

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Валишин Денис Евгеньевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЛИНЕЙНОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА СКВАЖИННОГО ПЛУНЖЕРНОГО НАСОСА
ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Р.С. Аипов

Уфа 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРИВОДА СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ | 10 |
| 1.1 Основные параметры работы насосов | 12 |
| 1.2 Процесс подъема жидкости | 13 |
| 1.2 Классификация насосов | 15 |
| 1.3 Поршневые и плунжерные насосы | 22 |
| 1.4 Пути и способы повышения эффективности работы плунжерного насоса | 23 |
| 1.5 Привод СПН на базе ЦЛАД | 24 |
| 1.6 Цель работы и задачи исследования | 29 |
| Выводы по главе | 30 |
| ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СПН | 31 |
| 2.1 Кинематическая схема работы привода СПН на базе ЦЛАД | 31 |
| 2.2 Математическая модель привода СПН | 32 |
| 2.3 Математическая модель ЦЛАД | 38 |
| 2.4 Математическая модель привода СПН на базе ЦЛАД в среде объектно- визуального моделирования Matlab | 42 |
| Выводы по главе | 48 |
| ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СПН | 49 |
| 3.1 Общие сведения | 49 |
| 3.1 Программа исследований технологических характеристик и энергетических показателей СПН на базе ЦЛАД | 50 |
| 3.2 Рабочие характеристики СПН на базе ЦЛАД | 51 |
| 3.3 Энергетические показатели привода СПН на базе ЦЛАД | 56 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 3.4 | Определение эффективности работы СПН на базе ЦЛАД | 60 |
| | Выводы по главе | 66 |
| | ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ЦЛАД СПН | 68 |
| 4.1 | Программа экспериментальных исследований | 68 |
| 4.2 | Описание экспериментального СПН на базе ЦЛАД | 69 |
| 4.3 | Методика измерений и снятие экспериментальных зависимостей тока индуктора ЦЛАД и положения плунжера от времени | 76 |
| 4.4 | Математическая обработка результатов экспериментов | 79 |
| 4.5 | Исследование процессов нагрева и охлаждения ЦЛАД | 86 |
| 4.6 | Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований | 90 |
| | Выводы по главе | 93 |
| | ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СПН | 94 |
| 5.1 | Общие сведения | 94 |
| 5.2 | Расчет водоснабжения и поения животных | 95 |
| 5.3 | Расчет экономической эффективности от использования СПН на базе ЦЛАД | 96 |
| | Выводы по главе | 100 |
| | ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ | 101 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 103 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ А | 115 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 117 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ В | 118 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 119 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Д | 120 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Е | 121 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Ж | 123 |

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объема и повышение качества сельскохозяйственной продукции невозможны без потребления воды. Система водоснабжения являются неотъемлемым элементом современного хозяйства. Поэтому обеспечение животных и птицы питьевой водой – одно из основных условий их успешного развития. Животноводческие и птицеводческие комплексы располагаются на значительном удалении от города, что зачастую сводит к минимуму возможность использования централизованного водоснабжения. Для водоснабжения используются поверхностные источники, колодцы, артезианские скважины.

На сегодняшний день в Российской Федерации водоснабжение из подземных источников составляет более 80 %. Наибольшее распространение для водоснабжения получили скважинные центробежные насосы, но центробежные насосы имеют низкий КПД (20...25%) при малой производительности (до 2 м³/ч), сложно решаются вопросы пуска и часто наблюдаются срывы работы при изменении высоты подъема.

Отмеченные недостатки отсутствуют в плунжерных насосах. Применение для водоснабжения в сельском хозяйстве скважинных плунжерных насосов (СПН) усложняется наличием преобразователя вида движения между плунжером и электродвигателем вращения. Это уменьшает КПД, увеличивает металлоёмкость и стоимость установки, ограничиваются возможности для регулирования производительности.

Повысить КПД, снизить металлоемкость и стоимость можно применением в электроприводе СПН цилиндрический линейный асинхронный двигатель (ЦЛАД). ЦЛАД позволяет получить сразу поступательное движение плунжера. При этом, ЦЛАД характеризуется простотой конструкции, технологичностью изготовления, дешевизной. Для дополнительного повышения энергетических характеристик электропривода,

уменьшения пусковых токов ЦЛАД, предлагается применить в концевых звеньях упругие накопители механической энергии с периодическим переключением ЦЛАД с трехфазного питания на двухфазное. Разработка безредукторного электропривода для СПН на базе ЦЛАД с накопителями механической энергии с периодическим переключением двигателя с трехфазного питания на двухфазное является актуальной нерешенной задачей. Тематика работы соответствует подпрограмме "Техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие" государственной программы Российской Федерации "Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы" [69].

Степень разработанности темы исследования. Применением в электроприводах технологических машинах различного назначения линейных асинхронных двигателей занимались и занимаются известные ученые: Болдея И., Веселовский О.Н., Винокурова А.И., Вольдек А.И., Гурницкий В.Н., Епифанов А.П., Коняев А.Ю., Локшин Л.И., Мамедов Ф.А., Насар С.А., Петленко Б.И., Сапсалева А.В., Сарапулов Ф.Н., Свечарник Д.В., Скобелев В.Е., Соколов М.М., Ямамура С. и др. Несмотря на большое количество научных исследований, посвященных обоснованию внедрения линейных двигателей в различные технологические процессы, задача создания энергоэффективного безредукторного электропривода для СПН требует дальнейшего решения.

Диссертационное исследование направлено на:

- снижение энергетических затрат на водоснабжение из скважин;
- уменьшение пусковых токов электропривода СПН на базе ЦЛАД.

Цель работы: снижение энергетических затрат скважинного плунжерного насоса применением электропривода на базе цилиндрического линейного асинхронного двигателя с упругими накопителями механической энергии с периодическим переключением с трехфазного питания на двухфазное.

Задачи исследований:

1) Провести анализ и выявить приоритетные конструктивные исполнения безредукторного электропривода СПН. Разработать электропривод на базе ЦЛАД для СПН с улучшенными энергетическими и пусковыми характеристиками.

2) Разработать математическую модель электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном питании.

3) Исследовать энергетические характеристики электропривода СПН на базе ЦЛАД при периодической работе в трехфазном и двухфазном режимах.

4) Для проверки адекватности полученных результатов при математическом моделировании провести экспериментальные исследования электропривода.

5) Рассчитать экономическую эффективность внедрения линейного асинхронного электропривода СПН.

Объект исследования – линейный асинхронный электропривод скважинного плунжерного насоса на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодическим переключением с трехфазного питания на двухфазное.

Предмет исследования – закономерности влияния режимных и конструктивных факторов линейного асинхронного электропривода на энергетические характеристики СПН.

Научная новизна

- предложена новая конструкция электропривода СПН, отличающаяся высокими технико-экономическими показателями в результате использования ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутации фазы двигателя при трехфазном питании (патент РФ № 2578746);

- разработана математическая модель электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии, позволяющая исследовать его работу при периодической коммутации фазы при трехфазном

питании;

- получены результаты исследования закономерности влияния СПН на энергетические показатели линейного асинхронного электропривода.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- разработана математическая модель электропривода на базе ЦЛАД для СПН, позволяющая исследовать режим его работы с периодической коммутацией трехфазного режима в двухфазный, при котором будут достигаться рациональные энергетические показатели его работы;

- разработана конструкция электропривода на базе ЦЛАД для СПН с системой управления, обеспечивающей периодическую коммутацию фазы двигателя при трехфазном питании, позволяющая уменьшить пусковые токи и улучшить энергетические характеристики привода;

- разработана и создана экспериментальная установка для физического исследования процессов, происходящих в электроприводе на базе ЦЛАД для СПН;

- результаты исследования приняты к внедрению в агрофирме ООО «Укорно», в ООО «ИспЭК» и соответствуют направлению научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ» с малым инновационным предприятием ООО «ЭШАР» по теме: «Повышение эффективности работы СПН применением линейного асинхронного привода», заключенной по договору № 143 от 12 декабря 2013 года, гос. регистрация №01201176549, используется в учебном процессе ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ».

Методология и методы исследований. В теоретических и экспериментальных исследованиях использовались основные методологические принципы: объективность, всесторонность и конкретность рассмотрения исследуемых процессов. Применены методы статического анализа, методы сравнения. Для анализа нелинейных уравнений использовался программный пакет Matlab. Экспериментальные исследования проводились с применением современных и аттестованных средств

измерительной техники в лабораторных условиях на кафедре электрических машин и электрооборудования Башкирского ГАУ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструкция электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном питании, позволяющая уменьшить пусковые токи;

- математическая модель электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с реализацией периодического отключения фазы при трехфазном питании двигателя;

- результаты теоретических исследований, отражающие процесс работы электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии при периодической коммутации фазы двигателя при трехфазном питании, позволившие выявить основные характеристики привода и наметить пути повышения эффективности его работы;

- результаты экспериментальных исследований работы электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии при периодической коммутации фазы двигателя при трехфазном питании.

Степень достоверности и апробация результатов полученных автором научных положений обеспечивается применением в исследованиях современного и сертифицированного оборудования, статистической обработкой полученных данных с использованием лицензионного программного обеспечения, удовлетворительном совпадении теоретических и экспериментальных данных с доверительной вероятностью более 95 %.

Результаты исследований, выводы и практические рекомендации были доложены и одобрены на научно-практических конференциях:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Научное обеспечение развития АПК в современных условиях» (г. Ижевск, 2011 г.);

- Международная научно-практическая конференция «Энергетика предприятий АПК и сельских территорий: состояние, проблемы и пути решения» (г. Санкт-Петербург, 2013 г.);

- XV Российский энергетический форум «Энергетика БРИКС и ШОС» (г. Уфа, 2014);

- Международная специализированная выставка «АгроКомплекс» (г. Уфа, 2015-2018 гг.);

- Российский промышленный форум (г. Уфа, 2016 г.);

- XVII специализированная выставка «Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование. Всё для строительства и ремонта. Чистая вода» (г. Уфа, 2016 г.);

- Международная научно-практическая конференция «Достижения науки – агропромышленному комплексу» (г. Челябинск, 2017-2018 гг.).

Привод СПН на базе ЦЛАД был отмечен следующими наградами: золотая медаль выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2014 г.); диплом II-й степени на Российском энергетическом форуме в конкурсе «На лучшую технологию, оборудование, продукцию и научные разработки» (г. Уфа, 2015 г.); диплом II-й степени на XXVII Международной специализированной выставке «АгроКомплекс-2017» в конкурсе «За разработку и освоение производства оборудования для электро-, газо- и теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей» (г. Уфа, 2017 г.).

По результатам исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 2 в рецензируемых научных изданиях, получен один патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций 4,1 п.л., из которых 2,0 п.л. принадлежит лично соискателю.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по работе, списка использованной литературы, и приложений. Работа изложена на 124 страницах текста, содержит 50 рисунков, 10 таблиц, 7 приложений. Список использованной литературы включает в себя 107 наименований, в том числе 7 на иностранном языке.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРИВОДА СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ

Без питьевой воды нельзя представить нормальную работу сельского хозяйства, а также и существование самой жизни. Постоянно увеличивающееся глобальное техногенное загрязнение надземных вод приводит к увеличению потребления воды из подземных запасов пресных вод, это в первую очередь относится к водоснабжению населения питьевой водой.

На сегодняшний день общее потребление из подземных источников водоснабжения на территории Российской Федерации (рисунки 1.1 и 1.2) составляет более 80 % (14,76 млн. м³ в сутки) от общего объема водопотребления. Свыше 60 % из имеющихся 181 тысячи скважин, предназначено для нужд сельскохозяйственного водоснабжения [92].

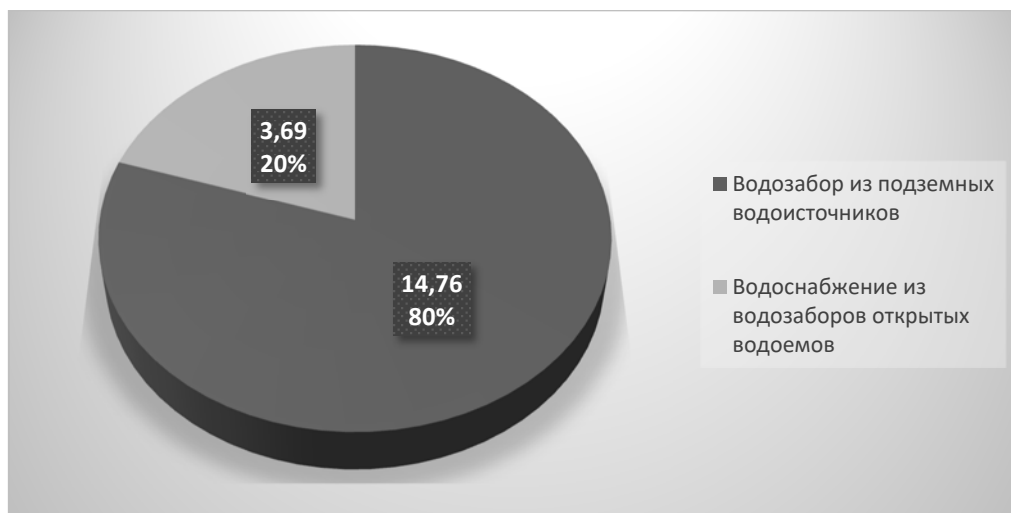


Рисунок 1.1 Структура водоснабжения в РФ, млн. м³/сут

В настоящее время 89,6 тыс. скважин, то есть примерно 50 % от общего количества скважин, эксплуатируются свыше 20 лет, состояние их близко к аварийному. Немедленный ремонт требуется более 25 тыс. скважинам (13,9 %), а 17 тыс. ждут проведения укрепительных работ для предотвращения

загрязнения водоносных слоев [26]. Более половины скважин не имеют зон санитарной охраны, что является причиной интенсивного загрязнения подземных источников питьевой воды. Поэтому при строительстве скважин для водоснабжения требуется переход на более глубокие водоносные горизонты [91].

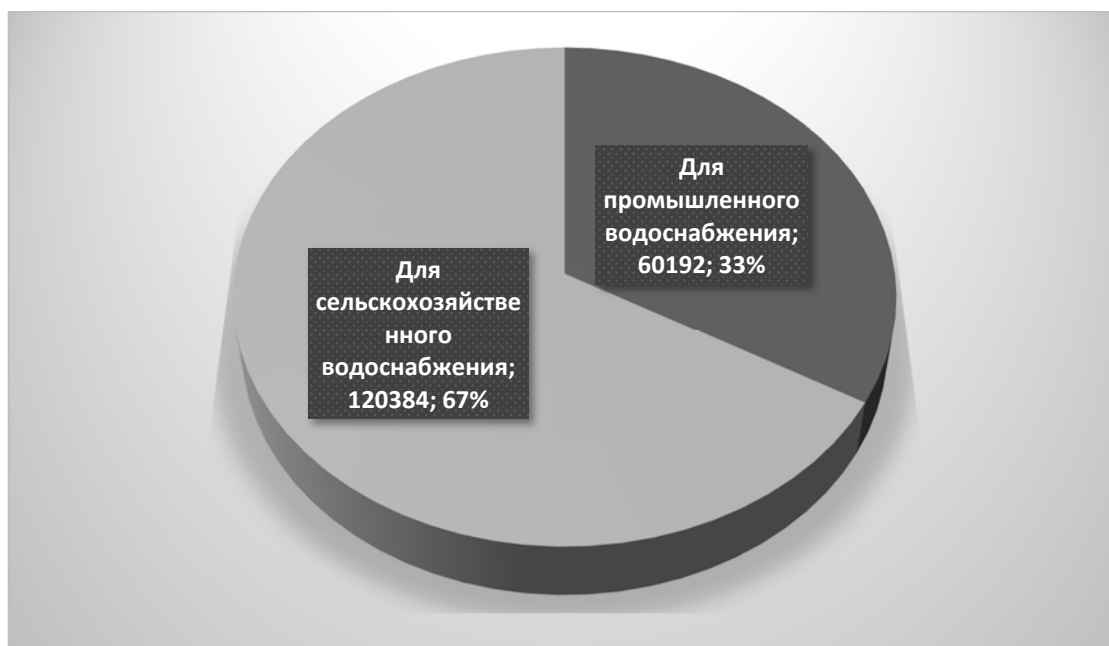


Рисунок 1.2 Назначение существующих скважин в РФ

Сегодня основными проблемами водоснабжения являются следующие: необходимость увеличения объема добычи воды за счет применения более эффективных средств производства, повышение эффективности добычи за счет ресурсо- и энергосбережения, улучшение экологического состояния водных источников водоснабжения. Как никогда остро поставлен вопрос поиска путей экономии воды, электроэнергии, трудовых ресурсов за счет автоматизации и технического совершенствования процесса водоснабжения [92].

1.1 Основные параметры работы насосов

Работа любого насоса характеризуется несколькими параметрами. Основными из них являются:

1) Подача (производительность) – Q , м³/с.

Это количество жидкости, перемещаемое насосом в нагнетательный трубопровод за единицу времени.

2) Напор – H , м.

Это разность удельных энергий при выходе из насоса и на входе в него, выраженная высотой столба перекачиваемой жидкости.

3) Мощность, Вт.

Мощность насоса – это приращение энергии, получаемое всем потоком жидкости в насосе за единицу времени.

Мощность на валу насоса (Ne) - больше Nn в следствии потерь энергии в самом насосе, которые учитываются коэффициентом полезного действия (КПД) насоса η , т.е. $Ne = Nn / \eta$.

Полезная мощность (Nn) – это мощность, передаваемая насосом перекачиваемой жидкости, которая затрачивается на передачу энергии и равна произведению массового расхода на приращение удельной энергии в насосе:

$$Nn = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H.$$

Установленная мощность ($N_{уст}$) - суммарная номинальная электрическая мощность электрических машин одинакового типа.

