанова

Саяногорск. Черемушки 2020

## **АННОТАЦИЯ**

С развитием научно-технического прогресса и постоянным ужесточением требований по экологии все больший интерес вызывают электромеханические цилиндры, являющиеся в России инновационным продуктом.

В настоящее время для управления затворами гидротехнических сооружений (ГТС) электроцилиндры применены лишь на четырех ГТС России.

Проведённый в диссертации анализ гидромеханического оборудования ГТС отечественных гидроэлектростанций, позволяет сделать выводы о возможности применения электроцилиндров для маневрирования затворами.

Выполненный экономический расчет и сравнительный анализ электроцилиндров и гидроцилиндров (наиболее часто используемых стационарных подъемных механизмов) показывают обоснованность применения электроцилиндров.

## АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Применение электроцилиндров при маневрировании затворов ГТС».

**Цель работы:** рассмотреть возможность в рамках строительства, реконструкции и технического перевооружения объектов ПАО «РусГидро» применения в качестве механизмов для маневрирования затворами гидротехнических сооружений - электромеханические цилиндры.

**Основные задачи:**

- изучить устройство, основные характеристики и применение электромеханических цилиндров за рубежом и в России, их преимущества и недостатки;
- проанализировать затворы гидротехнических сооружений, на которых возможно и целесообразно применение электроцилиндров;
- произвести технико-экономические расчеты для сравнения стоимости капитальных затрат и затрат на поддержание исправного технического состояния электро- и гидроцилиндров (наиболее часто используемых стационарных подъемных механизмов), и сделать выводы о экономической обоснованности внедрения электроцилиндров.

**Научная новизна:** Электромеханические цилиндры – инновационное оборудование, которое в России мало изучено. Диссертация освещает важные вопросы, которые позволяют оценить целесообразность использования электроцилиндров при маневрировании затворами ГТС.

**Практическая значимость работы:** В диссертации проведен анализ 1026 затворов различного типа, конструкции, размера и предназначения, а также подъемных механизмов, предназначенных для их маневрирования, установленных на пятидесяти шести гидротехнических сооружениях ГЭС России и расположенных в различных климатических зонах для оценки возможности применения электроцилиндров для маневрирования ими.

**Личный вклад автора:** Автор произвел сбор информации о гидромеханическом оборудовании пятидесяти шести гидротехнических сооружений ГЭС России; проанализировал полученные данные, сделал выводы о возможности применения инновационного оборудования на исследуемых затворах; провел технико-экономическое сравнение электроцилиндров и гидроцилиндров.

**Апробация работы:**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- VI Всероссийской научно — практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ», Саяногорск р.п. Черемушки, 2019 года.

- XII Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы машиностроения», г. Томск, 28 октября - 1 ноября 2019г.

**Публикации:**

Основные положения и выводы изложены в 2 публикациях в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень реализуемых научных изданий определённых РИНЦ, ISBN.

**Структура и объём диссертации:**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы в количестве 30 штук. Материал изложен на 78 страницах, содержит 20 рисунков, 19 таблиц и 10 формул.

**Ключевые слова:** Электроцилиндр, гидроцилиндр, маневрирование затворами, гидротехнические сооружения, сегментные затворы, гидромеханическое оборудование.

## ABSTRACT

Final qualifying work on the topic "The use of electric cylinders when maneuvering the gates of hydraulic structures."

**Purpose of work:** to consider the possibility of using electromechanical cylinders as mechanisms for maneuvering the gates of hydraulic structures as part of the construction, reconstruction and technical re-equipment of PJSC RusHydro facilities.

**Main goals:**

- to study the device, the main characteristics and application of electromechanical cylinders abroad and in Russia, their advantages and disadvantages;
- analyze the gates of hydraulic structures on which the use of electric cylinders is possible and appropriate;
- make feasibility studies to compare the cost of capital costs and the costs of maintaining the good technical condition of electric and hydraulic cylinders (the most commonly used stationary lifting mechanisms), and draw conclusions about the economic feasibility of introducing electric cylinders.

**Scientific novelty:** Electromechanical cylinders are innovative equipment that has been little studied in Russia. The dissertation highlights important issues that will make it possible to assess the feasibility of using electric cylinders when maneuvering hydraulic shutter gates.

**The practical significance of the work:** In the dissertation, an analysis of 1026 gates of various types, designs, sizes and purposes, as well as lifting mechanisms designed for their maneuvering, installed at fifty-six hydraulic structures of Russian hydroelectric power plants and located in different climatic zones to assess the possibility of using electric cylinders for maneuvering by them.

**Personal contribution of the author:** The author collected information on the hydromechanical equipment of fifty-six hydraulic structures of the Russian hydroelectric power station; analyzed the data obtained, made conclusions about the possibility of using innovative equipment on the studied valves; conducted a technical and economic comparison of electric cylinders and hydraulic cylinders.

**Testing work:**

The results of the dissertation were reported and discussed at the following conferences:

- VI All-Russian scientific and practical conference of young scientists, specialists, graduate students and students "HYDROELECTRIC STATIONS IN THE XXI CENTURY", Sayanogorsk r.p. Cheryomushki, 2019.

- XII International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Mechanical Engineering", Tomsk, October 28 - November 1, 2019.

**Publications:**

The main provisions and conclusions are set forth in 2 publications in scientific journals and publications, which are included in the list of sold scientific publications of certain RSCI, ISBN.

**The structure and scope of the dissertation:**

The dissertation consists of introduction, number of chapters, conclusion and list of references from and titles. The material is presented on 70 pages, contains 19 figures, 16 tables and 10 formulas.

**Key words:** electric cylinder, hydraulic cylinder, shutter maneuvering, hydraulic structures, segment locks, hydromechanical equipment.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.....	8
1 Применение электромеханических цилиндров.....	14
1.1 Применение электроцилиндров за рубежом .....	14
1.2 Применение электроцилиндров в России .....	16
2 Устройство электромеханических цилиндров .....	23
3 Анализ гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений гидроэлектростанций России для оценки возможности применения электромеханических цилиндров .....	25
4 Экономическое сравнение электроцилиндров и гидроцилиндров .....	66
4.1 Капитальные затраты.....	66
4.1.1 Стоимость оборудования .....	66
4.1.2 Строительно-монтажные работы .....	67
4.1.3 Пуско-наладочные работы .....	68
4.2 Затраты на поддержание исправного технического состояния .....	68
4.2.1 Техническое обслуживание .....	68
Заключение .....	73
Список использованных источников .....	76

## ВВЕДЕНИЕ

Для управления водным потоком (регулирование уровня воды в верхнем бьефе и расход воды) на гидротехнических сооружениях (ГТС) используются затворы, относящиеся к гидромеханическому оборудованию ГТС и представляющие из себя подвижные конструкции различного типа. По местоположению перекрываемых отверстий затворы подразделяются на поверхностные (на пороге сооружения) и глубинные (перекрывают отверстия, погруженные в воду). По эксплуатационному назначению затворы бывают основными (рабочими), ремонтными, аварийными, аварийно-ремонтными и строительными. По конструктивным признакам затворы классифицируются следующим образом: плоские, сегментные, секторные, клапанные, вальцовочные, крышевидные, шандорные, плавучие, шлюзовые ворота и другие [1].

Плоские затворы получили наибольшее распространение благодаря простоте конструкции, а также надежности работы и удобства эксплуатации.

Шлюзовыми двустворчатыми воротами называют затвор, состоящий из двух вертикальных поворотных створок, взаимно опирающихся в створе при закрытом отверстии, при открытом отверстии створки располагаются в шкафных нишах головы шлюза. Эксплуатационной особенностью работы механического оборудования шлюзов является его интенсивная работа с частотой действия до 40 раз в сутки.

Механическое оборудование должно обеспечивать надежность гидротехнических сооружений при любых условиях эксплуатации. Для обеспечения безопасности на ГТС Федеральный закон ФЗ-117 «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.1997 г. устанавливает технические требования к процессам эксплуатации и технического обслуживания гидромеханического оборудования [2].

Затворы ГТС должны обеспечивать плотное закрытие водопропускных отверстий и полное или частичное открытие их в течение заданного времени [2]. С помощью подъемных механизмов затворы открывают для пропуска излишков воды, льда, а также других плавающих тел в водохранилище. К подъемным механизмам относятся не только механизмы для перемещения затворов, но и дожимные тяговые органы, приводы и аппаратура управления. Устройства для управления затворами подразделяются на подвижные и стационарные, имеющие принципиальные отличия (таблица 1). Подвески и тяговые органы затворов бывают жесткими либо гибкими. В зависимости от конструктивных особенностей, а также по способу присоединения к затвору механизмы могут быть с гибкой подвеской и с жесткой тягой. Примером устройств с гибкой подвеской выступают лебедки, краны, тельферы; с жесткой тягой – механические и гидравлические подъемники и приводы. Применение механизмов с гибкой тягой обусловливается отсутствием дожимных усилий при посадке затвора на порог [1].