Мощность, потребляемая электродвигателем ($N_{дв}$) - это потребляемая электродвигателем мощность, с учетом механических потерь в приводе, непосредственно в самом электродвигателе.

Установленную мощность двигателя можно определить по величине потребляемой мощности с учетом перегрузок во время пуска насосной установки: $N_{уст} = \beta \cdot N_{дв}$, $\beta = 1,1 \dots 2,0$ – коэффициент запаса мощности, определяется в зависимости от мощности электродвигателя [8,25,26,32,35,46].

4) Коэффициент полезного действия (КПД) η .

КПД насоса представляет собой отношение полезной мощности к потребляемой. Различают объемный, механический и гидравлический КПД. Объемный КПД, определяет утечки воды через зазоры между элементами насоса. Механический КПД, определяет потери на механическое трение элементов в уплотнениях и подшипниках. Гидравлический КПД определяет потери энергии при прохождении жидкости через насос.

1.2 Процесс подъема жидкости

В мире одной из главных отраслей всегда являлось сельское хозяйство. В тех странах, где значительную роль в экономике играет промышленность или машиностроение, сельскому хозяйству уделяется большое внимание, потому что сельское хозяйство в буквальном смысле кормит население страны. Применительно к России можно выделить, что наша страна исторически считается аграрной державой, тем более что половина населения России проживает в сельской местности. Интенсивное развитие и обустройство сельских территорий привели к тому, что актуальными стали вопросы сельскохозяйственного водоснабжения. Вода больше всего требуется именно в сельском хозяйстве, чем в других отраслях народного хозяйства. Каждый день даже маленькое поселение требует огромных объемов воды, идущая на снабжение хозяйственных нужд, а также на животноводческие и птицеводческие комплексы, на орошение полей и теплиц. Специалисты выделили в отдельную категорию такое понятие как сельскохозяйственное водоснабжение, основой которого являются оросительные системы и часто встречающиеся в сельской местности источники воды – родники, реки, озера, колодцы, артезианские скважины и водохранилища [26].

Разработка и проектирование систем сельскохозяйственного водоснабжения ведется согласно нормативным документам. Особое место занимает этап выбора насосного оборудования, станций водоснабжения и очистки. Сегодня сельскохозяйственное водоснабжение по своему назначению условно разделено на пять основных групп [26]:

- водоснабжение животноводческих и птицеводческих комплексов;
- орошение сельскохозяйственных полей;
- водоснабжение удаленных пастбищ;
- водоснабжение машина-ремонтных мастерских;
- водоснабжение населенных пунктов.

Водоснабжение для бытовых нужд населения, машина-ремонтных мастерских, для полива полей и угодий осуществляется с помощью стандартных насосных установок. В качестве источников воды обычно используют подземные воды. Но, если количество воды в них не удовлетворяет потребностям, то используют источники из источников: реки, озера и водохранилища. Если качество воды в подземных источниках соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», то традиционная схема водоснабжения состоит из несколько шахтных колодцев или артезианских скважин с погружными, реже поверхностными, насосами для подъема воды. Обязательным элементом такой системы является промежуточные резервуары для хранения воды, так называемые водонапорные башни. Насосные установки выбирают из условия, что оно было в состоянии обеспечить нормальную подачу воду в период пиковых нагрузок на сеть водоснабжения [26].

Как правило, в традиционную схему снабжения водой животноводческой фермы входят: точка водозабора с насосным оборудованием; очистные системы; емкость (резервуар) для хранения воды,

например, водонапорная башня; распределительная сеть трубопроводов с запорной арматурой.

Совершенствование насосного оборудования существенно влияет на уровень жизни населения, делая ее более комфортной. Различные насосы выполняют жизненно важные функции – перемещение и доставку воды к месту ее использования, перекачку загрязненных жидкостей и сточных масс, тушение пожаров, обеспечение циркуляции воды (антифриза) в системе отопления.

Естественно, такое разнообразие функций не может быть реализовано одним или даже несколькими видами насосов: сегодня существуют разнообразные типы этого оборудования, которые группируют по множеству различных признаков.

1.2 Классификация насосов

В соответствии с ГОСТ ISO 17769-1-2014 Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Часть 1. Жидкостные насосы: насос – машина (механическое устройство), включающая в себя всасывающий и напорный присоединительные патрубки и выступающие части своих валов, предназначенная для создания потока жидкой среды. Насосы создают разность давлений жидкой среды непосредственно в самих насосах и трубопроводах и преобразуют энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкой среды [27].

В зависимости от расположения источника воды насосы делят на поверхностные и погружные.

Поверхностные насосы (рисунок 1.3) монтируются вне источника, их мощности хватает на подъем воды с глубины 7...8 м. Увеличение высоты всасывания возможно при использовании эжектора (рисунок 1.4):

прохождение через него части жидкости повышает давление на входе в насос, но одновременно снижает КПД насоса и увеличивает уровень вырабатываемого шума.

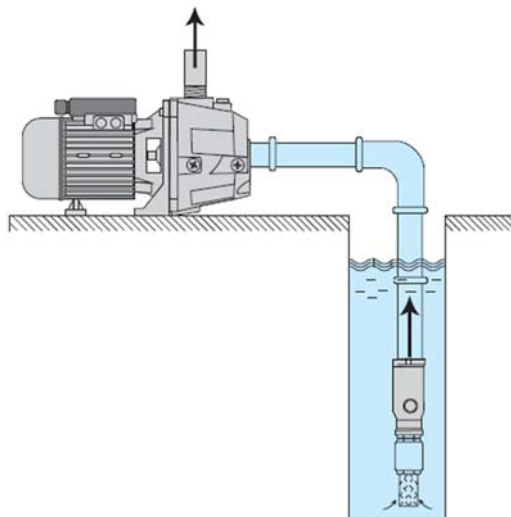


Рисунок 1.3 Поверхностный насос

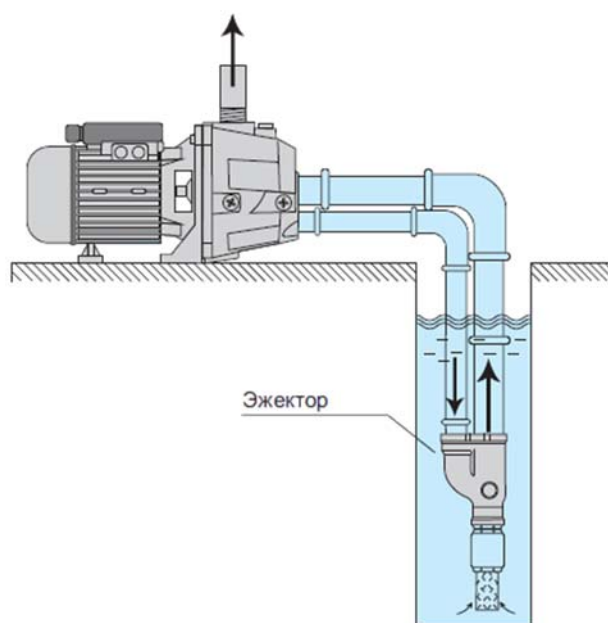


Рисунок 1.4 Поверхностный насос с эжектором

Поверхностные насосы обладают высокой производительностью (от нескольких единиц до сотен м³/ч), доступностью для осмотра, практически бесшумной работой и невысокой стоимостью.

Внутри этой группы различают:

– самовсасывающие (центробежные) – при подключении не требуют предварительного заполнения водой;

– насосы с нормальным всасыванием (вихревые) – используются для повышения давления в водопроводе. Давление жидкости в них возрастает в процессе ее движения от всасывающего отверстия к нагнетательному патрубку благодаря большому количеству радиальных лопаток, участвующих в передаче энергии.

Погружные насосы (рисунок 1.5) находятся в самой воде и могут обеспечивать подъем даже с больших глубин. Они успешно справляются с задачами водоснабжения жилых домов, орошения земельных участков, подачи воды в бассейны, осушения затопленных помещений. Важными нюансами в работе погружных агрегатов являются: предусмотренная защита от работы «всухую» и более сложное (в сравнении с поверхностными агрегатами) техническое обслуживание.

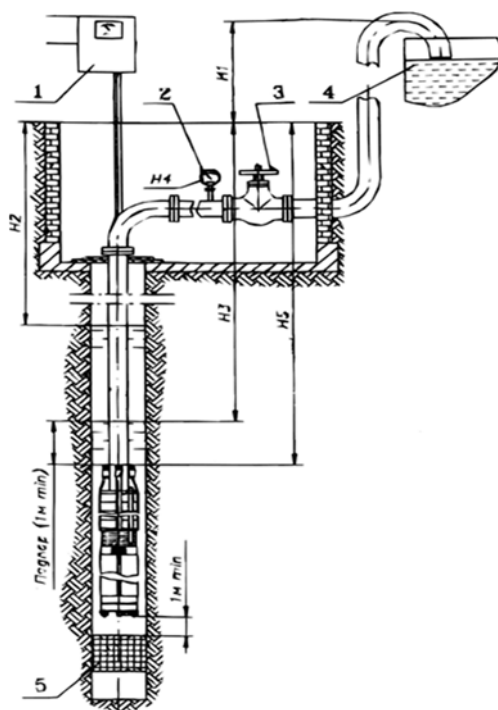


Рисунок 1.5 Погружной насос:

1 - станция управления и защиты (СУЗ); 2 - манометр; 3 - задвижка; 4 - накопительная емкость; 5 – фильтр

Представителями этой группы погружных насосов являются:

- колодезные – используются в колодцах и широких скважинах, в сравнении со скважинными аналогами обладают лучшим охлаждением и меньшей чувствительностью к твердодисперсным частицам;

- скважинные – служат для подъема воды из артезианских скважин и скважин на песок, а также (при горизонтальном расположении) для перекачки воды из природного водоема, находящегося в удалении от потребителя.

По количеству рабочих колес все насосы можно разделить на одно- и многоступенчатые, при этом увеличение напора и производительности на прямую зависит от числа ступеней.

По назначению различают группы насосов:

- погружные и поверхностные;
- циркуляционные насосы;
- фекальные и дренажные;
- насосы повышения давления;
- высоконапорные центробежные насосы.

В зависимости от вида рабочей камеры насоса и в соответствии ГОСТ ISO 17769-1-2014 «Насосы жидкостные и установки. Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Часть 1. Жидкостные насосы» подразделяют на (рисунок 1.6):

1) Динамический насос: насос, в котором жидкая среда перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщающейся со входом и выходом насоса. Самые распространенные из динамических насосов – лопастные центробежные и вибрационные трения [27].

2) Объемный насос (positive-displacement pump): насос, в котором жидкая среда перемещается путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщающейся со входом и выходом насоса. Это возвратно-поступательные (диафрагменные, поршневые, плунжерные) и роторные агрегаты (шиберные, шестерёнчатые и винтовые).

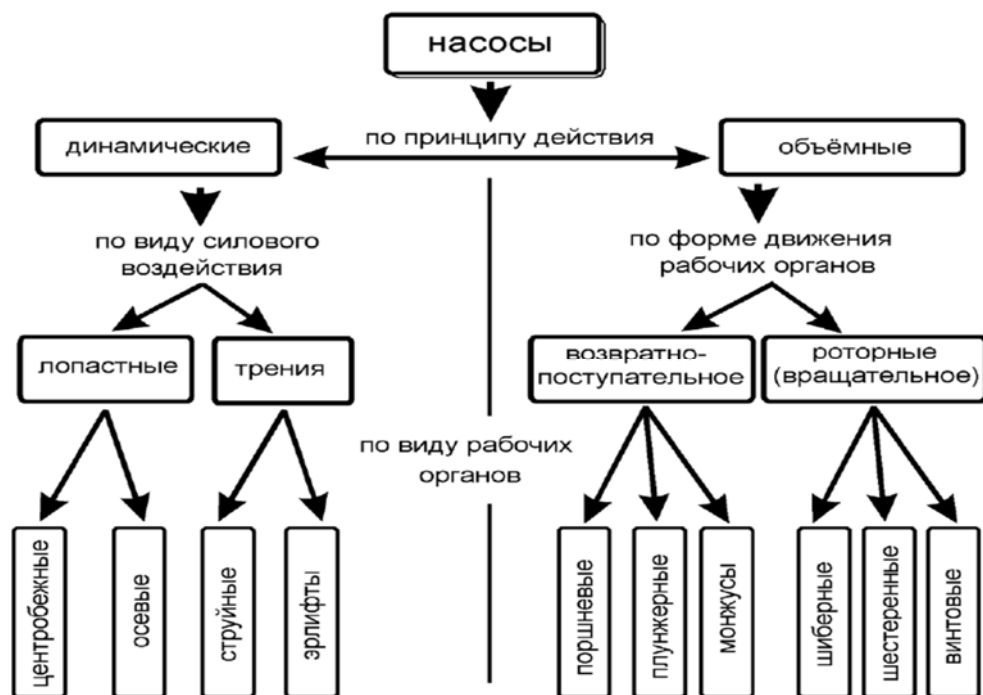


Рисунок 1.6 Классификация насосов

Центробежные насосы получили широкое применение в различных отраслях сельского хозяйства и животноводства обеспечивают водой системы орошения, мелиорации и полива, водоснабжения населения.

При их работе вода, попадающая во внутреннюю рабочую камеру, захватывается лопатками рабочего колеса и начинает перемещаться вместе с ними. Под воздействием центробежной силы вода отбрасывается к стенкам рабочей камеры, где создается избыточное давление и в следствии выталкивается из насоса. Центробежные насосы отличаются надежностью в эксплуатации, простотой, ремонтпригодностью. Но у центробежных насосов существуют ряд недостатков [42]:

- относительно низкие напоры;
- большой риск работы на холостом ходу;
- при увеличении сопротивления сети - резко уменьшается производительность;
- резкое снижение КПД при уменьшении или увеличении производительности;

- потребность заливки перекачиваемой жидкостью перед пуском, частые срывы работы при изменении высоты подъема.

Так же при наличии в перекачиваемой воде твердых частиц параметры насоса ухудшаются, а потребляемая мощность и ток возрастают, что приводит к уменьшению срока службы или даже отказу насоса. Например, агрегат ЭЦВ 4 предназначен для подъема воды с общей минерализацией (сухой остаток) не более 1500 мг/л, с массовой долей твердых механических примесей – не более 0,01 % и размером не более 0,1 мм. [1]

Вибрационные насосы являются насосами инерционного типа. Принцип действия основан на возбуждении колебательных процессов в воде, способствующих ее перемещению.

Принцип работы вибрационных насосов заключается в том, что под действием вибратора гибкая пластина (диафрагма) - деформируется, в следствии чего происходит изменение рабочего объема и, соответственно, увеличивается или уменьшается давление. Благодаря несложной конструкции насосы вибрационного типа простые в обслуживании. Так как нет вращающихся частей и сложных механизмов, ничего не нужно смазывать. Детали практически не нагреваются и меньше изнашиваются.

Поскольку габариты аппаратов варьируются в пределах от семидесяти шести до ста миллиметров, то скважина должна быть не менее указанных размеров. Применение вибрационных насосов для сельскохозяйственного водоснабжения ограничено из-за низких характеристик по производительности и напору.

Поршневые насосы – получили весьма широкое распространение, так как работают на принципе вытеснения жидкости за счет передачи давления. Насосы этого типа активно используются в трубопроводных системах как промышленного, так и бытового назначения. Работа поршневого жидкостного насоса основана на принципе вытеснения. Основными рабочими органами

поршневого насоса являются: цилиндр и поршень. Поршень перемещается в цилиндре совершая возвратно-поступательное движение.

Рекомендации по применению различных видов насосов приведены в таблице 1.1.

Для сельскохозяйственного водоснабжения: небольшие населенные пункты, фермерские хозяйства, животноводческие комплексы и т.д. необходимы насосы производительностью до 100 м³/ч и напором более 100 м. Из анализа таблицы следует, что этим требованиям удовлетворяют поршневые и плунжерные насосы.

Таблица 1.1 Рекомендации по применению различных типов насосов

| Создаваемый напор | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| До 10 м | От 10 до 100 м | От 100 до 500 м | От 500 до 10 000 м | От 10 000 м и более |
| Одноступенчатые центробежные | | | | |
| | Многоступенчатые центробежные | | | |
| Осевые (напор до 20...30 м) | | | | |
| | Поршневые | | | |
| | Винтовые | | | |
| | | Плунжерные | | |
| Вихревые | | | | |
| Производительность | | | | |
| До 10 м ³ /ч | От 10 до 100 м ³ /ч | От 100 до 1 000 м ³ /ч | От 1 000 до 10 000 м ³ /ч | От 10 000 м ³ /ч и более |
| Одноступенчатые центробежные | | | | |
| | Многоступенчатые центробежные | | | |
| | | Осевые | | |
| Поршневые | | | | |
| Винтовые | | | | |
| Плунжерные | | | | |
| | Вихревые | | | |

1.3 Поршневые и плунжерные насосы

1.3.1 Принцип действия поршневого насоса

Поршневые насосы относятся к числу объемных насосов, у которого рабочие органы выполнены в виде поршней, а движение жидкости осуществляется путем ее вытеснения поршнем из неподвижных рабочих камер. Рабочей камерой объемного насоса называют ограниченное пространство, попеременно сообщаемое со входом и выходом насоса [42].

На рисунке 1.7 изображена схема поршневого насоса простого действия. Поршень 2 связан с кривошипно-шатунным механизмом (на рисунке не показана) через шток 3, в результате чего он совершает возвратно-поступательное движение в цилиндре 1. Поршень при ходе вверх создает разрежение в рабочей камере, вследствие чего всасывающий клапан 5 открывается, и вода по всасывающему трубопроводу поступает в рабочую камеру 4. При движении в обратном направлении поршня всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный клапан 6 открывается, и жидкость нагнетается в сеть.

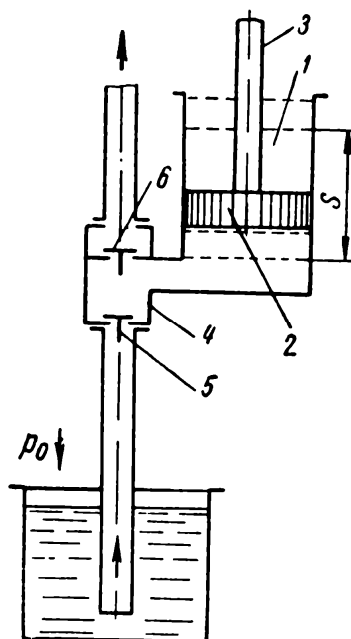


Рисунок 1.7 Схема поршневого насоса простого действия

Пространство клапанами и поршнем, называется рабочей камерой поршневого насоса.

Внутренняя поверхность цилиндра должна быть хорошо обработана, а герметизация достигается применением поршневых колец. Этих недостатков лишены плунжерные насосы (рисунок 1.8). Плунжер не касается стенок цилиндра. Уплотнение между цилиндром и плунжером достигается с помощью сальника, доступ к которому выполнен снаружи. Срабатывается только сальник, который легко заменяется.; поэтому плунжерные насосы проще в эксплуатации и ремонте.

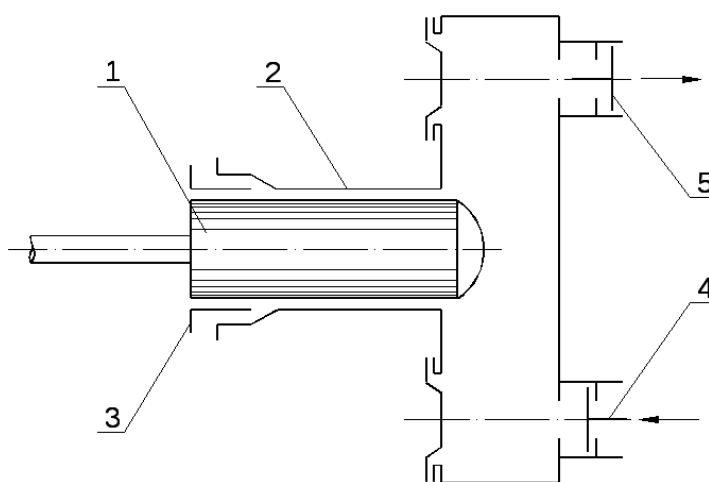


Рисунок 1.8 Схема плунжерного насоса простого действия:

- 1 – плунжер насоса; 2 – рабочая камера; 3 – уплотнитель;
4 – всасывающий клапан; 5 – нагнетательный клапан

При этом плунжерные насосы могут быть использованы для перекачивания жидкостей с концентрацией твердых нерастворимых частиц – до 0,2 %, а максимальный размер частиц – 0,2 мм.

1.4 Пути и способы повышения эффективности работы плунжерного насоса

Достоинствами плунжерных насосов, позволившее получить широкое распространение, являются:

- возможность перекачивать самые разные жидкости – горячие и холодные, вязкие и текучие, чистые и имеющие примеси во взвешенном состоянии, в том числе и абразивные;

- производительность не зависит от развиваемого напора;
- высокий напор даже при незначительной производительности;
- высокая всасывающая способность;
- высокий КПД.

Но наряду с достоинствами существующие плунжерные насосы имеют и недостатки. К ним относятся:

- большая металлоемкость и дороговизна;
- потребность в промежуточной передаче между плунжером и электродвигателем вращения;
- неравномерность подачи.

Эти недостатки ограничивают возможность применения существующих плунжерных насосов для сельскохозяйственного водоснабжения. Снижение металлоемкости и стоимости можно добиться применением в электроприводе плунжерного насоса цилиндрический линейный асинхронный двигатель (ЦЛАД) с упругими накопителями механической энергии [2,3,4,7,11,19,20,21,22,23]. Цилиндрический линейный асинхронный двигатель дает возможность получить сразу поступательное движение, без применения промежуточного преобразовательного механизма между плунжерным насосом и двигателем вращения. ЦЛАД обладает конструктивной простотой, технологичностью изготовления, дешевизной [3,4,24,41,59,60,61].

1.5 Привод СПН на базе ЦЛАД

Производительность плунжерного насоса зависит от длины хода плунжера и скорости вращения вала электродвигателя. Так же в насосной

установке между плунжером и двигателем имеется преобразователь вида движения - кривошип, а также клиноременная передача или понижающий редуктор [22].

На рисунке 1.9 показан СПН на базе ЦЛАД в приводе (патент РФ на изобретение № 2370671) [72], который не имеет перечисленных выше недостатков.

Привод СПН на базе ЦЛАД работает следующим образом. При подключении трёхфазного питания на индуктор ЦЛАД 1, создается бегущее магнитное поле, направленное вперед (вверх из скважины) и возникает электромагнитная сила, приложенная к вторичному элементу ЦЛАД, одновременно являющемуся плунжером насоса 2. Под действием этой силы плунжер начинает движение вверх из скважины.

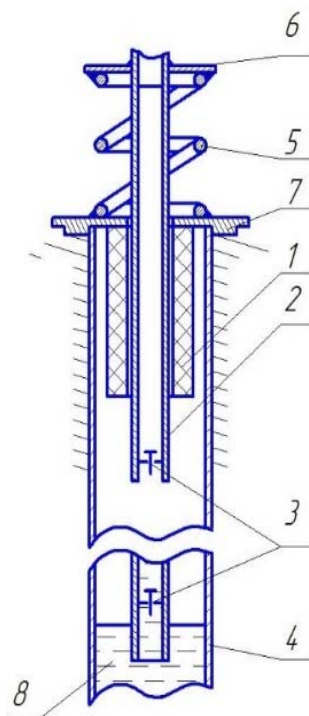


Рисунок 1.9 Плунжерный насос на базе ЦЛАД:

- 1 – индуктор ЦЛАД; 2 – плунжер насоса (вторичный элемент ЦЛАД);
- 3 – клапаны плунжера; 4 – корпус насоса; 5 – упругий элемент; 6 – фланец;
- 7 – заглушка; 8 – вода

По мере движения плунжера упругий элемент 5 будет разжиматься, что приводит к увеличению силы упругости. В определенный момент электромагнитная сила будет равна силе упругости, скорость плунжера будет близка к нулю, и система управления насосом (на рисунке 1.9 не показана), обесточивает индуктор ЦЛАД. За счет предварительно растянутого упругого элемента, плунжер насоса (вторичный элемент ЦЛАД) начинает движение в обратном направлении (вниз, в скважину) с увеличивающейся скоростью. Этому будет помогать электромагнитная сила при включении питания индуктора ЦЛАД с другим порядком чередования фаз. После прекращения растяжения, упругий элемент начнёт сжиматься под действием инерции движущихся масс и электромагнитной силы. В определенный момент плунжер остановится из-за сжатия упругого элемента. Система управления переключит фазы, появится сила ЦЛАД в направлении из скважины. Под действием силы упругости сжатого упругого элемента и силы ЦЛАД начнется движение плунжера в противоположную сторону - вверх. В данной конструкции плунжер ЦЛАД совмещен с трубопроводом для прохода воды. При движении трубопровода вниз обратный клапан 3 открывается, а при движении трубопровода вверх клапан закрывается. Между нижним клапаном и водой возникает разреженное пространство, в которое из скважины поступает вода. Далее описанный процесс повторяется. Количество установленных клапанов в трубопроводе определяется высотой подъема жидкости. Чем больше высота подъема, тем больше должно быть количество установленных клапанов.

Недостатком технического решения являются частые коммутации обмоток фаз индуктора ЦЛАД, вызванные ограниченной амплитудой возвратно-поступательного движения плунжера, жестко соединенным упругим накопителем механической энергии и корпусом насоса.

Поставленной технической задачей является создание более конструктивно упрощенного, энергоэффективного линейного асинхронного электропривода для плунжерного насоса, которая решается следующим

образом. На рисунке 1.10 приведена кинематическая схема линейного асинхронного электропривода СПН на базе ЦЛАД (патент РФ на изобретение № 2578746, Приложение А) [73].

Электропривод работает следующим образом. При подаче трёхфазного питания на индуктор 1 ЦЛАД, возникает электромагнитная сила, приложенная к вторичному элементу ЦЛАД, одновременно являющемуся плунжером насоса 2. Под действием этой силы плунжер начинает движение вниз, клапан 3 закрывается, происходит увеличение давления в камере 5, и как следствие открывается клапан 4, вытесненная вода из камеры 5 через патрубок 10 поступает в трубопровод.

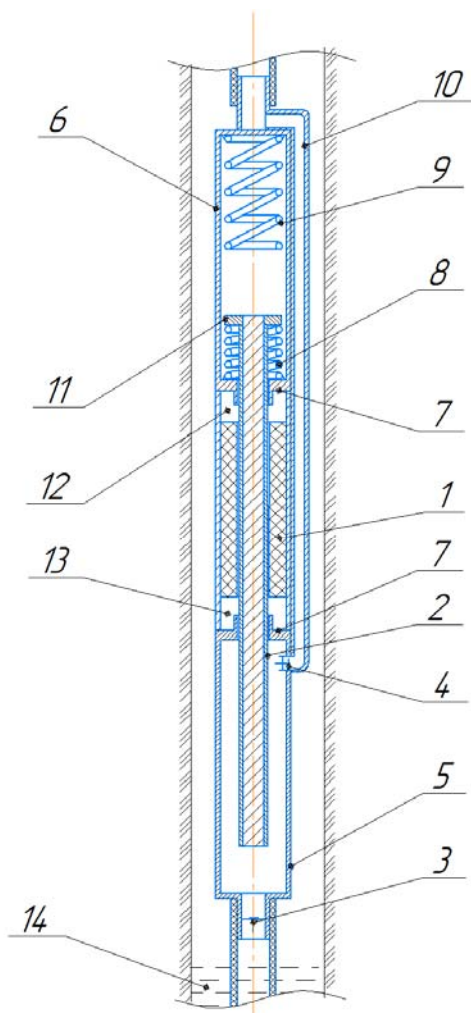


Рисунок 1.10 Схема линейного асинхронного электропривода СПН на базе ЦЛАД: 1 – индуктор ЦЛАД; 2 – плунжер; 3, 4 – клапаны; 5, 6 – рабочие

камеры; 7 – крышки; 8, 9 - упругие элементы; 10 – патрубок; 11 – фланцы; 12, 13 – полости между индуктором ЦЛАД и рабочей камерой; 14 – вода

По мере перемещения плунжера упругий элемент 8 сжимается, что приводит к увеличению его силы сопротивления. В определенный момент электромагнитная сила ЦЛАД полностью уравнивается силой сопротивления упругого элемента 8, плунжер остановится. В этот момент система управления (на рисунке не показан) по сигналу датчика обесточивает одну из фаз индуктора ЦЛАД (питание ЦЛАД осуществляется по схеме «звезда с нулевым проводом»). Под действием силы упругости предварительно сжатого упругого элемента 8 плунжер начинает движение вверх с увеличивающейся скоростью. Этому движению будет способствовать и электромагнитная сила ЦЛАД при двухфазном питании индуктора. При движении плунжера вверх клапан 4 закроется, а клапан 3 – из-за появления разрежения в камере 5 откроется, в камеру 5 начнет поступать вода из скважины. Под действием инерции движущихся масс и электромагнитной силы ЦЛАД в какой-то момент начнет сжиматься упругий элемент 9, возрастающая сила упругости будет препятствовать движению плунжера. Когда плунжер 2 остановится, система управления включит обесточенную фазу, индуктор переходит на трехфазное питание, появится электромагнитная сила, направленная вниз. Под действием силы сжатого упругого элемента 9 и электромагнитной силы ЦЛАД начнется движение плунжера вниз, далее процесс повторяется. Ход плунжера между упругими элементами 8 и 9 определяет частоту включения фазы ЦЛАД: чем больше ход, тем меньше частота включения и наоборот [73].

В предлагаемом техническом решении предлагается конструкция электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном

питании, позволяющая уменьшить пусковые токи и наметить пути повышения эффективности его работы [5].

Условиями выполнения предложений является: изменение направления движения плунжера; перемещение плунжера после изменения направления движения на половину полюсного деления ЦЛАД; энергия, запасенная упругими накопителями, должна быть больше для преодоления сил, препятствующих обратному движению плунжера.

Разработка электропривода для СПН на базе ЦЛАД с накопителями механической энергии и с периодическим переключением двигателя с трехфазного питания на двухфазное является актуальной задачей.

1.6 Цель работы и задачи исследования

Предложенный привод плунжерного насоса на базе ЦЛАД, работающий с коммутацией только одной фазы до настоящего времени не был исследован.

С учетом вышесказанного, целью работы является: снижение энергетических затрат скважинного плунжерного насоса применением электропривода на базе цилиндрического линейного асинхронного двигателя с упругими накопителями механической энергии с периодическим переключением с трехфазного питания на двухфазное.

Задачи исследований:

1) Провести анализ и выявить приоритетные конструктивные исполнения безредукторного электропривода СПН. Разработать электропривод на базе ЦЛАД для СПН с улучшенными энергетическими и пусковыми характеристиками.

2) Разработать математическую модель электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном питании.

3) Исследовать энергетические характеристики электропривода СПН на

базе ЦЛАД при периодической работе в трехфазном и двухфазном режимах.

4) Для проверки адекватности полученных результатов при математическом моделировании провести экспериментальные исследования электропривода.

5) Рассчитать экономическую эффективность внедрения линейного асинхронного электропривода СПН.

Выводы по главе

1. Произведен анализ возможных конструктивных исполнений приводов СПН на базе ЦЛАД, выявлены их достоинства и недостатки. Сделан вывод о целесообразности применения ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии и с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном питании.

2. Постоянная работа ЦЛАД в режиме реверса необходимая для реализации колебательного движения негативно сказывается на энергетике двигателя. Для совершенствования асинхронного линейного электропривода предлагается применение электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с периодической коммутацией фазы двигателя при трехфазном питании.

3. Предложена конструкция линейного асинхронного электропривода на базе ЦЛАД для СПН позволяющая увеличить КПД, уменьшить пусковые токи (патент РФ на изобретение № 2578746).

4. Сформулированы цель и задачи работы.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СПН

2.1 Кинематическая схема работы привода СПН на базе ЦЛАД

Расчетная схема электропривода с указанием сил, действующих на плунжер, приведена на рисунке 2.1.

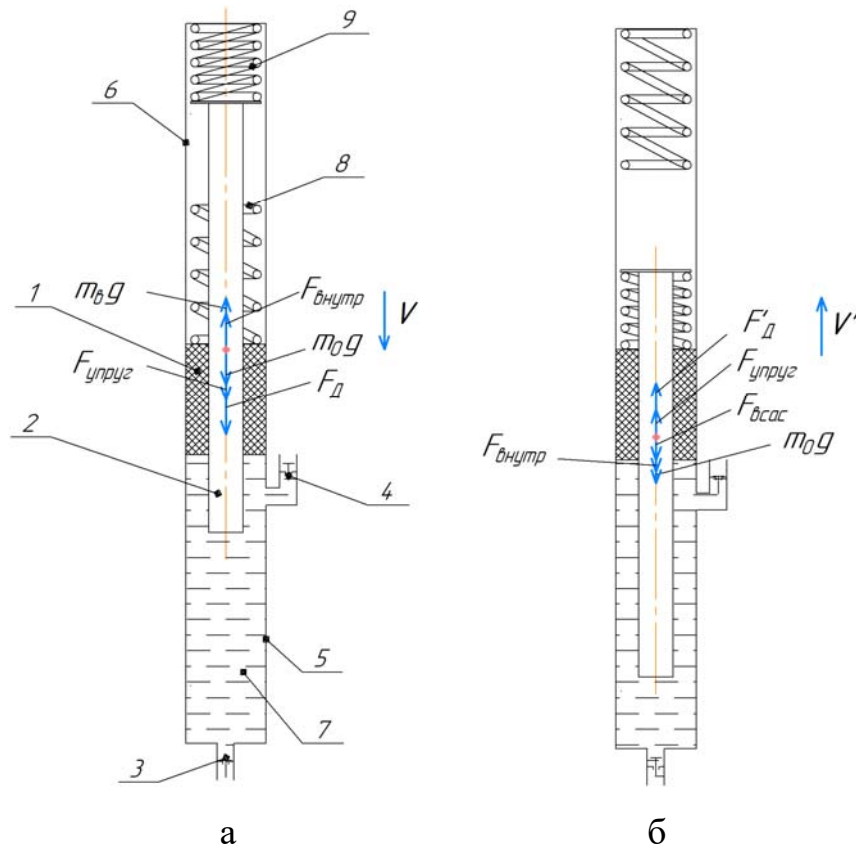


Рисунок 2.1 Расчетная схема линейного асинхронного электропривода СПН:

а - силы, действующие при движении плунжера в камеру при трехфазном питании; б - силы, действующие при движении плунжера из камеры при двухфазном питании; 1- индуктор ЦЛАД; 2 - плунжер; 3, 4 - клапаны; 5, 6 – рабочие камеры насоса; 7 – вода; 8, 9 - упругие накопители механической энергии

2.2 Математическая модель привода СПН

Для оценки эффективности работы СПН необходимо разработать математическую модель, описывающую электромеханические процессы, получить значения сил, действующих на плунжер, определить положение и скорость плунжера, оценить энергетические показатели. Полученная математическая модель позволит исследовать взаимосвязи в электроприводе плунжера, что даст возможность производить рациональное проектирование СПН для достижения максимальной эффективности работы при минимальных ресурсо- и энергозатратах.

Работа ЦЛАД, в отличие центробежных насосов с электродвигателем вращения, представляет собой периодическую работу с наличием участков торможения и разгона вторичного элемента (плунжера), которые непосредственно влияют на общие показатели линейного асинхронного электропривода [3].