Таблица 1 – Механизмы для управления затворами ГТС

Тип механизма	Состав	Количество обслуживаемых затворов	Условия применения
Подвижные механизмы	Краны (мостовые, козловые, полукозловые, порталные), тельферы (монорельсовые тележки), катучие лебедки	Обслуживают несколько затворов	Применяют при большом числе однотипных затворов (более 4) и отсутствии необходимости в быстром и одновременном маневрировании; при наличии аварийных или ремонтных затворов, переставляемых из одного отверстия в другое; при посадке на порог затворов, не требующих дожимных усилий.
Стационарные механизмы	Лебедки, гидравлические и гидромеханические цилиндры	Обслуживают только один затвор	Применяют при необходимости в короткий срок поднять или опустить один или несколько затворов (на реках с быстро наступающими паводками и др.), при малом числе затворов на сооружении, особенно при их рассредоточении.

Наибольшее распространение получили подвижные подъёмные механизмы (краны козловые, полукозловые, порталные и мостовые). Их применяют в 75 % случаев, что объясняется возможностью не только поднимать и опускать затворы, но и перемещать на небольшие расстояния в горизонтальном направлении.

На гидроэлектростанциях чаще всего используются козловые краны, так как они более маневренные.

Применение козловых кранов на гидротехнических сооружениях гидроэлектростанций обладает следующими преимуществами по сравнению со стационарными подъемными механизмами:

- Стоимость козловых кранов меньше стоимости стационарных механизмов;
- Козловые краны используются при строительстве сооружения для строительно-монтажных работ и для проведения ремонтных работ, то есть расширяется область их применения и происходит оборачиваемость оборудования.

Однако наряду с положительными моментами использования козловых кранов, есть и недостатки, а именно: невозможность управлять механизмом

дистанционно, сложность синхронизации работы двух спаренных кранов, что, в свою очередь, приводит к перекосам затворов при маневрировании.

Устройство козлового крана показано на рисунке 1.

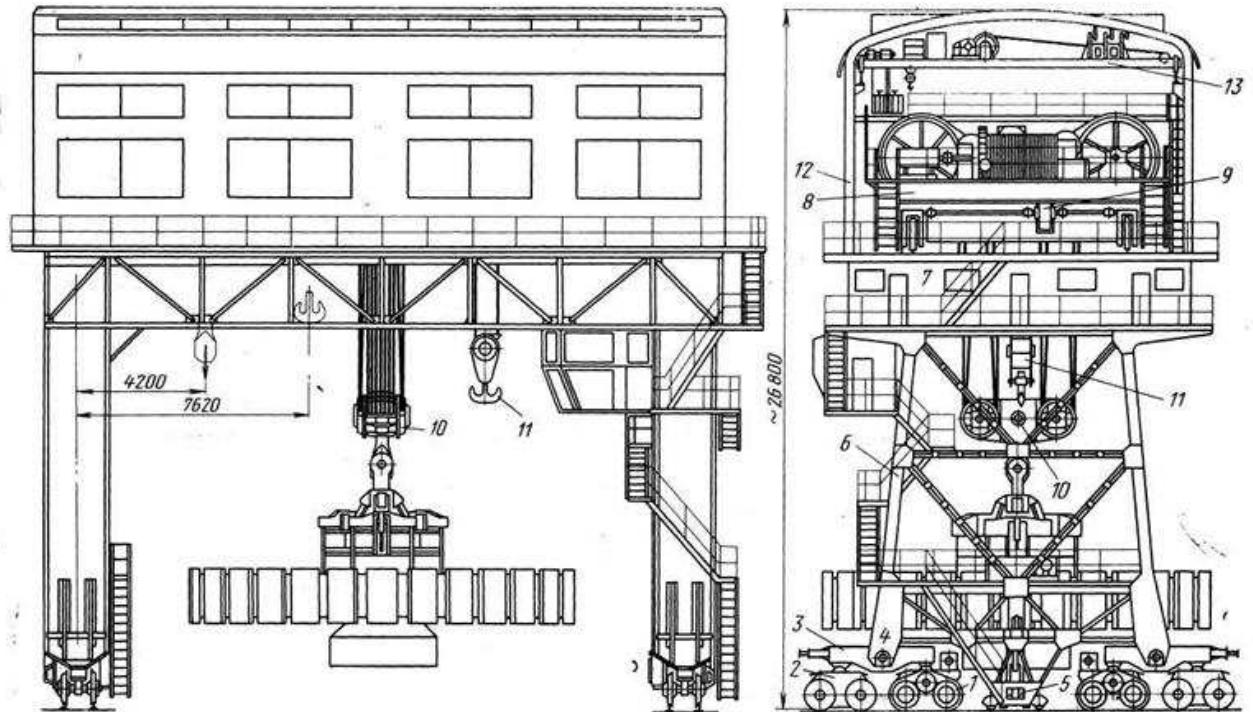


Рисунок 1 – Устройство козлового крана

1 – главные балансирные тележки, 2 – балансирные тележки, 3 – балансирная балка, 4 – ось крепления ног с балансирной балкой, 5 – противоугонное устройство, 6 – ноги остова крана, 7 – мост крана, 8 – грузовая тележка, 9 – механизм передвижения тележки, 10 – главный подъем, 11 – вспомогательный подъем, 12 – кузов крана, 13 – кран-балка

Так как стационарные подъемные механизмы имеют такое преимущество перед подвижными механизмами, как легкая интеграция с автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП), их применение на ГТС, на которых в короткий срок нужно маневрировать несколькими затворами, является наиболее оптимальным.

В случаях применения стационарных подъемных механизмов значительно упрощается и ускоряется маневрирование подвижной частью затвора.

Электрические лебедки, как правило, используются на затворах с одной точкой подвеса и при незначительных подъемных усилиях. На рисунке 2 представлены электрические лебедки, которые маневрируют затворами шлюзов – регуляторов ГЭС-3 Кубанского каскада ПАО «РусГидро».



Рисунок 2 – Электрические лебедки, маневрирующие затворами шлюзов – регуляторов ГЭС-3 Кубанского каскада ПАО «РусГидро»

Среди стационарных подъемных механизмов гидравлические подъемники получили большее применение для маневрирования затворами и двустворчатыми воротами. При этом они могут располагаться вертикально (для обслуживания плоских и сегментных затворов), горизонтально (для обслуживания двустворчатых ворот), наклонно (для обслуживания клапанных затворов) [3]. На гидроэлектростанциях в нашей стране гидравлические цилиндры (гидроцилиндры) получили широкое применение не только для управления гидромеханическим (рисунок 3), но и гидротурбинным оборудованием. Например, на Саяно-Шушенской ГЭС, Майнской ГЭС (рисунок 4), Красноярской ГЭС, Нижне-Бурейской ГЭС и на других станциях.



Рисунок 3 – Гидравлические цилиндры, установленные для маневрирования сегментными затворами водосливной плотины Майнской ГЭС