Основными элементами плунжерного насоса являются клапанная коробка и цилиндр, в котором возвратно-поступательно движется плунжер. Насос приводится в действие от ЦЛАД. Скважинная жидкость по всасывающему трубопроводу через клапан попадает в рабочую камеру, а затем нагнетается плунжером из камеры по нагнетательному трубопроводу.

Основные геометрические параметры плунжерных насосов:

D – диаметр плунжера, м;

l – ход плунжера, м;

V – скорость движения плунжера, м/с.

Рабочий объем плунжерного насоса:

$$q = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l \cdot V, \text{ м}^3.$$

Теоретически подачу поршневого насоса Q_T , м³/ч, можно вычислить по уравнению непрерывности потока:

$$Q_T = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot V_{\text{ср}},$$

где V_{cp} – средняя скорость потока, нормальная для данного сечения плунжера.

Действительная подача меньше теоретической на величину утечек, учитываемых объемным КПД η_0 :

$$Q = Q_T \cdot \eta_0. \quad (2.1)$$

Особенностью работы плунжерного насоса простого действия заключается в том, что вода подается за два хода плунжера, при движении вниз происходит нагнетание воды в трубопровод, так же осуществляется сжатие упругого элемента. При обратном ходе плунжера (движении вверх) происходит только наполнение рабочей камеры и подъем собственных подвижных частей, для этого требуется меньше усилия, такое усилие можно получить при двухфазном режиме работы ЦЛАД.

На работу СПН с линейным асинхронным электроприводом на базе ЦЛАД влияют следующие факторы:

- масса плунжера (вторичного элемента);
- масса поднимаемого объема жидкости;
- пусковая сила ЦЛАД;
- гидравлические потери в трубопроводе;
- трение подвижных частей насоса и ЦЛАД.

Главным образом воздействие на работу насоса оказывают динамические составляющие, для разгона воды, находящегося в трубопроводе до номинальной скорости. В плунжерном насосе скорость воды в трубопроводе изменяется от нуля до номинальной скорости при каждом ходе плунжера, в отличие от центробежных насосов, в которых разгон воды происходит только один раз - в начальный момент запуска насоса.

В приводе предлагается применение упругих накопителей механической энергии, позволяющие компенсировать механическую энергию, затрачиваемую на разгон и торможение плунжера и столба воды в трубопроводе [6].

Скорость движения воды в трубопроводе несколько ниже скорости движения плунжера и определяется соотношением сечения плунжера к сечению нагнетательного трубопровода. Для облегчения расчетов в уравнениях динамики процесс движения воды в трубопроводе, примем сечение трубопровода равную сечению плунжера, значит скорость движения воды будет равняться скорости движению плунжера.

Для математического описания работы привода СПН на базе ЦЛАД принят режим одинарного действия. Поэтому воздействие нагрузки плунжерного насоса будет определяться через массу воды m_v , которую поднимает насос при движении плунжера вниз (в камеру):

$$m_v = H \cdot F \cdot \rho, \quad (2.2)$$

где H - высота, на которой происходит подъем воды, м;

F - площадь поперечного сечения плунжера, m^2 ;

ρ - плотность поднимаемой жидкости, kg/m^3 .

Для математического описания работы СПН составлены дифференциальные уравнения механического движения. Основопологающей величиной является механическая характеристика линейного электродвигателя.

Для каждого этапа хода плунжера начало координат берется от конечных положений вторичного элемента ЦЛАД. Отсчет времени для каждого вида движения (вниз или вверх) выбирается индивидуально.

Переключение трехфазного питания на двухфазное ЦЛАД осуществляется блоком коммутации по сигналам от конечных выключателей (координаты установки конечных выключателей - X_{k1} и X_{k2}). На основе расчетной схемы составлена система дифференциальных уравнений, описывающая движение плунжера:

$$\begin{cases} F_{Д} dv(v) - m_v g - F_{внутр}(v) + m_0 \cdot g + F_{упруг} = (m_0 + m_v) \cdot \frac{dv}{dt}; \\ F_{Д}' dv(v') - F_{внутр}(v') - F_{всас}(v) - m_0 \cdot g + F_{упруг} = m_0 \cdot \frac{dv'}{dt}, \end{cases} \quad (2.3)$$

где $F_{д} dv(v)$ – силы ЦЛАД при трехфазном режиме питания [5], Н;

$F_{д} dv(v')$ – сила ЦЛАД в двухфазном режиме питания, Н;

$F_{всас}(v)$ – сила сопротивления при всасывании воды в камеру насоса, Н;

$F_{труб}(v)$ – сила сопротивления в нагнетаемом трубопроводе, Н;

$F_{внутр}(v)$ – сила внутреннего сопротивления ЦЛАД и насоса, Н;

$F_{упруг}$ – сила упругости накопителя механической энергии, Н;

v – скорость движения плунжера при трехфазном режиме питания, м/с;

v' – скорость движения плунжера при двухфазном режиме питания, м/с;

m_0 – масса подвижных частей без массы вытесняемой воды, кг;

$m_в$ – масса воды поднимаемая насосом, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Сила внутреннего сопротивления вторичного элемента (плунжера) ЦЛАД определяется двумя сопротивлениями уплотнения штока:

$$F_{внутр}(v) = 2 \cdot F_{тр.шт.},$$

где $F_{тр.шт.}$ - сила трения, зависит от вида уплотнения:

$$F_{тр.шт} = \mu \cdot \pi \cdot D_p \cdot b,$$

где $\mu = 0,10 \dots 0,13$ - коэффициент трения уплотнений о рабочую поверхность плунжера, Н/м²;

D_p - диаметр плунжера, м;

b - ширина уплотнения, м.

В качестве упругих элементов используются цилиндрические винтовые пружины. Винтовые пружины позволяют добиться стабильность настройки, при этом они имеют относительно небольшие массогабаритные показатели, просты в сборке и выносливы при эксплуатации. Характеристику винтовой пружины с достаточной точностью принято считать линейной. В математической модели сила упругих элементов описывается линейным законом Гука:

$$F_{упруг} = - k \cdot X,$$

где $F_{\text{упруг}}$ - сила упругости; k, X - соответственно жесткость Н/м и деформация упругого элемента, м.

Решение дифференциальных уравнений (2.3) связано с необходимостью определения скорости при прямом и обратном ходе плунжера в зависимости от времени: $v(t)$ и $v'(t)$.

Перемещение плунжера в зависимости от времени при прямом и обратном ходе можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} x_1(t) = \int_0^t v(t)dt + X_{k1}; \\ x_2(t) = \int_0^t v'(t)dt + X_{k2}, \end{cases} \quad (2.4)$$

где X_{k1} и X_{k2} - координаты начального положения при прямом и обратном ходе плунжера.

При достижении координатами $x_1(t)$ и $x_2(t)$ значений положения конечных выключателей система управления СПН дает команду на отключение или включения одной фазы ЦЛД (при движении плунжера в прямом или обратном направлении).

Момент отключения и включения одной из фаз для этих уравнений находятся по следующим уравнениям:

$$\begin{cases} x_1(t_{\text{откл}}) = l - x_{\text{откл}}; \\ x_2(t'_{\text{вкл}}) = l - x'_{\text{вкл}}. \end{cases} \quad (2.5)$$

Время полной остановки электродвигателя определяется из следующих уравнений:

$$\begin{cases} v_{\text{откл}}(t_{\text{ост}} - t_{\text{откл}}) = 0; \\ v'_{\text{вкл}}(t'_{\text{ост}} - t'_{\text{вкл}}) = 0. \end{cases} \quad (2.6)$$

Значения $t_{\text{ост}}$ и $t'_{\text{ост}}$ определяются от начала движения плунжера, однако для определения $v_{\text{откл}}$ и $v'_{\text{откл}}$ начало отсчета времени определено с момента переключения с трехфазного на двухфазный режим питания.

Скорость и текущие координаты положения плунжера после переключения фазы (выбега) - ($t_{\text{откл}} < t_{\text{ост}}$ и $t'_{\text{вкл}} < t'_{\text{ост}}$) определяются уравнениями:

$$\begin{cases} v(t) = v_{\text{откл}} (t - t_{\text{откл}}); \\ v'(t) = v'_{\text{вкл}} (t - t'_{\text{вкл}}). \end{cases} \quad (2.7)$$

$$\begin{cases} x_1(t) = \int_{t_{\text{откл}}}^{t_{\text{ост}}} v(t) dt + X_{\text{откл}}; \\ x_2(t) = \int_{t'_{\text{вкл}}}^{t'_{\text{ост}}} v'(t) dt + X'_{\text{вкл}}. \end{cases} \quad (2.8)$$

Зная координаты остановки плунжера определяются начальные координаты положения плунжера для следующего цикла хода:

$$\begin{cases} x_{\text{н2}} = \int_{t_{\text{откл}}}^{t_{\text{ост}}} v(t) dt + X_{\text{откл}}; \\ x_{\text{н1}} = \int_{t'_{\text{откл}}}^{t'_{\text{ост}}} v'(t) dt + X'_{\text{откл}}. \end{cases} \quad (2.9)$$

Для определения энергетических показателей работы ЦЛАД и СПН необходимо определить количество потребляемой энергии за один цикл:

$$W_1 = \int_0^{t_{\text{ост}}} P_1(t) dt + \int_0^{t'_{\text{ост}}} P_2(t) dt \quad (2.10)$$

где $P_1(t)$ - мгновенная электрическая мощность при трехфазном питании, Вт.;

$P_2(t)$ - мгновенная электрическая мощность при двухфазном питании, Вт.

$$P_1(t) = I_A(t) \cdot U_A(t) + I_B(t) \cdot U_B(t) + I_C(t) \cdot U_C(t); \quad (2.11)$$

$$P_2(t) = I_B(t) \cdot U_B(t) + I_C(t) \cdot U_C(t), \quad (2.12)$$

где $I_A(t), I_B(t), I_C(t)$ - мгновенный ток через участок цепи;

$U_A(t), U_B(t), U_C(t)$ - мгновенное напряжение на этом участке.

Для оценки полного КПД СПН требуется определить потери в насосе, при всасывании и нагнетательном трубопроводе. Полезная энергия определяется, как работа, выполненная по перемещению столба поднимаемой жидкости.

$$W_{2\text{пол}} = m \cdot g \cdot l, \text{ Дж.} \quad (2.13)$$

Полный КПД установки получим:

$$\eta_{\text{пол}} = \frac{W_{2\text{пол}}}{W_1}. \quad (2.14)$$

Для определения производительности СПН рассчитаем максимальный суточный объем воды из скважины.

Определим объем выкачиваемой жидкости за один цикл работы насоса:

$$V_{\text{цикла}} = F \cdot l, \text{ м}^3 \quad (2.15)$$

Количество циклов в минуту определим по следующей формуле:

$$N_{\text{циклов}} = \frac{60}{t_{\text{ост}} + t'_{\text{ост}}}. \quad (2.16)$$

Суточная производительность насоса составит:

$$Q_{\text{сут}} = V_{\text{цикла}} N_{\text{циклов}} 60 \cdot 24, \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (2.17)$$

Для определения энергоэффективности оценим количество потраченной электроэнергии на 1 м³ поднятой воды из скважины:

$$\mathcal{E}_{\text{ативн}} = \frac{W_1}{V_{\text{цикла}} \cdot 1000 \cdot 3600}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3. \quad (2.18)$$

2.3 Математическая модель ЦЛАД

Особенностью ЦЛАД от асинхронных двигателей вращения является проявление краевых эффектов из-за разомкнутости магнитопровода. Это приводит к потребности принятия общепринятых допущений, которые позволяют вместо реальной электрической машины рассматривать некоторую идеализированную [51,52,54,56,57]:

- магнитное поле обмотки считается распределенным синусоидально по длине рабочего зазора двигателя;
- магнитная система машины не насыщена;
- обмотки ЦЛАД и напряжение питания симметричны;
- отсутствие гистерезиса, потерь в стали;
- рабочий зазор равномерен;
- индуктивные сопротивления рассеяния не зависят от координат вторичного элемента;
- температура элементов ЦЛАД постоянна;
- вторичный элемент полностью занимает активную зону.

На высокоскоростных ЦЛАД большое влияние оказывает продольный краевой эффект [3,4]. В предлагаемом техническом решении ЦЛАД привода СПН является низкоскоростным (скорость бегущего поля меньше 4 м/с). В связи с этим в нашем случае влияние продольного краевого эффекта можно не

учитывать [3,4]. К тому же, значение воздушного зазора в ЦЛАД значительно больше, чем в обычном асинхронном двигателе вращения. В связи с этим магнитная индукция в ЦЛАД уменьшается, активное сопротивление цепи намагничивания становится небольшим, которым можно пренебречь [4, 5].

Математическое описание процессов работы ЦЛАД возможно по схемам замещения [3, 4, 84] или на основе результатов решения задачи о структуре электромагнитного поля в различных частях двигателя [23, 24, 40, 41, 85]. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Расчет структуры электромагнитного поля дает большую информативность о характере и свойствах ЦЛАД, чем расчет по схемам замещения. Недостатком расчета структуры электромагнитного поля является большая трудоемкость расчетов. Еще одним недостатком, затрудняющим применение расчета структуры электромагнитного поля для исследования ЦЛАД, является то, что при решении нужно знать токовую нагрузку в первичной части обмотки, которая на этапе проектирования еще не известна, а допущения о том, что она постоянна справедливы лишь в частных случаях [3, 4, 57].

Математическое моделирование электромагнитных процессов с учетом общепринятых допущений при многополюсном исполнении (число пар полюсов $p > 4$) ЦЛАД предлагается проводить по схемам замещения на базе уравнений Парка-Горева., и имеющими некоторые особенности:

- число исследуемых параметров схемы замещения меньше, чем при расчете структуры электромагнитного поля, что упрощает расчеты и дает более быстрые результаты в исследованиях взаимосвязи электромагнитных и электромеханических процессов в ЦЛАД;

- при исследовании общий алгоритм не должен привязываться к конкретному электродвигателю, однако при этом необходимо учитывать, что полное решение возможно лишь при условии допущений, зависящих от конструктивных особенностей конкретного оборудования;

- значительное уменьшение объема вычислений и, как следствие, возможность моделировать более значительное количество вариантов.

Исследование ЦЛАД по уравнениям Парка-Горева проводилось и другими исследователями [3, 4, 57].

Для математического моделирования опишем процессы проходящих в ЦЛАД, для этого составим уравнения равновесия напряжения обмоток и уравнения равновесия действующих сил на вторичном элементе линейного электрического двигателя.

Форма записи этих уравнений может иметь различную форму, но она должна быть максимально простой и при этом обеспечивать высокую точность проводимых исследований режимов работы электрической машины. Во многом это определяется выбором системы координатных осей.

При рассмотрении электромагнитных процессов работы линейных асинхронных двигателей применяется три системы координат:

1) d, q, θ – системы координат неподвижна относительно плунжера (вторичного элемента);

2) x, y, θ – система координат неподвижна относительно бегущего электромагнитного поля линейной машины;

3) α, β, θ – система неподвижна относительно индуктора линейного асинхронного двигателя.

Математическое описание электромагнитных процессов с учетом общепринятых допущений при многополюсном исполнении (число пар полюсов $p > 4$) ЦЛАД предлагается проводить по схемам замещения на базе уравнений Парка-Горева. ЦЛАД работает в трехфазном и двухфазном режимах питания, при моделировании таких режимов работы ЦЛАД удобна ортогональная система координат α, β, θ неподвижная относительно индуктора. Ось α при этом совпадает с осью индуктора, а ось β опережает ее на угол $\pi/2$.

Система уравнений, описывающая работу ЦЛАД при трехфазном питании

индуктора, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\psi_{\alpha 1}}{dt} &= U_{\alpha 1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \psi_{\alpha 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_r \psi_{\alpha 2}; \\
 \frac{d\psi_{\beta 1}}{dt} &= U_{\beta 1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \psi_{\beta 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_r \psi_{\beta 2}; \\
 \frac{d\psi_{\alpha 1}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \psi_{\alpha 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \psi_{\alpha 1} - \frac{\pi}{\tau} v \psi_{\beta 1}; \\
 \frac{d\psi_{\beta 1}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \psi_{\beta 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \psi_{\beta 1} + \frac{\pi}{\tau} v \psi_{\alpha 1}; \\
 U_{\alpha 1} &= \frac{2}{3} \left(Ua - \frac{1}{2} (Ub + Uc) \right); \quad U_{\beta 1} = \frac{1}{3} (Ub - Uc); \\
 FД &= \frac{3}{2} \frac{\pi^2 v_0 k_r}{\tau^2 \sigma \alpha'_s} (\psi_{\alpha 2} \psi_{\beta 1} - \psi_{\alpha 1} \psi_{\beta 2})
 \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

где $\psi_{\alpha 1}, \psi_{\beta 1}, \psi_{\alpha 2}, \psi_{\beta 2}$ – потокосцепления по осям α и β индуктора и вторичного элемента;

Ua, Ub, Uc – напряжения фаз индуктора «А», «В», «С», В;

v_0 – синхронная скорость электромагнитного поля ЦЛАД;

τ – полюсное деление обмотки ЦЛАД;

$\alpha'_s, \alpha'_r, K_s, K_r$ – коэффициенты входящие в уравнение системы

определяются параметрами схемы замещения ЦЛАД; $\alpha'_s = \frac{R_1 X_r}{X_s X_r - X_m^2}$; $\alpha'_r =$

$$\frac{R'_2 X_s}{X_s X_r - X_m^2}, \quad K_s = \frac{X_m}{X_s}; \quad K_r = \frac{X_m}{X_r};$$

σ – коэффициент рассеяния магнитного потока;

$X_s = X_l + X_m, X_r = X'_2 + X_m$ – значения сопротивлений, вводимые в модель;

R_l, X_l, R'_2, X'_2 – соответственно активное и реактивное сопротивления индуктора и вторичного элемента, приведенные к обмотке индуктора;

X_m – сопротивление взаимной индукции между индуктором и вторичным элементом.

Система уравнений Парка-Горева для двухфазного режима питания индуктора ЦЛАД (отключена, например, фаза «А») примет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\psi_{\alpha 1}}{dt} &= U_{\alpha 1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \psi_{\alpha 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \psi_{\alpha 2}; \\
 \frac{d\psi_{\beta 1}}{dt} &= U_{\beta 1} - \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s \psi_{\beta 1} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_s K_r \psi_{\beta 2}; \\
 \frac{d\psi_{\alpha 1}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \psi_{\alpha 2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \psi_{\alpha 1} - \frac{\pi}{\tau} v \psi_{\beta 2}; \\
 \frac{d\psi_{\beta 1}}{dt} &= -\frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r \psi_{\beta 2} + \frac{\pi}{\tau} v_0 \alpha'_r K_s \psi_{\beta 1} + \frac{\pi}{\tau} v \psi_{\alpha 2}; \\
 U_{\alpha 1} &= -\frac{1}{3}(Ub + Uc); \quad U_{\beta 1} = \frac{1}{3}(Ub - Uc); \\
 F_{\text{Д}} &= \frac{3}{2} \frac{\pi^2 v_0 k_r}{\tau^2 \alpha'_s} (\psi_{\alpha 2} \psi_{\beta 1} - \psi_{\alpha 1} \psi_{\beta 2}).
 \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

2.4 Математическая модель привода СПН на базе ЦЛАД в среде объектно-визуального моделирования Matlab

Присутствие многократного интегрирования в уравнениях (2.19)...(2.20) обуславливает значительную нелинейность рассматриваемой задачи. Дополнительную сложность вносит различная форма аналитической записи этих уравнений на этапах трехфазного питания ЦЛАД и двухфазного питания. Для решения нелинейной сложной динамической системы уравнений предлагается воспользоваться пакетом объектно-визуального моделирования MATLAB (Программа Simulink является приложением к пакету MATLAB).

При использовании MATLAB (Simulink) пользователь на рабочем поле создает модель из блоков, которые находятся в библиотеке стандартных блоков, в этом заключается принцип визуального программирования. Далее осуществляется расчеты.

От пользователя не требуется знать язык программирования и численные методы математики, достаточно лишь общих знаний, требующихся при работе на компьютере и теоретических знаний в той области, в которой он работает.

Реализация математической модели электропривода на базе ЦЛАД СПН в приложении MATLAB (Simulink) представлено на рисунке 2.2. В рабочем окне располагаются блоки, описывающие систему уравнений (2.3) и модули подсистем.

Параметры, остающиеся не именованными во время моделирования: высота скважины – H , м; диаметр плунжера – D_p , мм; масса плунжера - m_p , кг; диаметр трубопровода – D_t , мм; диаметр всасывающего трубопровода – D_{tvsas} , мм; плотность воды – ρ_0 , кг/м³, которые определяют силы сопротивления движению плунжера СПН вошедшие в систему уравнений.

Моменты включения и отключения ЦЛАД согласно начальным условиям задаются в блоке коммутации (подсистема), окно которой показано на рисунке 2.3. На входе подсистемы показаны три фазы питания синусоидальной формы и координата положения плунжера. Установка координат концевых выключателей производится с помощью блока Relay, настройки которого представлены на рисунке 2.4 (например, координаты концевых выключателей имеют выставленные значения $S_1 = 0,1$ м, $S_2 = 0,3$ м).

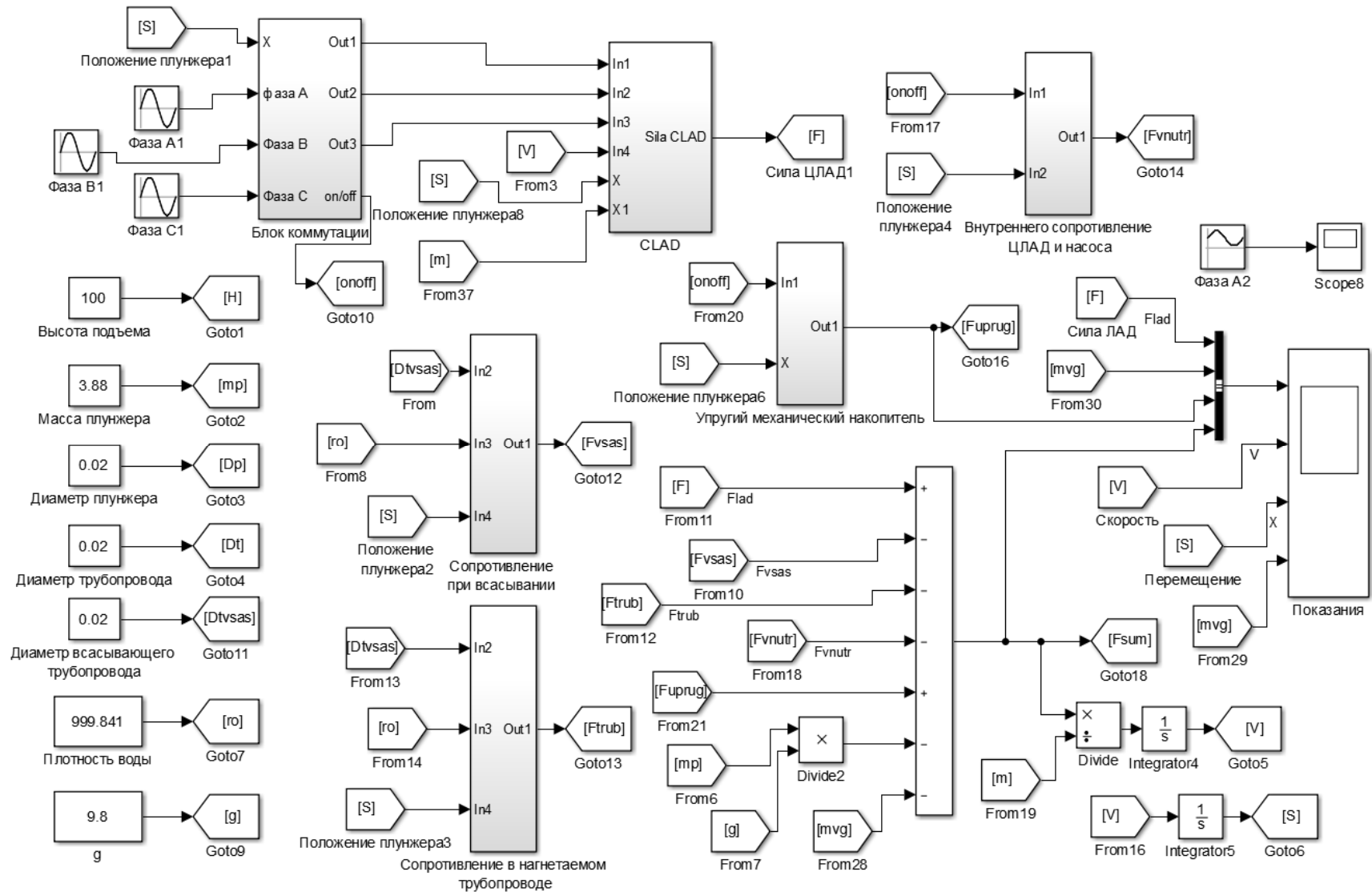


Рисунок 2.2 Математическая модель электропривода на базе ЦЛАД СПН в среде Simulink

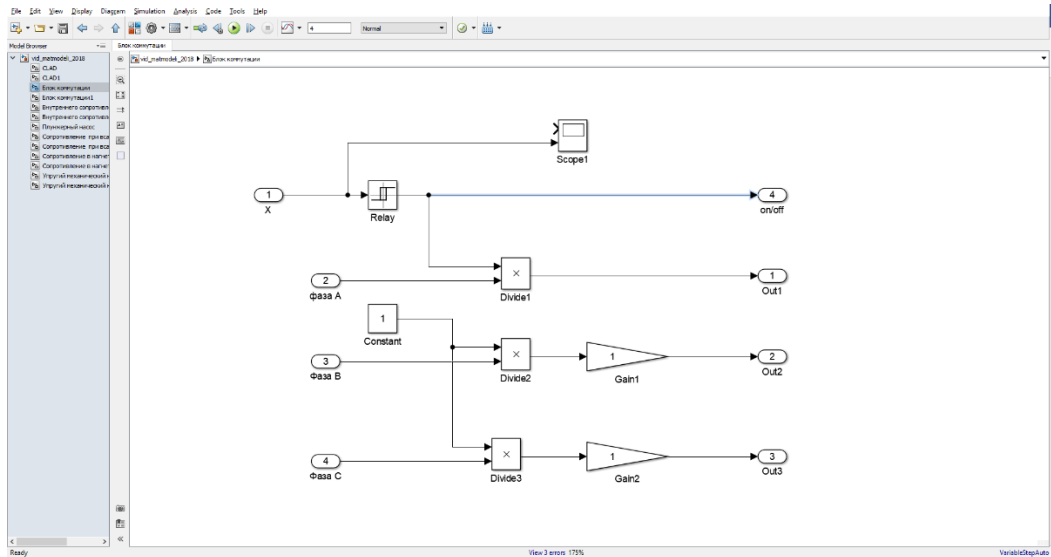


Рисунок 2.3 Окно блока коммутации

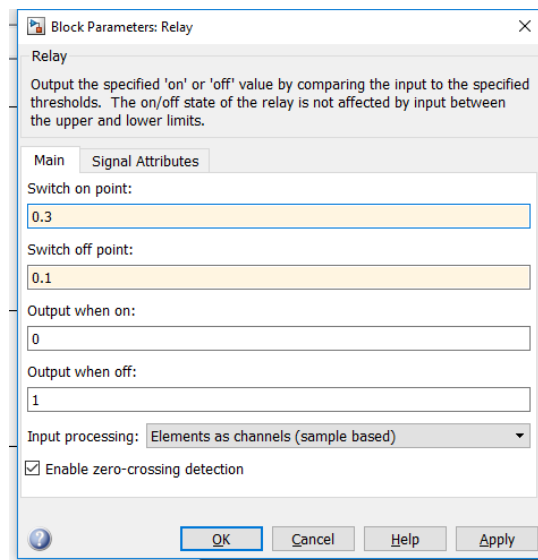


Рисунок 2.4 Окно блока включения и отключения одной фазы

Вычисление силы развиваемая линейным двигателем $F_{ЛД}$ и полученных токов осуществляется в блоке «CLAD» (рисунок 2.5), Вычисление электрических и механических мощностей основных электрических величин: P_I , Q_I , $P_{инд}$, I_A , I_B , I_C согласно математической модели проводятся в этой же подсистеме. Зависимость силы упругости накопителей механической энергии $F_{упруг}$ вычисляет подсистема «Упругий механический накопитель» (рисунок 2.6), сила сопротивления в нагнетаемом трубопроводе $F_{труб}$ - в блоке «Сопротивление

в нагнетаемом трубопроводе» (рисунок 2.7); вычисления внутреннего сопротивления ЦЛАД и насоса описывается блоком «Внутреннее сопротивление ЦЛАД и насоса» (рисунок 2.8).

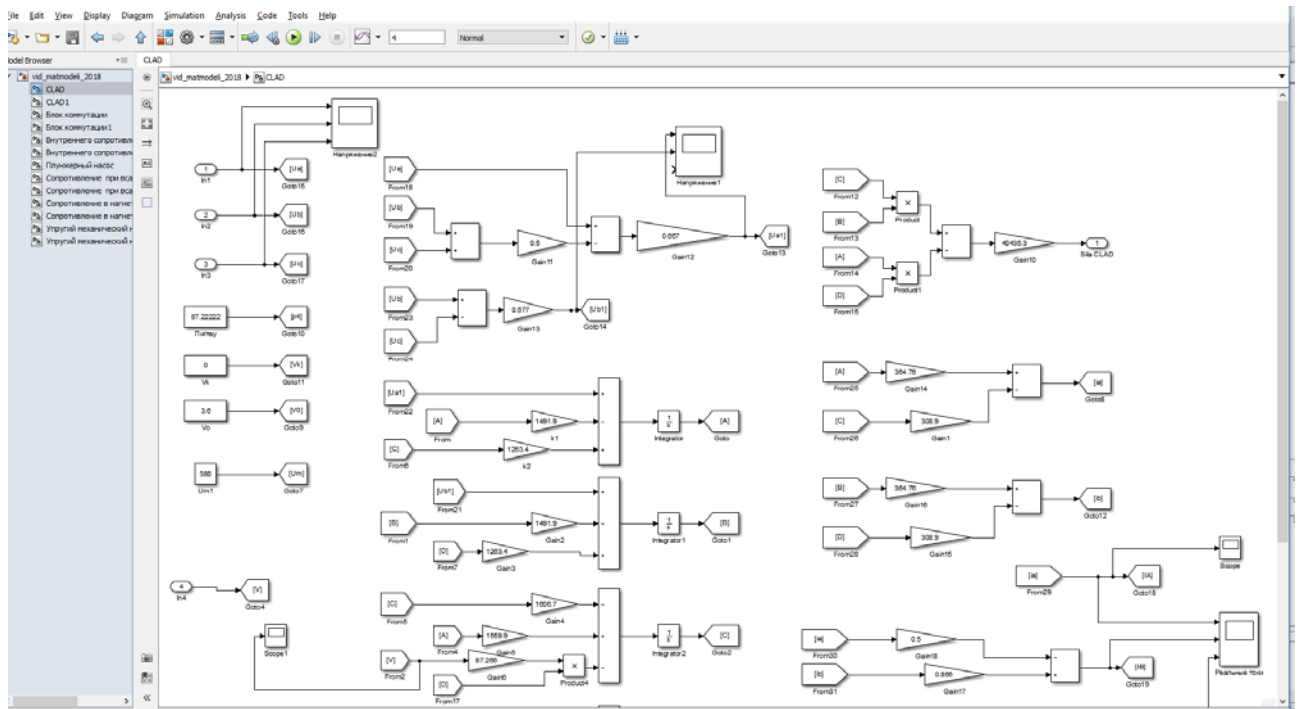


Рисунок 2.5 Окно подсистемы «CLAD»

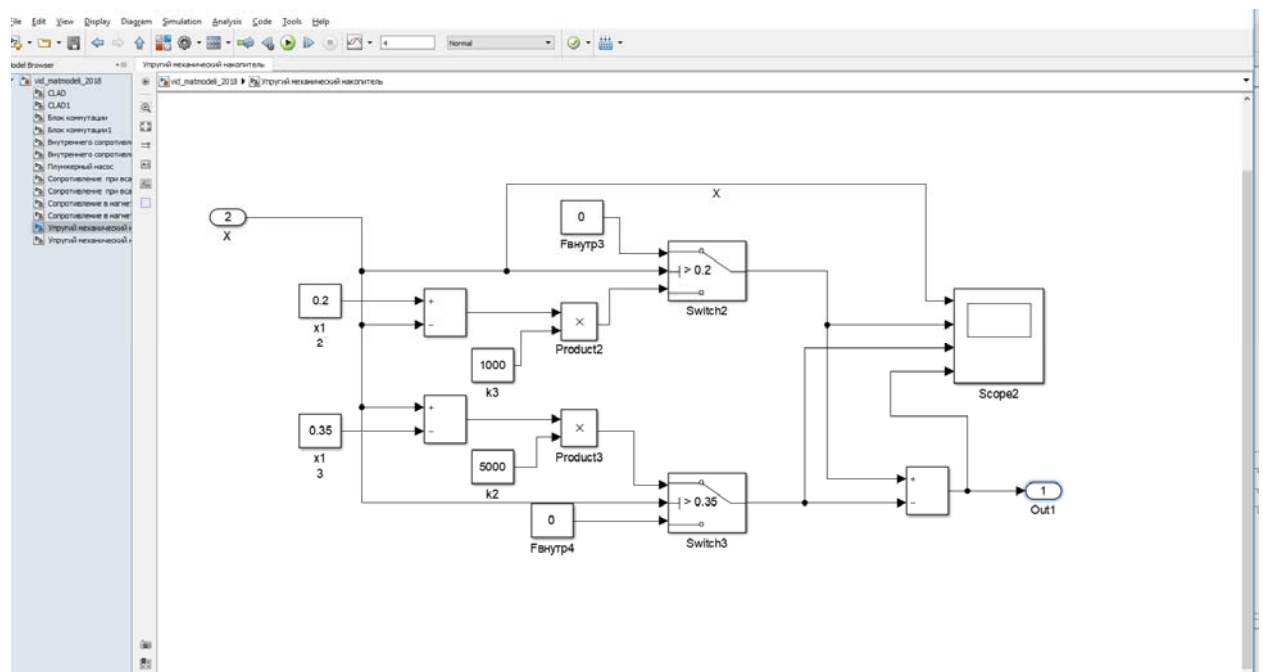


Рисунок 2.6 Окно подсистемы «Упругий механический накопитель»

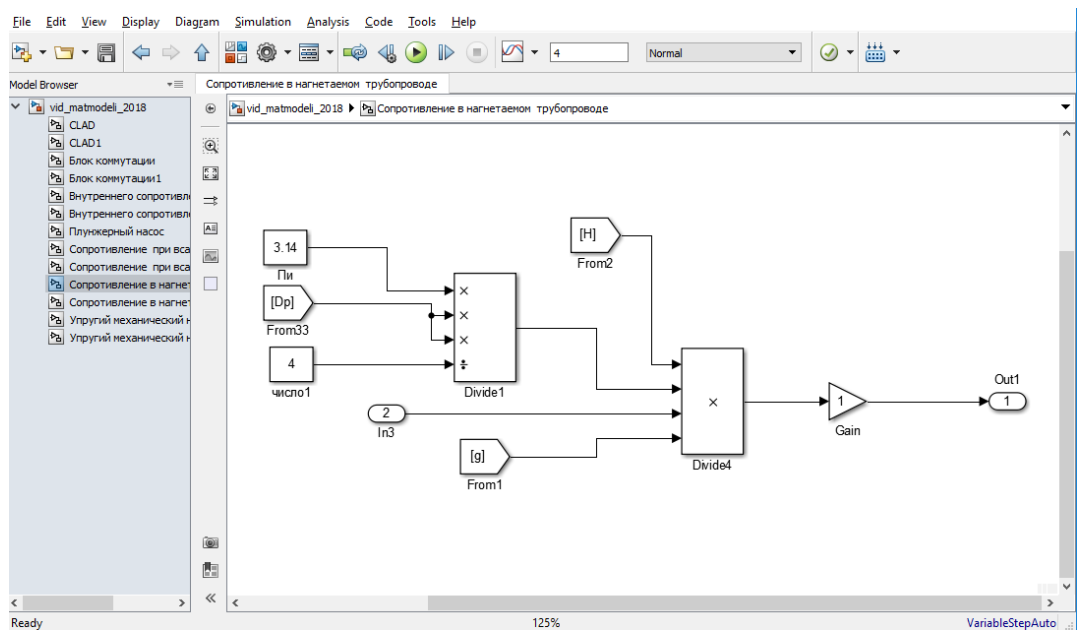


Рисунок 2.7 Окно подсистемы «Сопrotивление в нагнетаемом трубопроводе»