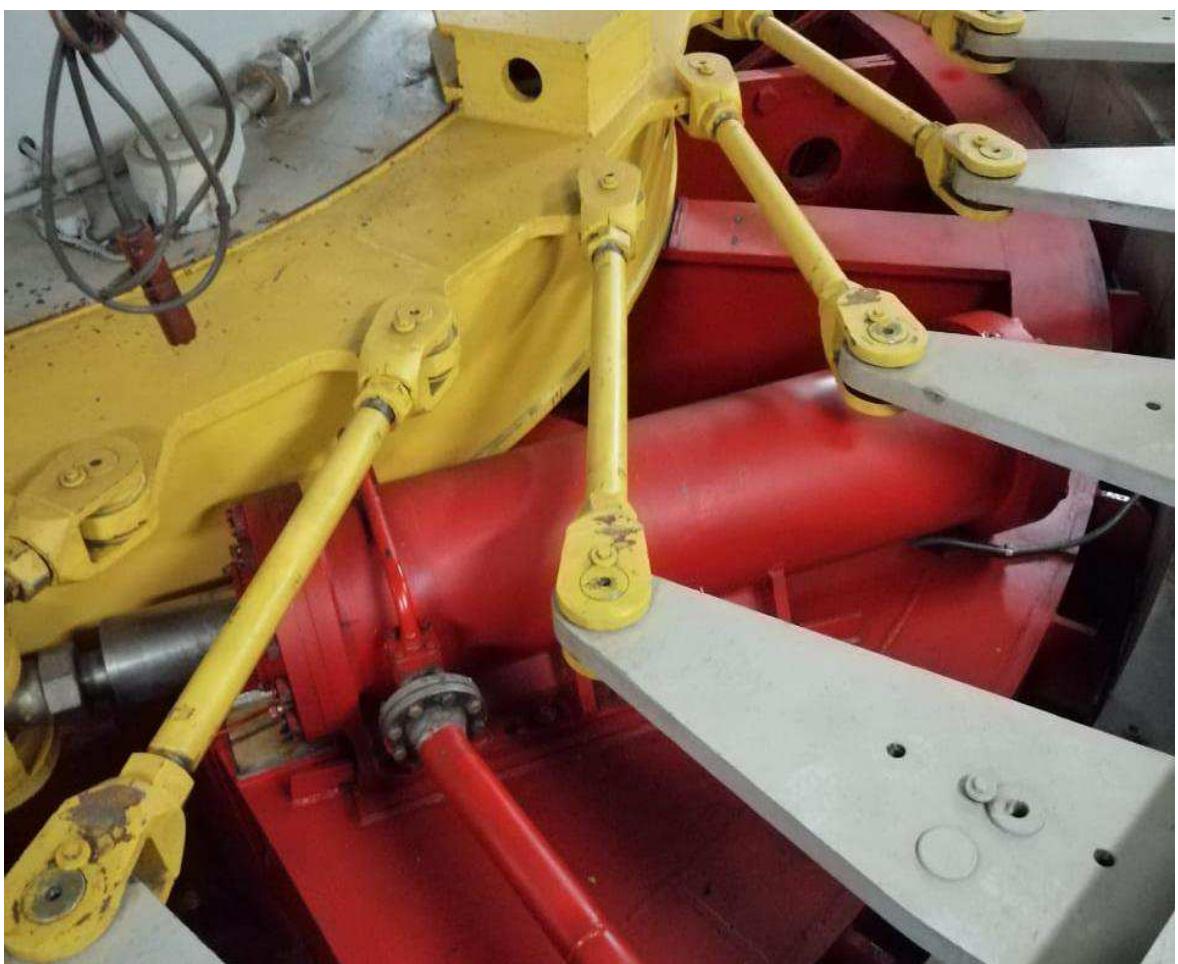


Рисунок 4 – Гидравлические цилиндры, установленные для управления направляющим аппаратом на турбинах Майнской ГЭС

Гидроцилиндр представляет собой объемный гидродвигатель возвратно-поступательного движения, схема устройства которого изображена на рисунке 5. Его рабочей средой является масло. Широкое распространение гидроцилиндров обусловлено наличием преимуществ, таких как большие мощности и усилия при относительно небольших массах и размерах устройств, возможность быстрого переключения скоростей при маневрировании затворами, простота механизмов. К недостаткам гидроподъемников можно отнести значительный износ насосов, клапанов, золотников, которые требуют технического обслуживания (настройки, регулировки, замены) и ремонта; предъявление требований по содержанию механических примесей и влаги к маслу, используемому в гидравлической системе подъемников; внутренние утечки масла, снижающие КПД устройства, и наружные, наносящие ущерб экологической среде [4].

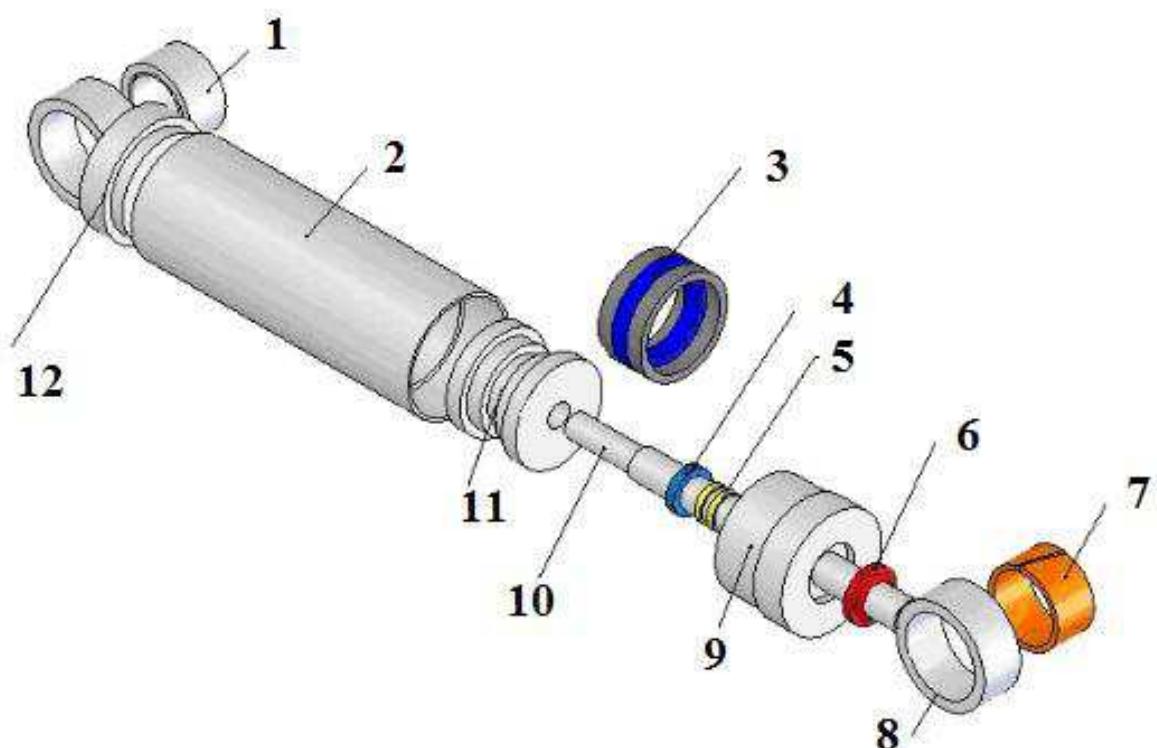


Рисунок 5 – Устройство гидравлического цилиндра

1 – подшипник шарирный скольжения, 2 – цилиндр, 3 – поршневое уплотнение, 4 – штоковое уплотнение, 5 – направляющие, 6 – пыльник, 7 – втулка, 8 – передняя проушина, 9 – букса, 10 – шток, 11 – поршень, 12 – задняя крышка

Механизмы индивидуальных приводов затворов, маслонасосные установки гидроприводов и аппаратуры управления должны быть защищены от атмосферных осадков, пыли [5].

Помещения обслуживания затворов с индивидуальными приводами в районах с холодным климатом выполняются закрытыми. Маслонасосные установки, аппаратура управления и контроля располагаются в отапливаемых вентилируемых помещениях [5].

## **1 Применение электромеханических цилиндров**

В связи с ужесточением требований по экологии [6] и развитием научно-технического прогресса изобретены и внедряются в различные области машиностроения электромеханические цилиндры (электроцилиндры). Электроцилиндры находят широкое применение в таких областях как: медицина; станкостроение; машиностроение; авиастроение; космическая, энергетическая, сельскохозяйственная, нефтегазовая отрасли и так далее [7].

Электроцилиндры имеют ряд преимуществ, таких как высокая экологичность, надежность конструкции, энергоэффективность, удобство монтажа и наладка оборудования, уменьшение затрат на эксплуатацию, возможность интеграции с АСУТП и дистанционного мониторинга технического состояния электроцилиндров. Электроцилиндры могут работать в любых положениях: вертикально, горизонтально, наклонно. Даже в особо сложных режимах работы, электроцилиндры характеризуются малым энергопотреблением, что позволяет обеспечить время автономной работы без внешнего питания за счет питания от собственной аккумуляторной батареи [7].

### **1.1 Применение электроцилиндров за рубежом**

За рубежом электромеханические цилиндры используются с 1965 года, в основном, для общепромышленного использования. На гидротехнических сооружениях электропривод стали применять с 1996 года [8].

Электроцилиндры получили широкое применение на гидротехнических сооружениях в Европейских странах (Германия, Франция, Италия, Бельгия, Нидерланды). В период с 1996 года по 2018 год электроцилиндры в количестве 764 шт. применены на 235 гидротехнических сооружениях в Европе, в том числе для управления двухстворчатыми воротами шлюзов, затворами противопаводковых бассейнов, затворами плотин, дамб, водосливных установок, рыбоходов и т.д. [8] На рисунках 6 и 7 приведены примеры применения электроцилиндров.

Первое устройство, изображенное на рисунке 6, было введено в эксплуатацию в 1995 году на плотине в г. Липе (Германия).



Рисунок 6 - Электроцилиндр на плотине в г. Липе, Германия



Рисунок 7 - Электроцилиндр на шлюзе кольцевого канала г. Гент, Бельгия

## 1.2 Применение электроцилиндров в России

В России электромеханические цилиндры мало изучены и опыт их эксплуатации относительно небольшой [9].

### *Гидромеханическое оборудование Эзминской гидроэлектростанции*

Эзминская ГЭС, установленной мощностью 45 МВт, расположена на реке Терек в республике Северная Осетия – Алания. Назначение гидроузла – энергетическое: ГЭС покрывает потребность в электрической энергии самого густо населенного района в республике. Компоновка сооружения станции представляет собой головной узел (земляная плотина, водоприемник, отстойник), деривационный тоннель, напорный узел (напорный бассейн, водоприемник ГЭС и бассейн суточного регулирования), станционный узел (здания ГЭС, турбинный водопровод).

Затвор основной плоский колесный донный предназначен для регулирования пропуска воды в отстойник через водоприемник головного узла. Маневрирование затвором может осуществляться как в спокойной воде, так и в текущую воду. Возможна работа затвора при частичных открытиях.

Технические характеристики затвора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики затвора основного плоского колесного

Технические характеристики	Значение
Пролет отверстия в свету	6,00 м
Расчетный пролет	6,49 м
Нагруженный пролет	6,14 м
Расчетный напор	2,50 м
Высота отверстия	1,80 м
Нагруженная высота	1,88 м
Главная нагрузка	180000 Н
Расчетное подъемное усилие	80000 Н
Грузоподъемность механизма	100000 Н
Масса затвора	4500 кг
Количество секций	1
Количество точек подвеса	2

В 2017 году в рамках модернизации системы управления затворами головного узла Эзминской гидроэлектростанции был установлен привод на основе электроцилиндров, приведенный на рисунке 8.