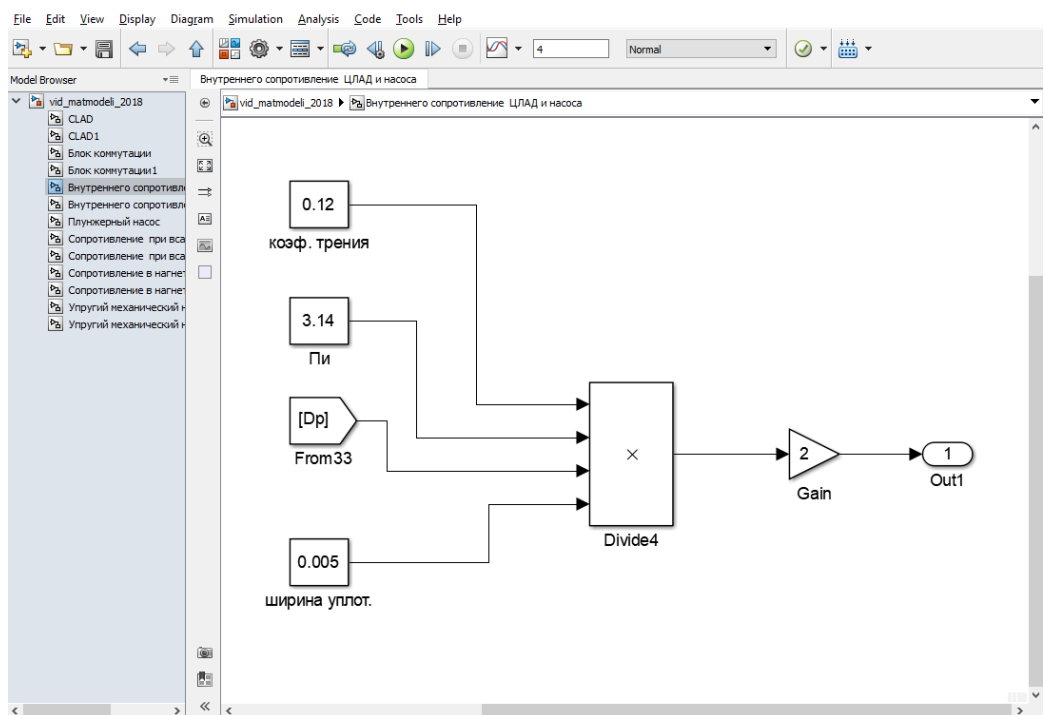


Рисунок 2.8 Окно подсистемы «Внутреннее сопротивление ЦЛАД и насоса»

Разработанная математическая модель рассчитывает все переменные входящие уравнения (2.1...2.22). Для анализа эффективности работы СПН при различных режимах можно производить по смоделированным временным зависимостям перемещения плунжера (рисунок 2.9) и давления, развиваемого насосом.

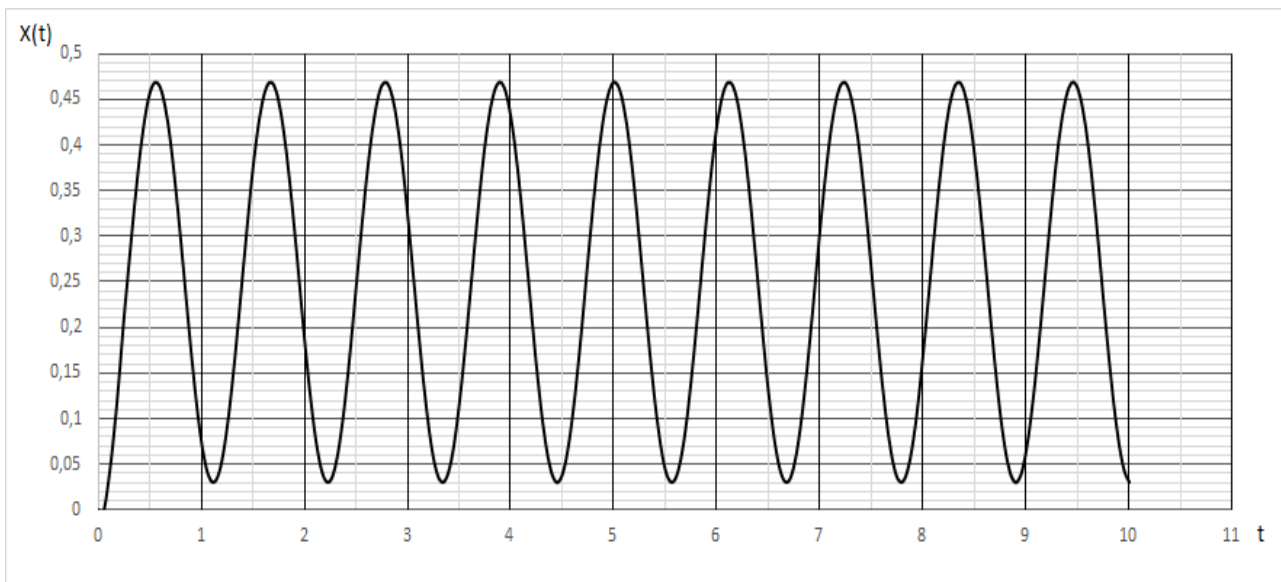


Рисунок 2.9 Смоделирована временная зависимость движения плунжера

Исследуя математическую модель привода СПН на базе ЦЛАД, можно выбрать значения параметров, позволяющие добиваться рациональных соотношений потребления электроэнергии, мощности, КПД производительности, напора и амплитуды колебаний.

Выводы по главе

1. Разработана математическая модель СПН на базе ЦЛАД в приводе с упругими накопителями механической энергии и реализацией периодического отключения одной фазы при трехфазном питании двигателя. Для оценки работы ЦЛАД в приводе СПН математическая модель реализована в среде объектно-визуального моделирования Matlab (приложение Simulink).

2. Математическая модель электропривода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии и реализацией периодического отключения одной фазы при трехфазном питании двигателя позволяет выбрать параметры оборудования, при которых будут достигаться рациональные энергетические и технические показатели.

ГЛАВА 3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СПН

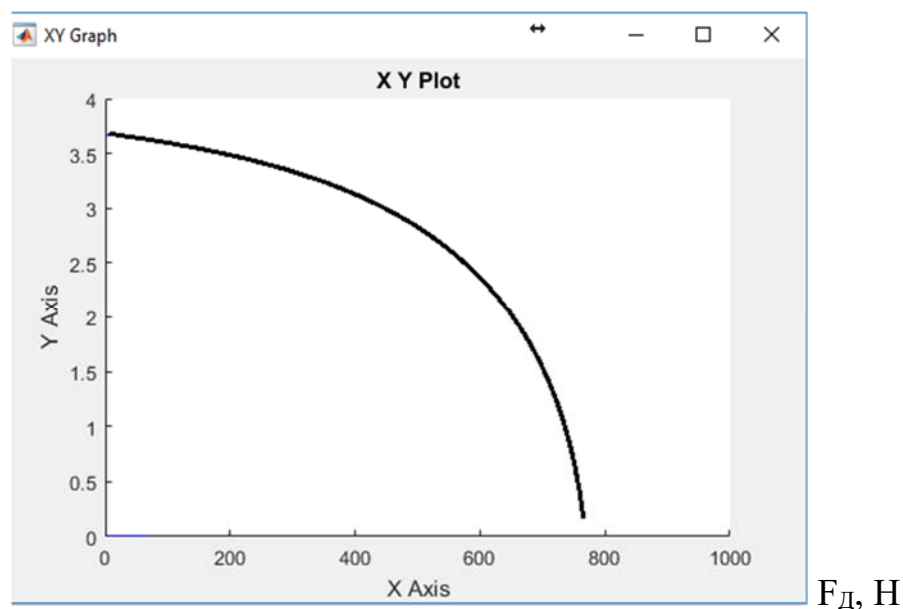
3.1 Общие сведения

Теоретическое исследование электропривода СПН на базе ЦЛАД проводится для выявления влияния конструкции и технологических характеристик привода, на эффективность его работы, наметить пути повышения эффективности.

Исследования математической модели проводились со следующими параметрами схемы замещения ЦЛАД (по техническим паспортным данным завода-изготовителя – ООО "Свердловский Машиностроительный Завод", г. Екатеринбург): $R_l=0,5$ Ом, $X_l=1$ Ом, $X'_2=0,1$ Ом, $X_m=5$ Ом, $R'_2=1$ Ом, $V_0=3,6$ м/с, $\tau=0,036$ м, число пар полюсов индуктора $p=6$.

На рисунке 3.1 представлена рабочий участок механической характеристики предлагаемого ЦЛАД.

$V, \text{ м/с}$



3.1 Механическая характеристика предлагаемого ЦЛАД

3.1 Программа исследований технологических характеристик и энергетических показателей СПН на базе ЦЛАД

Проводимые исследования направлены на:

- выбор сочетания конструктивных и технологических параметров электропривода СПН, обеспечивающих повышение энергоэффективности его работы;
- определение параметров колебательного процесса, при которых процесс подъема воды из скважины осуществляется наиболее эффективно.

Обзор библиографических источников и существующих конструкций насосов показал, что процесс выкачивания воды есть возможность осуществлять без снижения эффективности в большом диапазоне производительности. Исходя из того, что ЦЛАД не рекомендовано применять с частотой колебаний более 3 Гц. Поэтому экспериментальные исследования проводились с максимально допустимой частотой $f_{\max}=3$ Гц. При выполнении экспериментальных исследований с СПН были получены результаты в установившемся режиме работы с амплитудой $A=0...0,5$ м и $f_{\max}=0...3$ Гц.

Математическая модель СПН с применением цилиндрического линейного асинхронного привода реализована и исследована в приложении Simulink программы MATLAB. Исследования направлены на выявление значимости характеристик электропривода СПН на энергоэффективность его работы, так же на определение рациональных параметров колебательного процесса.

Основные параметры насосных установок:

- идеальная подача Q_n – объем жидкости, вытесняемый поршнем в единицу времени;
- действительная подача Q – подача без учета утечек жидкости через неплотности в рабочей камере, проникновение воздуха вместе с перекачиваемой водой, неправильной работы клапанов и некоторыми другими причинами;

- объемный КПД насоса h_o –утечки воды через зазоры между элементами насоса;
- напор насоса N_n – отношение давления к удельному весу перекачиваемой воды;
- полезная мощность насоса N_n – это полное приращение энергии, получаемое всей перекачиваемой водой в единицу времени;
- КПД насоса η_n – это отношение полезной мощности к потребляемой.

3.2 Рабочие характеристики СПН на базе ЦЛАД

При математическом моделировании процесса работы насоса получены расчетные временные зависимости скорости и положения плунжера (рисунок 3.2) при различных значениях высоты подъема воды из скважины при предварительно принятых высотах: 30, 50, 80, 100, 130 и 165 м.

Установили, что для обеспечения максимальной производительности при конкретной нагрузке (определен диаметром плунжера) имеет место значение, при котором обеспечивается максимальная производительность. Например, на рисунке 3.3 приведена зависимость производительности от жесткости нижнего накопителя механической энергии.

Максимальное давление, развиваемое насосом (рисунок 3.4) с повышением жесткости нижнего накопителя механической энергии увеличивается прямолинейно, при увеличении жесткости на 30 % максимальный напор увеличивается на 6,1 %.

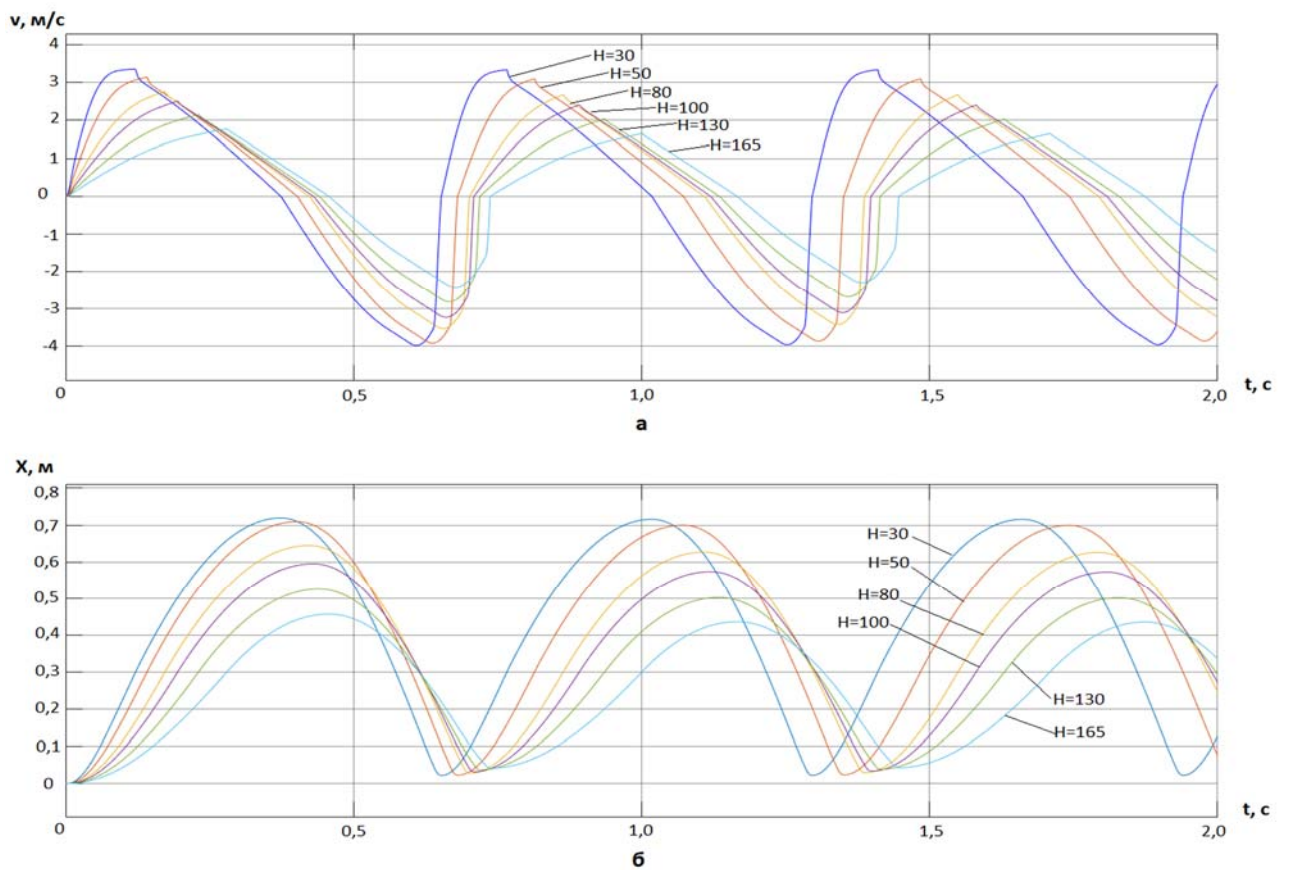


Рисунок 3.2 Расчетные временные зависимости: а – скорости движения плунжера v , м/с; б – положения плунжера X , м; при различных значениях высоты скважины H , м

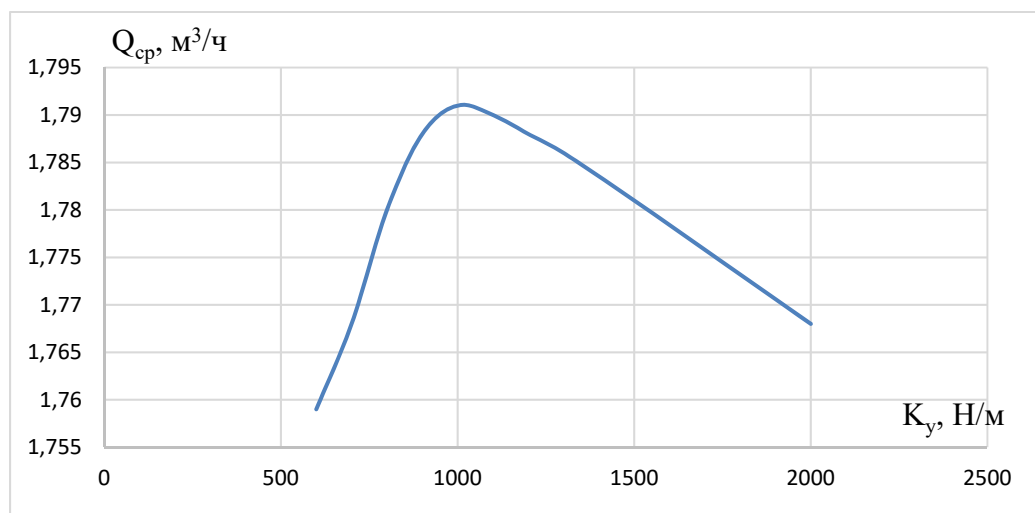


Рисунок 3.3 Расчетная зависимость средней производительности Q_{cp} от жесткости нижнего накопителя механической энергии

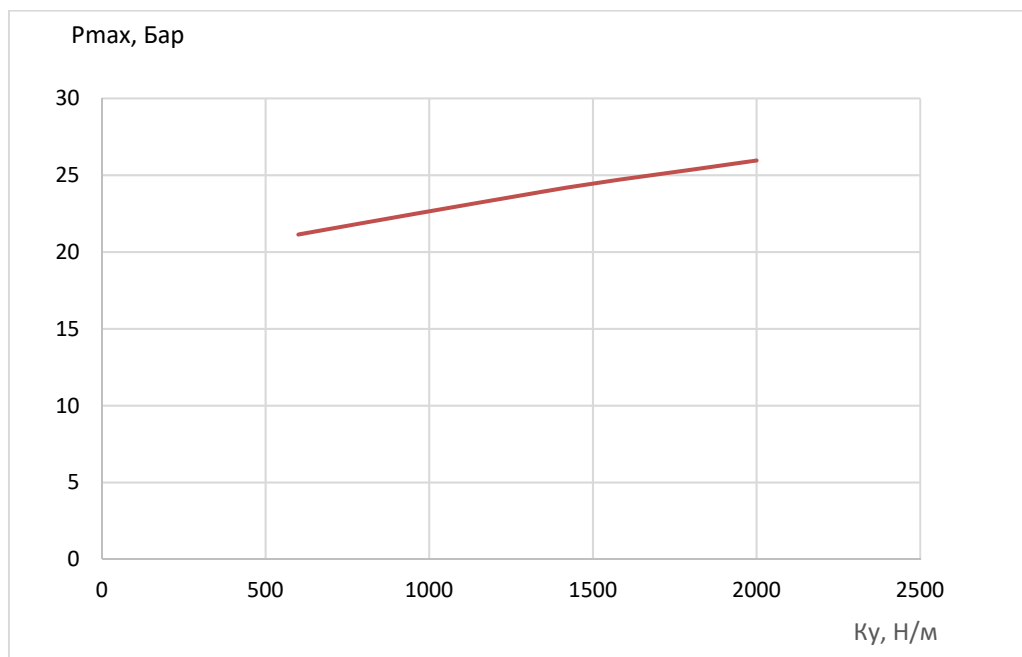


Рисунок 3.4 Расчетная зависимость максимального давления P_{max} от жесткости нижнего накопителя механической энергии

Рабочими характеристиками насоса называют зависимости напора, мощность и КПД от производительности.

Рабочие характеристики насосов показывают эффективность их работы при различных внешних факторах и при разных режимах, позволяют выбрать наиболее подходящие по экономическим или техническим показателям.

Производительность или подачу плунжерного насоса легко рассчитать, имея следующие данные:

- диаметр плунжера;
- ход плунжера;
- число ходов в минуту;
- число плунжеров насоса.

Для анализа работы линейного асинхронного электропривода СПН, с различными нагрузками (разные диаметры плунжера) приведены рабочие характеристики (рисунок 3.5). Из приведенных зависимостей следует, чем меньше диаметр плунжера, тем больше высота подъема воды. Для сравнения на этом же рисунке приведены рабочие характеристики наиболее

распространённых для водоснабжения насосов: центробежных скважинных серии ЭЦВ (ЭЦВ 4-1,5-50, ЭЦВ 4-2,5-80 и ЭЦВ 4-2,5-120) с развиваемым напором 50...120 м и диапазоном производительности 0,5...4 м³/ч; вихревого насоса 2В-1,6; вибрационного насоса «Малыш».

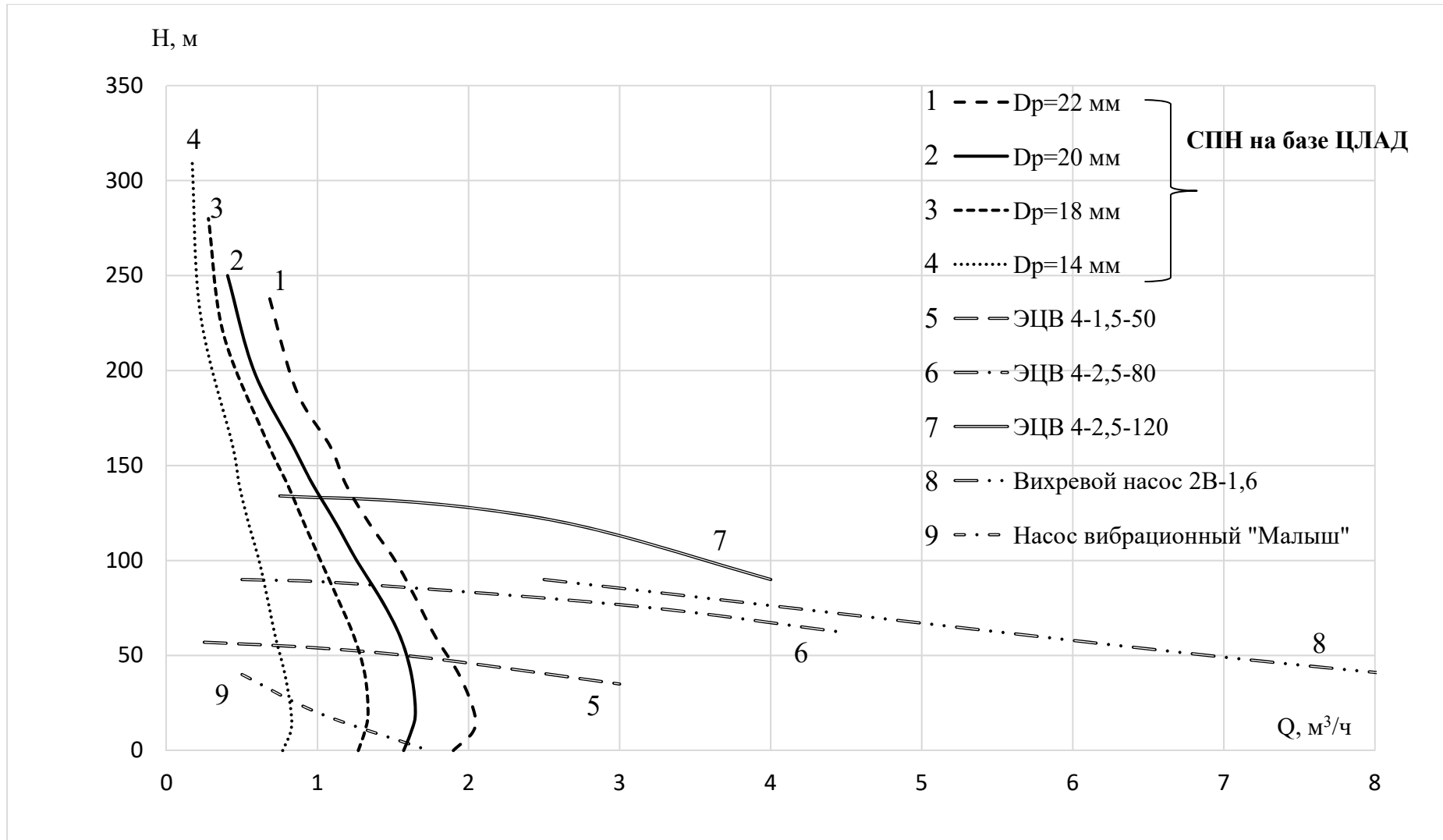


Рисунок 3.5 Рабочие характеристики исследуемого насоса и насосов других типов:

H – напор, Q – производительность

Расшифровка обозначения серии «ЭЦВ»: Э – с приводом от погружного электродвигателя; Ц – насос центробежный; В – предназначен для подачи воды. Пример расшифровки буквенно-цифрового обозначения насоса ЭЦВ 4-1,5-50:

Э – с приводом от погружного электродвигателя;

Ц – насос центробежный;

В – предназначен для подачи воды;

4 – диаметр трубы в дюймах;

1,5 – подача, м³/ч;

50 – напор, м.

Анализ рабочих характеристик показывает, что при необходимой для обеспечения водой, например фермы КРС на 500 голов с производительностью насоса 1 м³/ч предлагаемый СПН на базе ЦЛАД может обеспечить напор 170 м, ближайший центробежный скважинный насос при соизмеримой мощности обеспечивает напор не более 100 м.

3.3 Энергетические показатели привода СПН на базе ЦЛАД

В настоящее время как никогда актуальна обеспечение высоких энергетических показателей, экономия энергетических и материальных ресурсов выходят на первый план.

Большое значение потерь электроэнергии в переходных процессах имеет и ЦЛАД, у которого режим реверса является основным.

Токи, возникающие при пуске, реверсе, торможении превышают номинальные значения (рисунок 3.6).

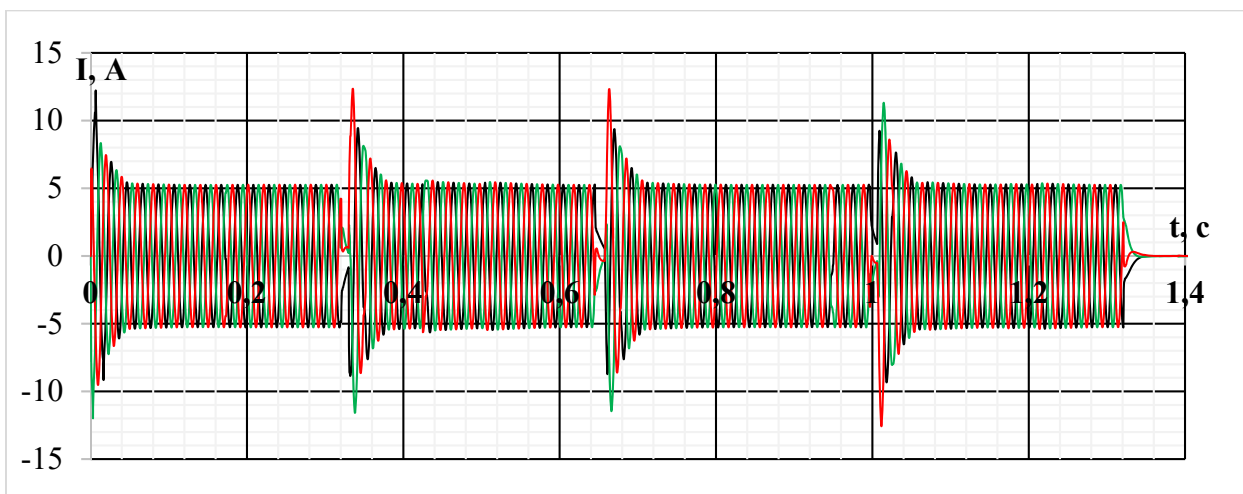


Рисунок 3.6 Ток по трем фазам при работе в режиме реверса

По этой причине выделяющиеся в двигателе потери оказываются весьма значительными и существенно влияют на энергетические показатели работы электропривода, а также вызывают его дополнительный нагрев. Постоянная коммутация фаз негативно влияет на ресурс ЦЛАД.

Особенно большое значение потерь электроэнергии в переходных процессах имеет ЦЛАД, у которого режим реверса является основным.

При моделировании работы СПН в режиме реверса (рисунок 3.5) бросок тока составил $2 \dots 2,2 \cdot I_{\text{ном}}$. При использовании коммутации только одной фазы ЦЛАД (рисунок 3.7) бросок составил не более $1,62 \cdot I_{\text{ном}}$, то есть наблюдается снижение пусковых токов при коммутации, как минимум, на 19 %.

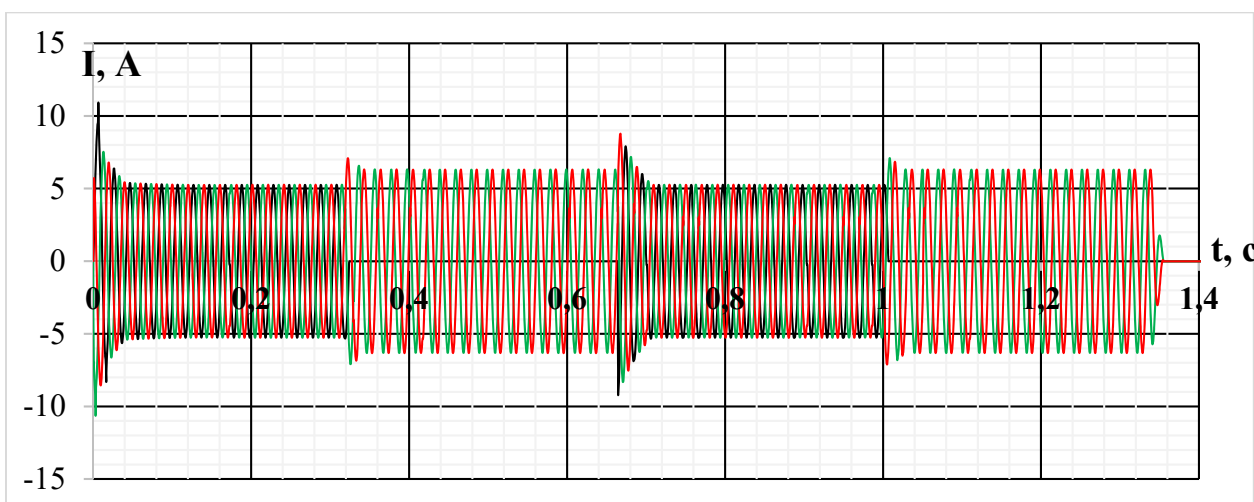


Рисунок 3.7 Ток по трем фазам при коммутации только фазы А

Полученные осциллограммы тока, потребляемого индуктором ЦЛД (рисунок 3.8), подтверждают снижение пусковых токов, как по амплитуде – на 19 %, так и по продолжительности – 17 %.

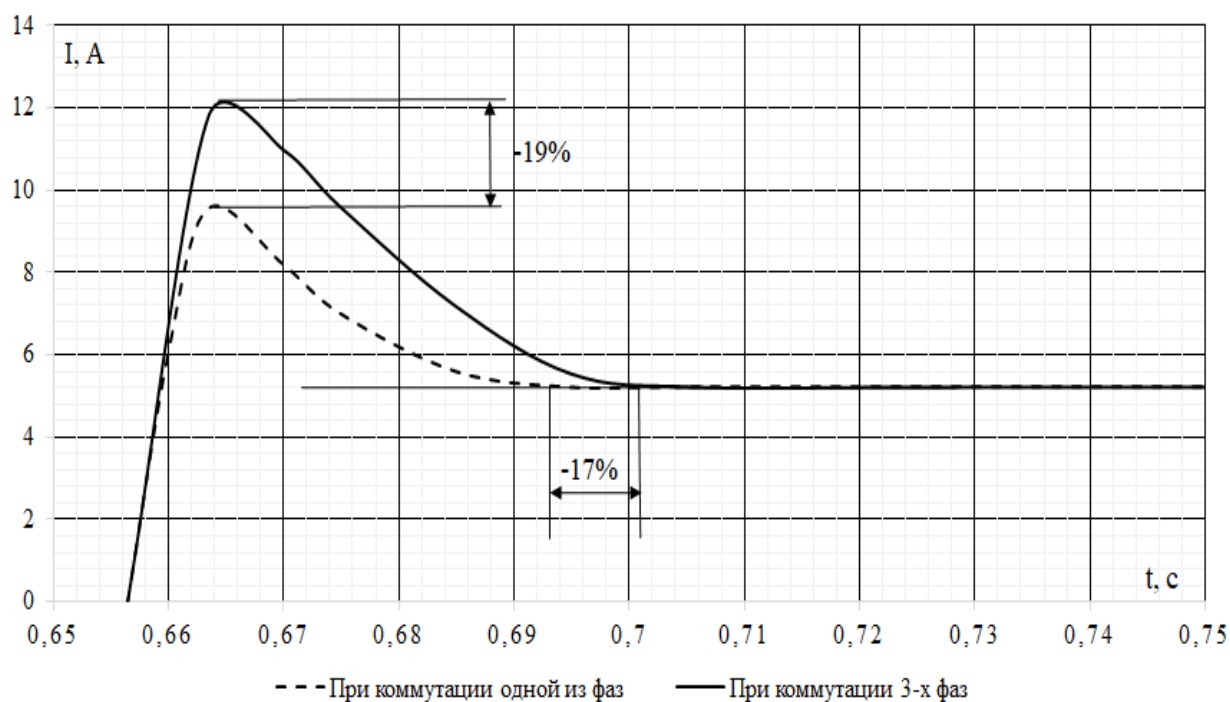


Рисунок 3.8 Ток при коммутации всех трех фаз и при коммутации только одной фазы А

Условия работы оборудования в сельском хозяйстве значительно отличается от общепромышленных.

На промышленных предприятиях электрооборудование, в частности электродвигатели работают при нормальных условиях окружающей среды, питающая сеть стабильна, симметрична. Обслуживание оборудования производит персонал высокой квалификации.

В сельскохозяйственных предприятиях электрооборудование находится в неблагоприятных условиях окружающей, работают с перерывами в кратковременном режиме, а часто еще с перегрузкой. Питающая сеть

нестабильна и ограничена по мощности. К тому же обслуживание производится персоналом имеющую не высокую квалификацию.

Это все оказывает негативное влияние на эксплуатационные свойства электродвигателей, применяемых в сельскохозяйственных предприятиях.

Часто электродвигатели устанавливают с завышенной мощностью. Поэтому двигатели работают недогруженными, при этом снижается коэффициент мощности ($\cos \varphi$) и КПД.

Особенностью сельских электросетей является значительная протяженность низковольтных линий, что приводит к понижению напряжения питания. На рисунке 3.9 представлены рабочие характеристики СПН на базе ЦЛАД при изменении величины питающего напряжения. Исследования показали, что при снижении питающего напряжения на 5 % напор и производительность СПН с линейным асинхронным электроприводом уменьшается на 7 %, а при снижении напряжения на 10 % - на 14,6 %, что не критично для надежного водоснабжения из-за имеющегося возможности создания большего запаса по напору.