Рисунок 8 – Электромеханические цилиндры, маневрирующие затворы головного узла Эзминской ГЭС

Для маневрирования затворами были разработаны, изготовлены, установлены 18 электроцилиндров со встроенными пружинными компенсаторами и специализированной системой уплотнений корпуса, предназначенные для длительной работы на гидротехнических сооружениях. Автоматическое управление, размещенное в контейнере, располагается на улице в целях защиты электротехнических шкафов [9].

Технические характеристики электроцилиндров серии ЕС-НРР приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики электроцилиндров ЕС-НРР80-РТ-Д-2300/30, примененных на Эзминском гидроузле

Технические характеристики	Значение
Рабочее усилие при втягивании/выдвижении штока	100000 Н
Рабочий ход штока	2300 мм
Максимальная скорость штока при 75 Гц	30 мм/с
Напряжение питания	380 В
Частота напряжения питания	50 Гц
Номинальная мощность электродвигателя	6,3 кВт
Номинальный ток электродвигателя при рабочем усилии	10 А
Степень защиты по ГОСТ 14254-69	IP 65
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69	У1
Диапазон температур окружающей среды	-45°C ...+45°C
Масса электроцилиндра	Не более 765 кг

Электроцилиндр серии ЕС-НРР обладает следующими дополнительными опциями:

- встроенная система противовращения штока;

- грязеотталкивающее и антикоррозийное покрытие штока;
- ледосъемное кольцо штока;
- фланцевый тип крепления к эстакаде;
- встроенный ограничитель предельного усилия;
- 4 настраиваемые концевые положения;
- настраиваемая моментная муфта привода электроцилиндра;
- самотормозящийся мотор-редуктор;
- ручное дублирующее колесо.

### *Малая ГЭС Каллиокоски*

Каллиокоски МГЭС, установленной мощностью 0,98 МВт, расположена на реке Тохмайоки в Сортавальском районе Республики Карелия. Станция построена на месте двух разрушенных в годы Великой Отечественной войны финских гидроэлектростанций.

В 2014 году в ходе реализации проекта – строительства малой гидроэлектростанции Каллиокоски, в составе гидромеханического оборудования, был установлен автоматический регулирующийся плоский затвор водосливной плотины с приводом на базе электроцилиндра с установочной рамой и карданным подвесом [9], показанный на рисунке 9, 10.

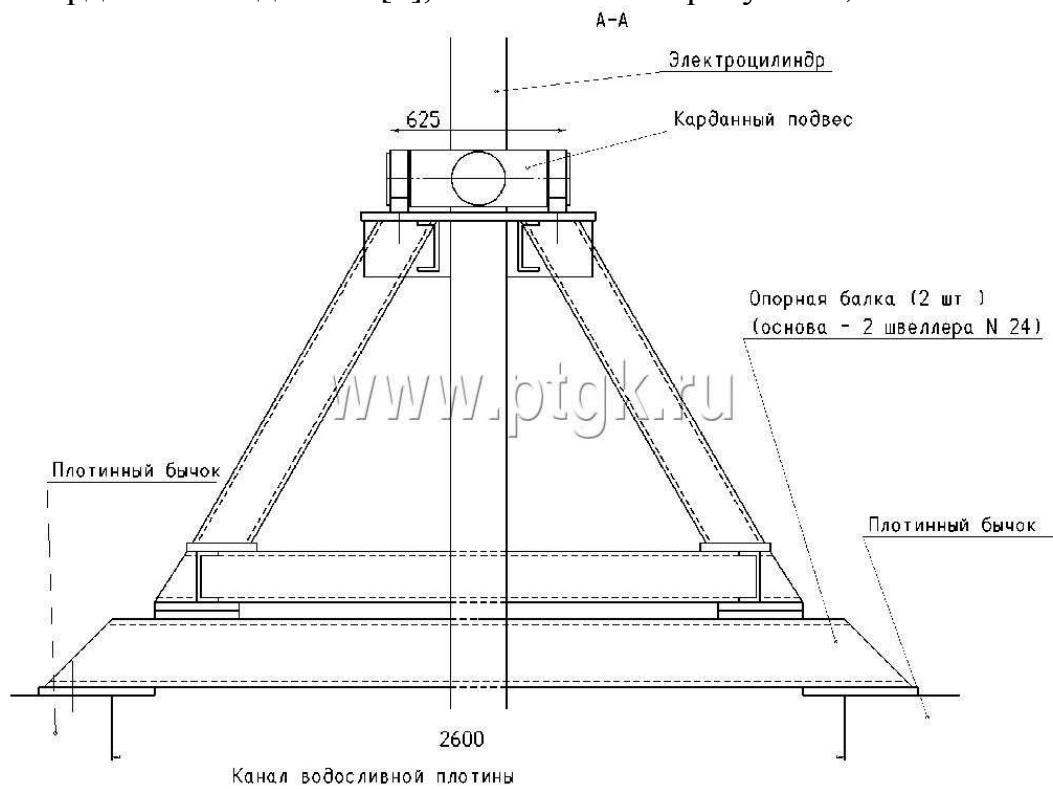


Рисунок 9 – Схема расположения электроцилиндра с карданным подвесом на малой ГЭС Каллиокоски



Рисунок 10 – Электроцилиндр с карданным подвесом, маневрирующий плоским затвором, на малой ГЭС Каллиокоски

Параметры примененного электроцилиндра: ход штока 4650 мм, усилие 20 тонн.

Особенностью реализованного проекта является установка электроцилиндра на опоре с шарниром, что позволяет полностью исключить радиальные нагрузки на шток электроцилиндра. Благодаря этому существенно увеличивается срок службы механической передачи и уплотнений электроцилиндра.

#### *Шлюз №7 Волго-Донского судоходного канала*

Волго-Донский судоходный канал имени В.И. Ленина введен в эксплуатацию в 1952 году для соединения между собой двух рек - Волгу (вблизи города Волгоград) и Дон (вблизи города Калач-на-Дону). Для прохождения полного пути из Волги в Дон суда проходят 13 шлюзов. Длина канала составляет 101 км. Высота головы шлюза – 12,3 м. Уклон канала – 0,29 м/км.

Модернизация привода подъемно-опускных ворот шлюза №7 Волго-Донского судоходного канала, выполненного на основе электроцилиндров, была осуществлена в 2016 году. На рисунке 11 показаны электроцилиндры, управляющие воротами шлюза [10].

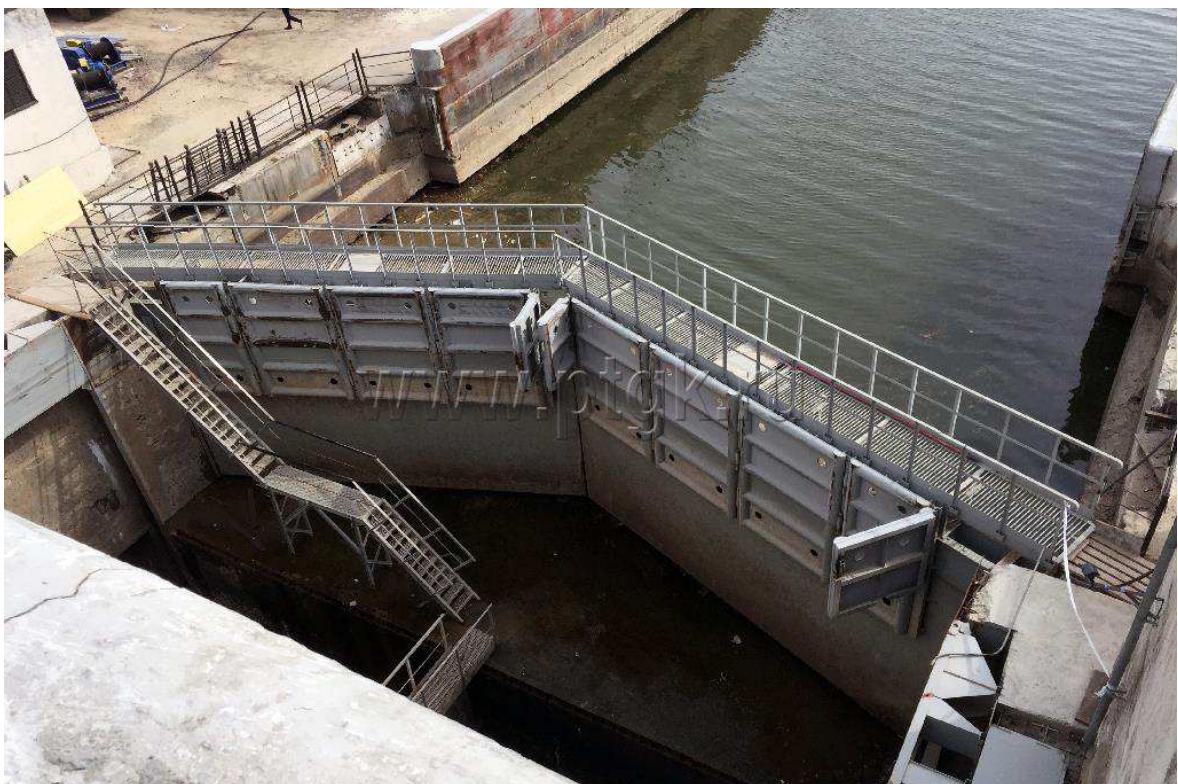


Рисунок 11 – Электроцилиндры, управляющие шлюзом №7 Волго-Донского шлюзового канала №2

В рамках проекта модернизации изготовлены и установлены три электромеханических цилиндра. В состав привода входят:

- электромотор с тормозом и ручной разблокировкой,
- шарико-винтовая передача,
- встроенная система противовращения штока,
- датчик линейного положения штока в комплекте,
- грязеотталкивающее и антикоррозийное покрытие штока,
- ледосъемное кольцо на штоке,
- цапфовый тип крепления к опоре,
- три настраиваемых концевых положения, ручное дублирующее колесо с концевиком.

Максимальная линейная скорость штока электроцилиндра 60 мм/с. Привод способен противостоять внешним усилиям до 50 кН.

#### *Шлюз №5 Северо-Двинской шлюзованной системы*

Северо-Двинская шлюзованная система представляет собой водный путь между реками Волга и Северная Двина.

Шлюз №5, расположенный в деривационном канале в 44,7 км от р. Шексны, был построен в 1917 году. Это однокамерный с промежуточной головой шлюз, оборудованный плоскими металлическими ригельными рабочими двухстворчатыми воротами. Полезная длина камеры шлюза составляет 155,4 м (длина 164,34 м), ширина 12,83 м, напор на сооружение 2,21 м.

В 2017 году в рамках модернизации привода ворот шлюза №5 Северо-Двинской шлюзованной системы был установлен привод на основе электроцилиндров EMLA-100-2300 (рисунок 12) [10].



Рисунок 12 – Электроцилиндры, управляющие ворот шлюза №5 Северо-Двинской шлюзованной системы

Привод состоит из линейной части на основе шарико-винтовой передачи, комплектного мотора редуктора с дублированным цифровым управлением, пружинного блока демпфирования внешних воздействий с датчиком усилия, карданной опоры и элементов крепления к воротам шлюза. Привод способен противостоять внешним усилиям до 160 кН. Он рассчитан на усилие 10 тонн, датчик ограничения усилия, расположенный внутри электроцилиндра, отрегулирован на усилие 3 тонны, также внутри имеются датчики концевых выключателей. Точность выдвижения штока — 0,1 мм. Предусмотрен ручной привод открытия ворот. Управление электроцилиндра осуществляется с помощью частотных преобразователей.

Работы по монтажу электроцилиндров, предназначенных для маневрирования воротами шлюза №5, а также подключение к системе и настройка работы приводов заняли 7 календарных дней [10].

Также электромеханические цилиндры используются для управления направляющим аппаратом [11]:

- на Пальозерской ГЭС (ГЭС – 2) (установленная мощность 25 МВт) ПАО «ТГК – 1» с 2015 г. Характеристики электроцилиндра на Пальозерской ГЭС: ход штока 600 мм, усилие на штоке до 40 тс [12];

- на Кондопожской ГЭС каскада Сунских ГЭС филиала «Карельский» ОАО «ТГК-1» (рисунок 13) [13].



Рисунок 13 – Электроцилиндр, управляющий гидротурбинным оборудованием  
Кондопожской ГЭС

## 2 Устройство электромеханических цилиндров

Электромеханический цилиндр представляет собой линейный механический привод (рисунок 14) на основе шарико-винтовой или ролико-винтовой пары (рисунок 15), который преобразует вращательное движение двигателя в поступательное движение штока. Электроцилиндр обладает не только высоким КПД, но и точностью позиционирования (от 0,1 мм).

Приводной вал соединен с электродвигателем через объединенный редуктор, который обеспечивает передачу вращательного момента приводному валу. Электродвигатель находится под управлением частотного преобразователя, который, в свою очередь, обеспечивает необходимую скорость вращения, и, следовательно, скорость перемещения штока электроцилиндра. Электроцилиндры оснащены дисковыми тормозами с электромагнитным приводом [11].

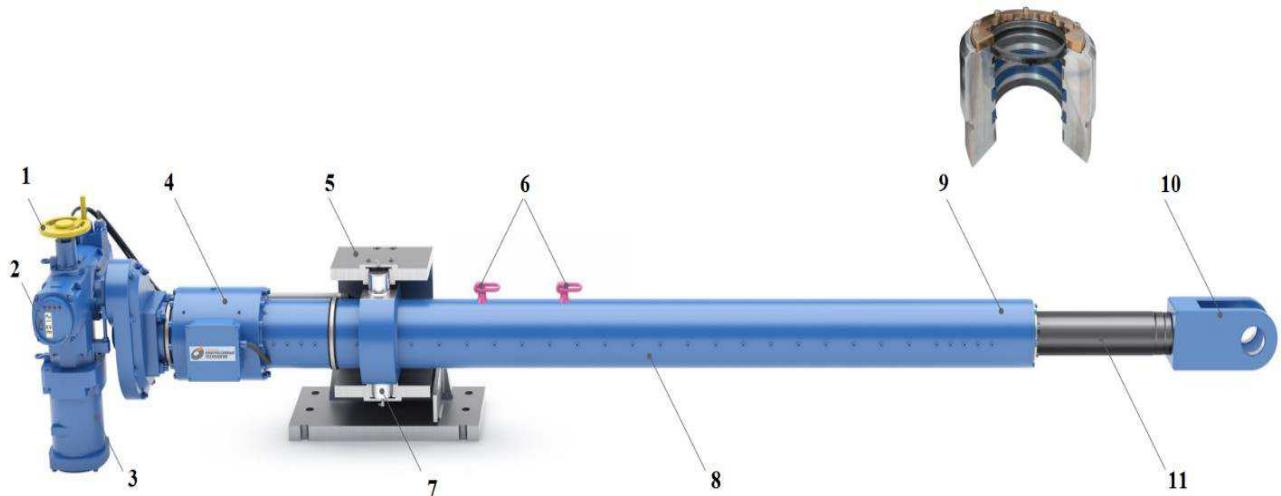


Рисунок 14 – Устройство электромеханического цилиндра

1 – ручной дублер, панель управления с индикатором положения, мотор-редуктор с датчиками положения, 4 – активный демпфер, 5 – шарнирная опора, 6 – рым-болты, 7 – цапфа, 8 – корпус, 9 – специализированный блок уплотнений, 10 – шарнирная проушина, 11 – шток из стали с покрытием хромом/керамикой или из нержавеющей стали.

В шарико-винтовых передачах нагрузка передается с гайки на винт через шарики, которые расположены в канавках резьбы. В связи с этим, общая площадь контакта относительно мала в связи с ограниченностью числа полных витков шариков в гайке [14].



Рисунок 15 – Электромеханический привод

а-на основе ролико-винтовой пары, б- на основе шарико-винтовой пары

В ролико-винтовых передачах нагрузка передается через рифленую поверхность всех цилиндрических роликов, что приводит к значительному увеличению числа точек контакта и общей площади контакта относительно шарико-винтовой передачи. Это обуславливает большие усилия у электроцилиндров на основе ролико-винтовой пары [15].

Ролико-винтовые передачи имеют следующие преимущества: высокая грузоподъемность (статическая нагрузка до 1500 тонн, динамическая нагрузка до 370 тонн); высокая допустимая скорость вращения; высокие допустимые ускорения; продолжительный срок службы; надежность; хорошая сопротивляемость агрессивным средам (пыль, песок, лёд); хорошая сопротивляемость ударным нагрузкам и вибрациям; высокая точность повторяемости позиционирования [16], [17].

## **4 Экономическое сравнение электроцилиндров и гидроцилиндров**

Экономическая часть включает в себя расчет капитальных затрат (стоимость оборудования, стоимость строительно-монтажных работ, стоимость пуско-наладочных работ) и затраты на поддержание исправного технического состояния (техническое обслуживание, текущий ремонт, капитальный ремонт) на весь жизненный цикл оборудования, то есть 40 лет. Расчеты выполнены в текущих ценах без НДС.

### **4.1 Капитальные затраты**

#### **4.1.1 Стоимость оборудования**

Уникальное оборудование – не серийное и не унифицированное оборудование, изготавливаемое на заказ, которое может быть использовано только на данном предприятии в составе комплекса имущества или производственного цеха предприятия [26].

Как правило, это металлоемкое, крупногабаритное оборудование, которое может быть изготовлено ограниченным числом заводов по предварительно согласованному техническому заданию с жесткой привязкой к технологическому циклу предприятия заказчика, планировке производственных корпусов, существующему на предприятии энергоснабжению. Демонтаж такого оборудования связан с большими техническими трудностями и, в большинстве случаев, не осуществим. Использовать это оборудование без существенного переоснащения на другом предприятии не возможно.

Сложности в оценке специализированного оборудования связаны с отсутствием идентичных объектов на вторичном рынке активов. Поэтому оценка уникального оборудования всегда связана с большим количеством сопутствующих расчётов.

Для расчета стоимости уникального оборудования применяется метод прямого сравнения с аналогом. Данный метод заключается в сравнении параметров исследуемого объекта с аналогичными объектами.

Суть метода заключается в оценке стоимости «цены» единицы наиболее важного технического параметра. В данном случае, это грузоподъемность, измеряющаяся в тс.

«Цена» единицы параметра находится по формуле 4.1:

$$b = \frac{\Pi}{x}, \quad (4.1)$$

где  $\Pi$  – цена объекта, рублей

$x$  – значение технического параметра – усилие, тс.

Стоимость электроцилиндра, установленного на Эзминской ГЭС, грузоподъемностью 10 тс, составляет 1 480 000,00 рублей [29].

$$b_e = \frac{1\ 480\ 000,00}{10} = 148\ 000,00 \frac{\text{рублей}}{\text{тс}}$$

Максимально возможное подъемное усилие у электромеханических цилиндров, выпускаемых в настоящее время, составляет 250 тс, поэтому, стоимость электроцилиндра с таким усилием рассчитывается по формуле 4.2.

$$\Pi = b \cdot x \quad (4.2)$$

$$\Pi_e = 148\ 000,00 \cdot 250 = 37\ 000\ 000,00 \text{ рублей}$$

Стоимость гидроцилиндра, грузоподъемностью 300 тс, составляет 21 500 000,00 рублей. Стоимость гидроцилиндра в том числе включает в себя стоимость маслонасосного агрегата, запорной регулирующей арматуры (клапаны, гидрораспределители, вентиля, краны), маслопроводов [30].

$$b_g = \frac{21\ 500\ 000,00}{300} = 71\ 666,67 \frac{\text{рублей}}{\text{тс}}$$

Для сравнения стоимости электроцилиндра и гидроцилиндра с одинаковыми техническими параметрами, необходимо посчитать стоимость гидроцилиндра с усилием 250 тс.

$$\Pi_g = 71\ 666,67 \cdot 250 = 17\ 916\ 666,67 \text{ рублей.}$$

Результаты расчетов вносятся в таблицу 16.

#### **4.1.2 Строительно-монтажные работы**

Для электроцилиндров стоимость строительно-монтажных работ включает в себя его установка, прокладка и подключение кабельной продукции. Для расчета взята стоимость аналогичных работ Эзминской ГЭС и составляет – 1 000 000 рублей.

Для гидроцилиндров стоимость строительно-монтажных работ включает в себя установку: гидроцилиндра, маслобака, насосного агрегата и прокладка маслопроводов. Для расчета взята стоимость аналогичных работ сегментных затворов водосливной части плотины Майнской ГЭС и составляет – 2 200 000 рублей.

### **4.1.3 Пуско-наладочные работы**

Пусконаладочные работы (ПНР) — комплекс работ, выполняемых в период подготовки и проведения индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования.

Для электроцилиндров взята стоимость аналогичных работ Эзминской ГЭС и составляет – 150 000 рублей [29].

Для гидроцилиндров стоимость взята стоимость аналогичных работ сегментных затворов водосливной части плотины Майнской ГЭС и составляет – 1 200 000 рублей [30].

## **4.2 Затраты на поддержание исправного технического состояния**

### **4.2.1 Техническое обслуживание**

Техническим обслуживанием называется комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при его использовании по назначению [27].

Заявленный срок службы электромеханических цилиндров – 40 лет. Исходя из этого, будет произведен расчет для сравнения затрат на техническое обслуживание гидро- и электропривода в текущем уровне цен.

В соответствии с документацией завода изготовителя (Технический паспорт №РТ 1603.00.000 ПС) Техническое обслуживание электроцилиндра включает в себя пополнение консистентной смазки в количестве 20 кг в год. Стоимость 1 кг смазки высококачественной универсальной пластичной высокотемпературной "Esso Unirex N3" составляет 152,50 рублей.

Стоимость годового количества консистентной смазки составляет:

$$\Pi_{\text{см/год}} = \Pi_{1\text{кг}} \cdot n, \quad (4.3)$$

где  $\Pi_{1\text{кг}}$  – стоимость 1 кг материала, рублей,

$n$  – количество, кг

$$\Pi_{\text{см/год}} = 152,50 \cdot 20 = 3050,00 \text{ рублей.}$$

Услуги по восполнению смазки составляют 10 000,00 рублей.

Следовательно, ежегодное техническое обслуживание можно вычислить путем сложения затрат на приобретение необходимого количества материала и затрат на услуги по восполнению смазки.

$$\Pi_{\text{итог/год}} = \Pi_{\text{см/год}} + \Pi_{\text{усл/год}}, \quad (4.4)$$

где  $\Pi_{\text{усл/год}}$  – стоимость услуг, рублей.

$$\underline{Ц}_{\text{итог/год}} = 3050,00 + 10\ 000,00 = 13\ 050,00 \text{ рублей.}$$

Итого стоимость технического обслуживания за 40 лет эксплуатации составляет:

$$\underline{Ц}_{\text{эл.итог 40 лет}} = \underline{Ц}_{\text{итог/год}} \cdot m, \quad (4.5)$$

где  $m$  – продолжительность жизненного цикла оборудования, лет.

$$\underline{Ц}_{\text{эл.итог 40 лет}} = 13\ 050,00 \cdot 40 = 522\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Техническое обслуживание гидравлических цилиндров является более сложным процессом и включает в себя следующие затраты:

- Текущий ремонт гидроаппаратуры проводится ежегодно и составляет 78 000,00 рублей в год. Первые три года эксплуатации гидроцилиндр находится на гарантии, поэтому, текущий ремонт начинает проводиться с четвертого года использования оборудования.
- Капитальный ремонт штока гидроцилиндра проводится один раз в 3 года и составляет 1 300 000,00 рублей. Капитальный ремонт проводится после десяти лет эксплуатации, то есть 9 раз за 40 лет.
- Замена масла проводится один раз в 2 года, при этом стоимость масла составляет 200 000,00 рублей, услуги по замене масла - 10 000,00 рублей.

Для сравнения с затратами на техническое обслуживание электроцилиндров, принимается жизненный цикл гидроцилиндров равным 40 годам.

Стоимость текущего ремонта гидроаппаратуры за весь период эксплуатации составляет:

$$\underline{Ц}_{\text{TP 40 лет}} = \underline{Ц}_{\text{TP}} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $\underline{Ц}_{\text{TP}}$  – стоимость ежегодного текущего ремонта гидроаппаратуры, рублей,

$m$  – количество лет, за которые требуется выполнение ремонта, лет.

$$\underline{Ц}_{\text{TP 40 лет}} = 78\ 000,00 \cdot (40 - 3) = 78\ 000,00 \cdot 37 = 2\ 886\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Стоимость затрат на капитальный ремонт штока гидроцилиндра вычисляется по формуле 1.7.

$$\underline{Ц}_{\text{КР 40 лет}} = \underline{Ц}_{\text{КР}} \cdot m, \quad (4.7)$$

где  $\underline{Ц}_{\text{КР}}$  – стоимость капитального ремонта штока гидроцилиндра, рублей,

$m$  – количество лет, за которые требуется выполнение ремонта, лет.

$$\mathbb{C}_{\text{КР} \text{ 40 лет}} = 1\ 300\ 000,00 \cdot 9 = 11\ 700\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Стоимость затрат на замену масла, включая затраты на материал составляют:

$$\mathbb{C}_{\text{итог.масло}} = \mathbb{C}_{\text{масло}} \cdot \mathbb{C}_{\text{усл}}, \quad (4.8)$$

где  $\mathbb{C}_{\text{масло}}$  — стоимость затрат на масло, рублей

$\mathbb{C}_{\text{усл}}$  — стоимость услуг по замене масла, рублей

$$\mathbb{C}_{\text{итог.масло}} = 200\ 000,00 + 10\ 000 = 210\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Замена масла в системе каждые два года, следовательно, за весь период эксплуатации потребуется 20 раз заменить масло.

Стоимость затрат на замену масла за весь жизненный цикл оборудования составляет:

$$\mathbb{C}_{\text{масло 40 лет}} = \mathbb{C}_{\text{итог.масло}} \cdot m, \quad (4.9)$$

где  $m$  — количество лет, за которые требуется заменить масло, лет

$$\mathbb{C}_{\text{масло 40 лет}} = 210\ 000,00 \cdot 20 = 4\ 200\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Суммарные затраты на поддержание исправного технического состояния по формуле 1.10.

$$\mathbb{C}_{\text{г.итог 40 лет}} = \mathbb{C}_{\text{ТР 40 лет}} + \mathbb{C}_{\text{КР 40 лет}} + \mathbb{C}_{\text{масло 40 лет}} \quad (4.10)$$

$$\mathbb{C}_{\text{г.итог 40 лет}} = 2\ 886\ 000,00 + 11\ 700\ 000,00 + 4\ 200\ 000,00 = 18\ 786\ 000,00 \text{ рублей.}$$

Результаты расчетов вносятся в таблицу 19.

В таблице 19 представлен сравнительный анализ капитальных и текущих затрат электроцилиндров и гидроцилиндров на жизненный цикл (40 лет).

Таблица 19 – Сравнительный анализ электроцилиндров и гидроцилиндров

Параметр	Электроцилиндр	Гидроцилиндр
1. Капитальные затраты		
1.1 Стоимость оборудования	37 000 000,00 рублей	17 916 666,70 рублей
1.2 Строительно-монтажные работы	1 000 000,00 рублей.	2 300 000,00 рублей
1.3 Пуско-наладочные работы	150 000,00 рублей.	1 200 000,00 рублей.
<b>Итого капитальные затраты</b>	<b>38 150 000,00 рублей</b>	<b>21 316 666,00 рублей.</b>
2. Затраты на поддержание исправного технического состояния		
2.1 Техническое обслуживание	522 000,00 рублей.	-
2.2 Текущий ремонт	-	2 886 000,00 рублей
2.3 Капитальный ремонт	-	11 700 000,00 рублей.
2.4 Замена масла	-	4 200 000,00 рублей
<b>Итого затраты на поддержание исправного технического состояния</b>	<b>522 000,00 рублей.</b>	<b>18 686 000,00 рублей.</b>
<b>Итого</b>	<b>38 672 000,00 рублей.</b>	<b>40 002 666,00 рублей.</b>

Стоимость затрат на поддержание исправного технического состояния в части ремонта электродвигателя, замену подшипников, окраску корпуса у электроцилиндров и гидроцилиндров принимается одинаковой, поэтому, не учитывается в данной таблице.

В связи с недостаточным опытом эксплуатации электроцилиндров (с 2017 года) не выявлены данные о дополнительных расходах на поддержание исправного технического состояния, поэтому в таблице отражены только расходы на восполнение консистентной смазки, определенные производителем.

На рисунках 19 и 20 представлены диаграммы капитальных затрат и затрат на поддержание исправного технического состояния электроцилиндра в течение всего жизненного цикла (сорока лет) и капитальных затрат и затрат на поддержание исправного технического состояния гидроцилиндра в течение всего жизненного цикла (сорока лет) соответственно. При этом, капитальные затраты на электроцилиндр составляют 95,68 % от общей суммы затрат, строительно-монтажные работы – 2,59 %, пуско-наладочные работы – 0,39 %, затраты на поддержание исправного ТС – 1,35%. Капитальные затраты на гидроцилиндр составляют 44,57 %, на строительно-монтажные работы – 5,72 %, на пуско-наладочные работы – 2,98 %, затраты на поддержание исправного ТС – 46,73 %.



Рисунок 19 – Диаграмма капитальных затрат и затрат на поддержание исправного технического состояния электроцилиндра в течение всего жизненного цикла (сорока лет)

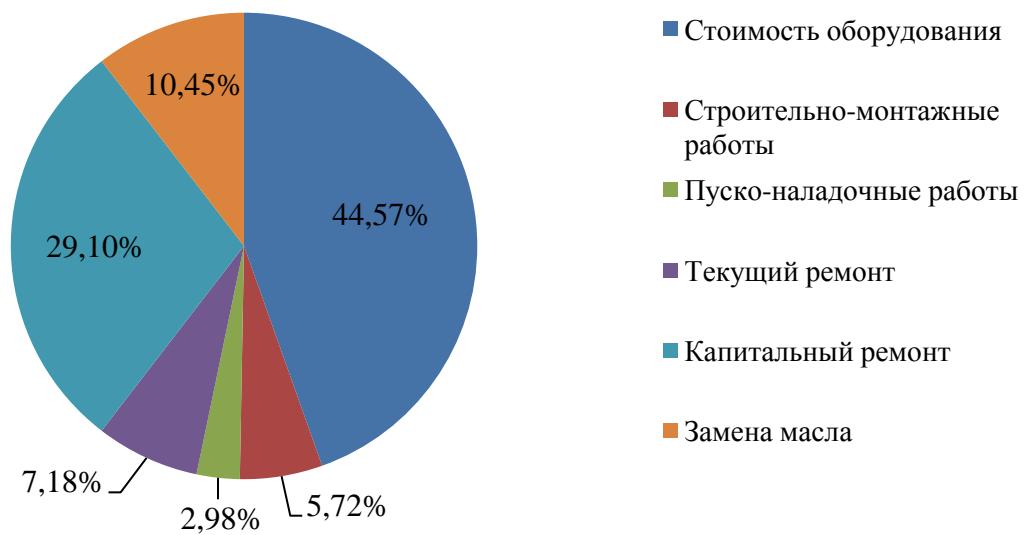


Рисунок 20 – Диаграмма капитальных затрат и затрат на поддержание исправного технического состояния гидроцилиндра в течение всего жизненного цикла (сорока лет)

На основании проведенных расчетов можно сделать выводы о экономической обоснованности применения электроцилиндров. При большей стоимости первоначальных капитальных затрат электроцилиндров их текущие расходы на эксплуатацию значительно меньше, за счет чего экономически оправдано их применение. Сумма экономического эффекта представляет собой разницу между итоговыми затратами на гидроцилиндр и итоговыми затратами на электроцилиндр, то есть 1 330 666,00 рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации были рассмотрены подвижные и стационарные механизмы для маневрирования затворами гидротехнических сооружений. Приведена информация об использовании инновационного оборудования - электропривода линейного перемещения на базе электромеханического цилиндра для маневрирования затворами гидротехнических сооружений за рубежом и в России, а также его устройство, особенности эксплуатации, достоинства и недостатки.

Выполнен анализ возможности модернизации механического оборудования с заменой на электроцилиндры 1026 затворов на пятидесяти шести ГТС гидроэлектростанций России, в том числе на: Саяно-Шушенской, Майнской, Чебоксарской, Бурейской, Зейской, Усть-Среднеканской, Богучанской, Зарамагской, Богучанской, Воткинской, Новосибирской, Камской, Вилуйской, Жигулевской, Кашихатау, Ирганайской, Гоцатлинской, Гунибской, Саратовской, Нижне-Бурейской, Красноярской, Рыбинской, Угличской ГЭС, Загорской ГАЭС, Зеленчукских ГАЭС, ГТС, входящих в состав Карачаево-Черкесского филиала ПАО «РУГидро».

На первом этапе анализа были отсортированы затворы, вес которых превышает максимально возможное расчетное подъемное усилие электроцилиндра, равное 270 тс. На втором этапе были отсортированы затворы, высота которых превышает максимально возможный ход штока, составляющий 8 м. На третьем этапе были исключены секционные затворы, так как для сбора секций необходим подвижной механизм.

По результатам анализа выбраны 319 затворов (31 % от общего числа исследуемых затворов), для маневрирования которыми подходит стационарный подъемный механизм на базе электромеханического цилиндра. Однако на 250 затворах (78 % из числа выбранных в результате анализа) конструкция сооружений спроектирована, построена, эксплуатируется с передвижным подъемным механизмом (кран козловой, кран мостовой). Для использования электроцилиндра, который является стационарным подъемным механизмом, необходимо произвести техническое перевооружение/реконструкцию сооружений, на которых будет расположен электропривод для оптимального восприятия нагрузки от механизма, затвора и передачи ее на сооружения.

Лишь на 69 затворах, которые составляют 22% от выбранных в результате анализа, целесообразно применять электроцилиндры, так как изначально они спроектированы и эксплуатируются со стационарными подъемными механизмами (гидропривод, винтовой механизм). Эти затворы расположены на гидротехнических сооружениях следующих гидроэлектростанций:

- Зеленчукских ГЭС,
- ГТС Карачаево-Черкесского филиала ПАО «РусГидро»,
- Майнской ГЭС,
- Зарамагской ГЭС,
- Богучанской ГЭС,
- Загорской ГЭС,
- Кашхатау-ГЭС,
- Гоцатлинской ГЭС,
- Гунибской ГЭС,
- Нижне-Бурейской ГЭС,
- Рыбинской ГЭС,
- Угличской ГЭС.

В качестве экономического обоснования эффективности использования электроцилиндров выполнен сравнительный анализ стоимости капитальных затрат (стоимость оборудования, стоимость строительно-монтажных работ, стоимость пуско-наладочных работ) и затрат на поддержание исправного технического состояния в течение сорока лет электроцилиндра и гидроцилиндра.

При этом, капитальные затраты на электроцилиндр составляют 95,68 % от общей суммы затрат, строительно-монтажные работы – 2,59 %, пуско-наладочные работы – 0,39 %, затраты на поддержание исправного ТС – 1,35 %. Капитальные затраты на гидроцилиндр составляют 44,57 %, на строительно-монтажные работы – 5,72 %, на пуско-наладочные работы – 2,98 %, затраты на поддержание исправного ТС – 46,73 %. При большей стоимости первоначальных капитальных затрат электроцилиндров их текущие расходы на эксплуатацию значительно меньше, за счет чего экономически оправдано их применение. Сумма экономического эффекта представляет собой разницу между итоговыми затратами на гидроцилиндр и итоговыми затратами на электроцилиндр, то есть 1 330 666,00 рублей.

Согласно требованиям действующих стандартов ПАО «РусГидро» [5] должна обеспечиваться возможность закрытия затворов вручную; электроснабжение подъемных механизмов основных и аварийно-ремонтных затворов должно предусматриваться от двух распределительных устройств, каждое из которых получает питание от независимых источников, а также от автономного источника, находящегося вне зоны возможного повреждения в случае чрезвычайной ситуации (аварии) на ГЭС или в энергосистеме. Электроцилиндр оснащен ручным дублером, а также характеризуются малым энергопотреблением, что позволяет обеспечить время автономной работы без внешнего питания от аккумуляторной батареи. Аккумулятор размещается в герметичных шкафах на незатопляемых отметках, что позволяет в полной мере выполнить требования СТО.

Таким образом, руководствуясь расчетами и анализом, проведенными в диссертации, можно сделать выводы о том, что электроцилиндры являются достойной альтернативой гидроцилиндрам в определенном диапазоне (ход

штока – до 8 м) и при определенном подъемном усилии (до 270 тс). Электроцилиндры обладают рядом преимуществ:

1. Высокая экологичность;
2. Низкие затраты на поддержание исправного технического состояния;
3. Электроцилиндры не требуют отдельного отапливаемого вентилируемого помещения для расположения дополнительного оборудования в отличии от гидроцилиндров;
4. Возможность дистанционного контроля технического состояния механизма;
5. Более высокая точность позиционирования (до 0,01 мм) по сравнению с гидроцилиндром.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полонский Г.А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений [Текст] : [Учебник для энерг. и энергостроит. техникумов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1974. - 344 с. : ил.; 27 см.
2. «О безопасности гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс] : федер. закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ (последняя редакция) // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
3. Шишов М.С., Шорохов П.Н. Гидравлический подъемник. / Молодежь и Наука. // Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург). №5. 2016.
4. Наупарац Д. Гидроприводы аварийно-ремонтных затворов / Д. Наупарац // Гидротехника. февраль – апрель 2019. – С. 16.
5. СТО 17330282.27.140.013-2008 - Механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования – Введ. 30.07.2008. – Москва : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – 21 с.
6. Экологическая политика Группы РусГидро [Электронный ресурс] // «ПАО «РусГидро». – Режим доступа: [http://www.rushydro.ru/sustainable\\_development/environmental/ekologicheskaya-politika/](http://www.rushydro.ru/sustainable_development/environmental/ekologicheskaya-politika/)
7. Электроцилиндры [Электронный ресурс]// «Rexroth Bosh group» – Режим доступа: <http://www.brberg.ru/elektrocilindry.shtml>
8. Электроцилиндры, электронный каталог продукции [Электронный ресурс]// «ПТ ГРУПП» – Режим доступа: <https://ptgk.ru/>
9. Прогрессивные технологии Гидротехнические сооружения. Электроцилиндры для судоходных шлюзов и ГЭС [Электронный ресурс]// «ПТ ГРУПП» – Режим доступа: <https://ptgk.ru/>
10. Неволин Н.В. Реконструкция шлюза №5 Северо-Двинской шлюзованной системы / Н.В. Неволин // Гидротехника. - 2017. - № 4 (49). - С. 58-61.
11. Шутиков В. И. Применение электроцилиндров для управления направляющим аппаратом гидроагрегатов / В. И. Шутиков // Гидротехника, февраль – апрель 2018. С. 21.
12. В.В.Белов, Е.В.Лопатин, З.А.Шавлович. Инновационный проект – электропривод прямого управления направляющим аппаратом для малых ГЭС: / В.В.Белов, Е.В.Лопатин, З.А.Шавлович. // Автоматизация и ИТ в энергетике, декабрь 2014. С. 42.
13. Кашиева Е.Г. Магомедов Г.Г. Применение электроцилиндров в управлении оборудованием ГЭС. // Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения. Материалы III всероссийской научно-технической конференции. 2018.
14. Носов А.С. Управляемый электромеханический привод для специального монтажно-стыковочного оборудования // Вестник Самарского

университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 2. С. 81-89. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-2-81-89.

15. Мамаев И.М., Филимонов В.Н. Электромеханический привод с планетарным роликовинтовым механизмом для электрохимического станка с вибрирующим электродом. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2018, № 8, с. 19–27, doi: 10.18698/0536-1044-2018-8-19-27

16. Варочко А.Г., Носов А.С., Полянский В.И., Сизанов А.В., Сова А.Н. Научно-методический аппарат обоснования выбора состава и параметров управляемого электромеханического привода с применением планетарной роликовинтовой передачи повышенной точности и надежности функционирования. // Двойные технологии №3 (72) 2015. С. 50-55.

17. 12. Ряховский О.А., Романов О.П., Марохин А.С. Планетарный ролико-винтовой механизм (ПРВМ) преобразования вращательного движения в поступательное, выполненный по «перевернутой» схеме. // «Энергия XXI век», №2 (90), 2015. С. 52-59.

18. Абдрахманов А.А., Сафин Г.Г. Актуаторы – как альтернатива гидро- и пневмоприводу // Современная техника и технологии. 2016. № 12. Ч. 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.s nauka.ru/2016/12/11482> (дата обращения: 07.02.2019)

19. Круглов В.Ю. От экспансии электропривода к «симбиозу» электро и объемного гидропривода. // VIII Всероссийская научно-техническая и научно-техническая конференция с международным участием. Вооружение, технология, безопасность, управление. 2017 г. с. 281-288.

20. Липчанская Ю.Г. Электроцилиндры – альтернатива гидроприводу. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова. 2013.

21. Жук В.А. Электроцилиндры - альтернатива гидравлическим системам в энергетике. (ООО НТЦ «Прогрессивные Технологии») // Сборник Докладов И Каталог Четвертой Всероссийской Конференции «Реконструкция Энергетики-2012». 2012. С. 30-33.

22. О.А. Ряховский, А.Н. Воробьев, А.С. Марохин. Планетарный ролико-винтовой механизм преобразования вращательного движения в поступательное, выполненный по «перевернутой» схеме. // Известия высших учебных заведений. №9. 2013. С. 44-48.

23. Шайтанов А. М. Специализированные электроцилиндры для гидротехнических сооружений. // Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2016.

24. Юрьева Р.А., Мальцева Н.К., Кульпина А.Д., Юшков К.С., Иванова А.С. Особенности конструирования электромеханического привода. // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 10 (52). С. 21-23

25. Дёмина Т. С. Электромеханический привод на основе ролико-винтовой передачи. // Наука молодых: сборник научных статей участников XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием

(29–30 ноября 2018 г.) / отв. ред. С.В. Напалков, науч. ред. А.В. Пряников, В.П. Пучков; Ассоциация ученых г. Арзамаса, Арзамасский филиал ННГУ, АПИ (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Арзамас: Арзамасский филиал ННГУ, 2018. – 706 с.

26. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО. – Введ. 31.03.2008 – Москва : ОАО РАО «ЕЭС России», 2008 – 58 с.

27. Бондина, Н.Н. Управление затратами [Электронный ресурс] / И.А. Бондин, Т.В. Зубкова, Н.Н. Бондина .— Пенза : РИО ПГАУ, 2017 .— 230 с. — Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/579008>

28. Уланова, О.И. Экономическая теория [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О.И. Уланова .— Пенза : РИО ПГСХА, 2015 .— 150 с. — Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/300540>

29. Проектно-сметная документация: Сводный сметный расчет замены гидромеханического оборудования Эзминской гидроэлектростанции, 2015 г., 93 с.

30. Проектно-сметная документация: Сводный сметный расчет стоимости замены гидроприводов затворов холостого водосброса сегментных 4МТ ст. н. 1-5 Майнского гидроузла. Объектная смета №02-01. Локальные сметы. 8МТ2 – СМ-1 – АО «Трест Гидромонтаж», СПКТБ «Ленгидросталь» - 2019 г., 202 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ**

Кафедра «Гидротехнических сооружений и гидравлических машин»

**УТВЕРЖДАЮ**

## Заведующий кафедрой

подпись, дата

кафедрой  
А. А. Андреас  
инициалы, фамилия

« 02 » 07 2020 г.

## **МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЦИЛИНДРОВ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ ЗАТВОРАМИ ГТС

## 08.04.01 Строительство

## 08.04.01.12 Гидротехническое строительство

## Научный руководитель

  
подпись, дата

Доцент кафедры  
ГГЭС Саяно-  
Шушенского филиала  
СФУ

В.И. Татарников  
ициалы, фамилия

## Выпускник

подпись, дата

В.А. Жукова  
инициалы, фамилия

## Рецензент

изент  
подпись, дата

Ведущий инженер  
Филиала ПАО  
«РусГидро» - «Саяно-  
Шушенская ГЭС  
имени П.С.  
Непорожнего»  
должность

В.С. Архипенко  
ициалы, фамилия

## Консультант

Бары  
подпись, дата

Доцент кафедры ГТС  
и ГМ Саяно-  
Шушенского филиала  
СФУ

В.Б. Затеев  
инициалы, фамилия

## Нормоконтролёр

Пом 02.07.20  
подпись дата

А.А. Чабанова  
ициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020