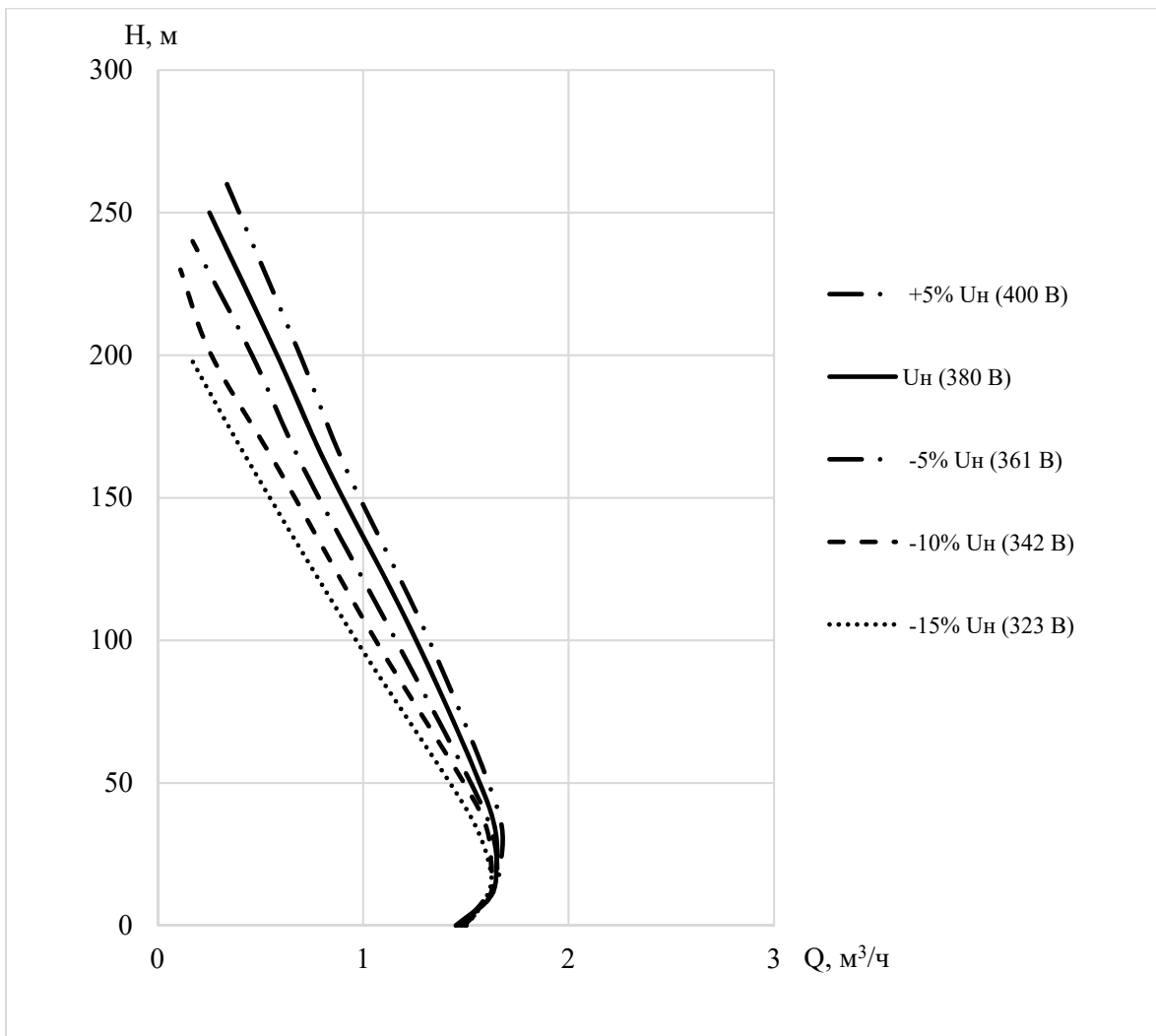


Рисунок 3.9 Рабочие характеристики исследуемого плунжерного насоса при различных значениях напряжения питающей сети:

H – напор, Q – производительность

3.4 Определение эффективности работы СПН на базе ЦЛАД

Как правило параметры насоса взаимосвязаны, изменение одного параметра приводит к изменению другого. Например, при увеличении производительности насоса - создаваемый напор уменьшится (при постоянной скорости плунжера). Если же изменятся внешние условия или характеристика сети это непременно приведет к изменению КПД, при номинальных значениях производительности и напора КПД максимальное, а при остальных режимах КПД снижается.

Рабочие характеристики насосов имеют характерные точки. Начальная точка характеристики указывает нулевую подачу ($Q=0$), этот режим работы соответствует работе насоса с закрытой задвижкой.

Область рабочей характеристики с максимальным КПД – называется оптимальным режимом. Главная при выборе насоса это обеспечение оптимальном режима работы при эксплуатации.

Необходимо помнить, что характеристика КПД имеет в зоне оптимального режима пологую область, но на практике пользуются рабочей частью характеристики насоса, которая не всегда является самым эффективным режимом.

В соответствии с ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения» в качестве показателя экономичности энергопотребления для насосов выбирают КПД, т.е. отношение полезной мощности насоса к потребляемой мощности.

Установлено, что максимальный КПД СПН с разработанным электроприводом составляет 0,45, при $D_p=22$ мм (рисунок 3.10). При производительности от 0,8 до 1,7 м³/ч, КПД в данном диапазоне составляет не менее 0,4. Данные, полученные экспериментальным путем (точки на рисунке 3.10), отличаются от результатов математического моделирования не более, чем на 9,6 %. Мощность линейного асинхронного электропривода СПН при разных нагрузках представлена на рисунке 3.11.

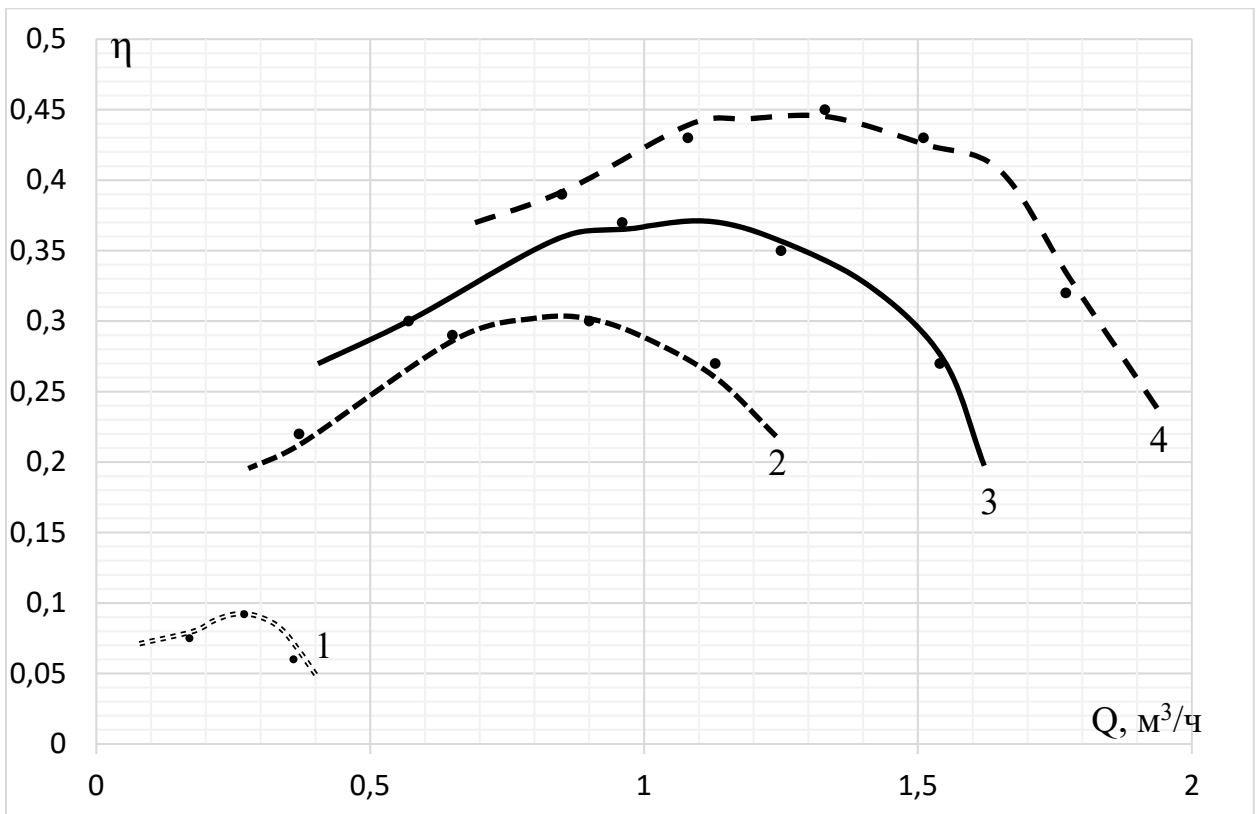


Рисунок 3.10 КПД СПН с периодической коммутацией фазы ЦЛАД:

1 - $D_p=14$ мм; 2 - $D_p=18$ мм; 3 - $D_p=20$ мм; 4 - $D_p=22$ мм

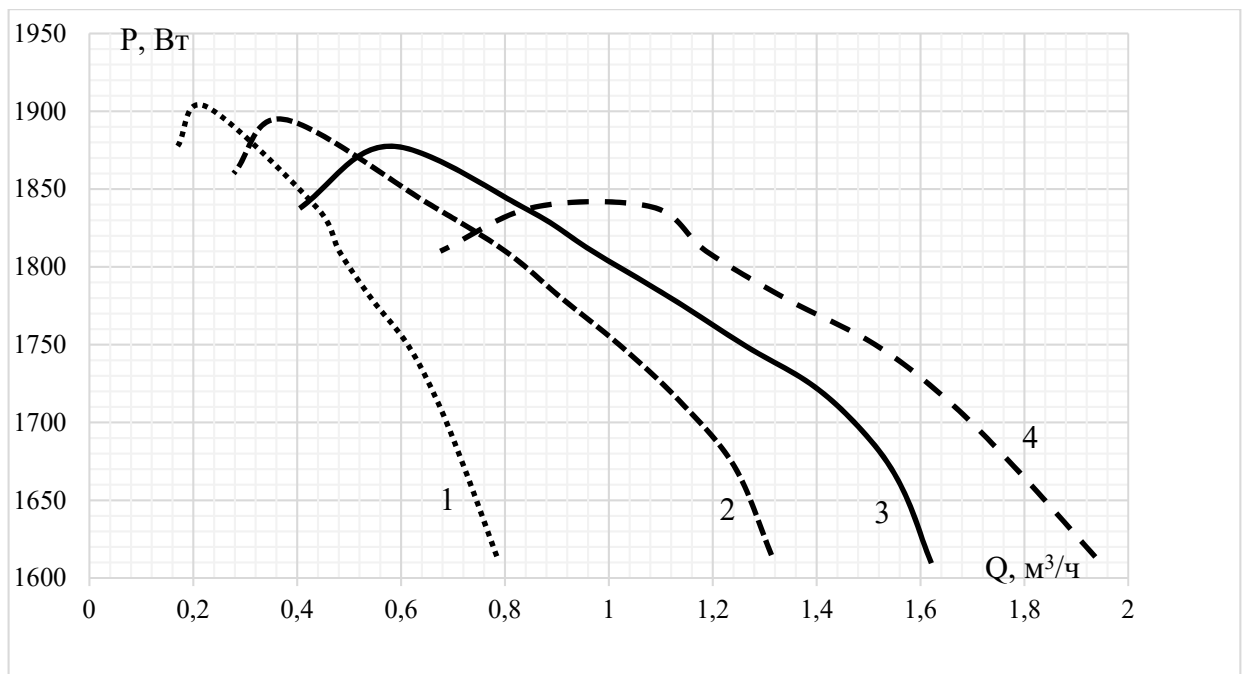


Рисунок 3.11 Мощность СПН с периодической коммутацией фазы ЦЛАД:

1 - $D_p=14$ мм; 2 - $D_p=18$ мм; 3 - $D_p=20$ мм; 4 - $D_p=22$ мм

На рисунке 3.12 представлены для сравнения графики зависимости КПД от напора для различных насосов. КПД СПН с линейным электроприводом имеет в диапазоне напоров от 80 м до 200 м КПД более 0,30. Ближайший центробежный насос имеет КПД 0,20 в диапазоне напоров от 80 м до 90 м.

На рисунке 3.13 для сравнения представлен график зависимости КПД расхода для различных насосов. КПД СПН предлагаемого привода имеет более высокие значения в широких пределах, чем КПД насосов центробежного действия.

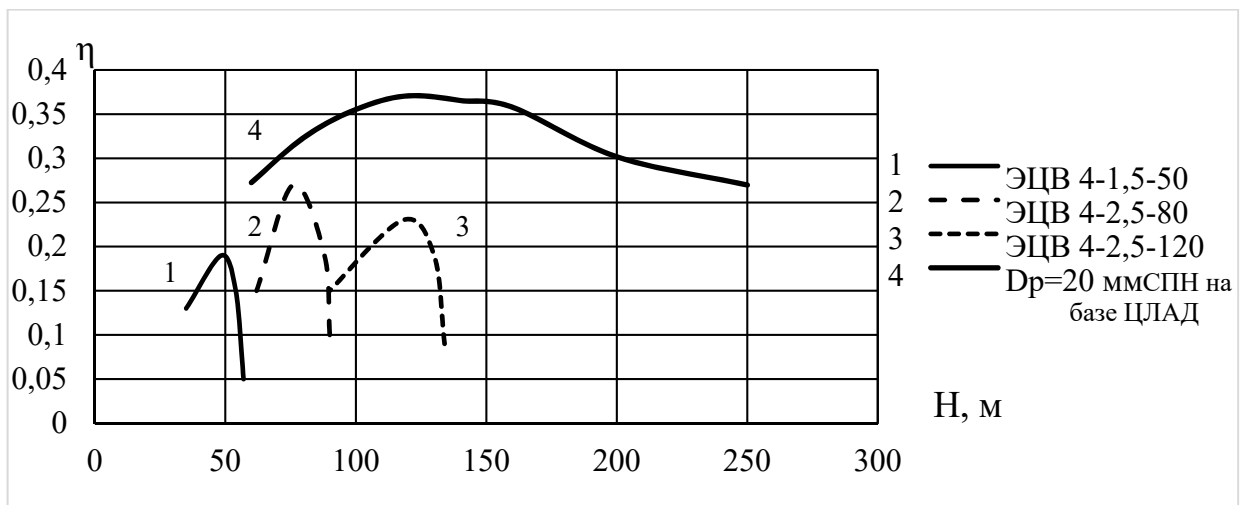


Рисунок 3.12 КПД различных насосов в зависимости от напора

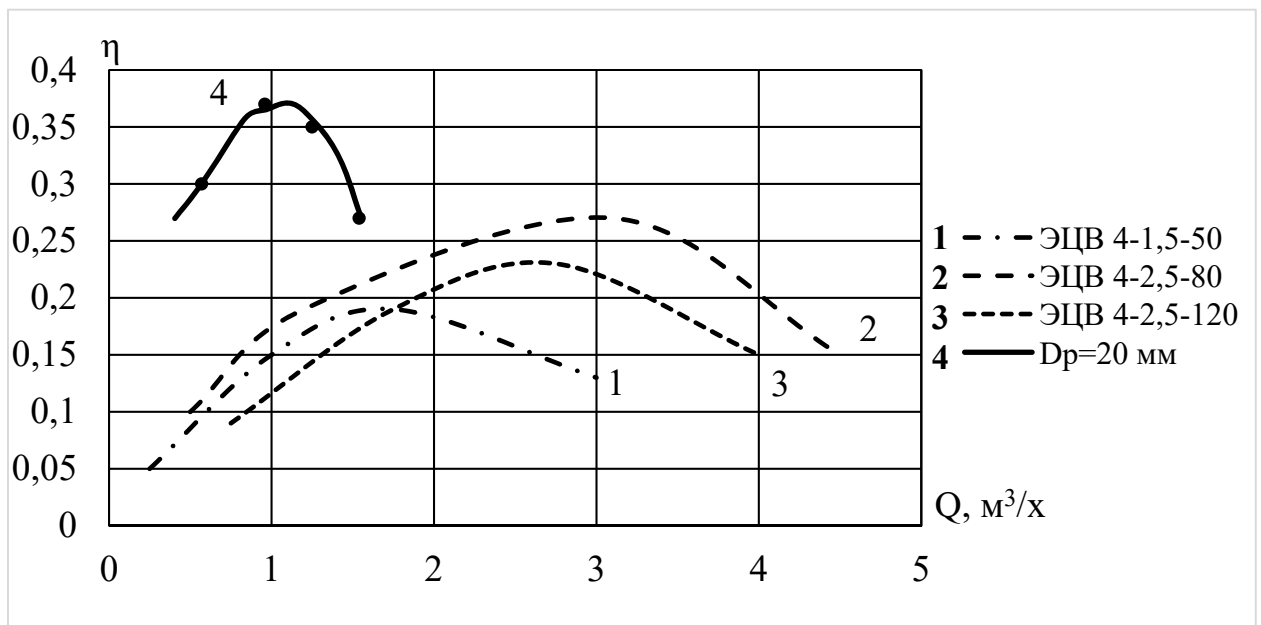


Рисунок 3.13 КПД различных насосов в зависимости от расхода

В соответствии с ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения» в качестве показателей экономичности энергопотребления предпочтительны удельные показатели, т.е. количество энергии или топлива, затрачиваемое машиной, механизмом на производство единицы продукции или работы.

Для сравнения энергетической эффективности предлагаемого СПН определим энергопотребление на 1 м^3 выкачиваемой воды.

Полученные результаты представлено на рисунке 3.14.

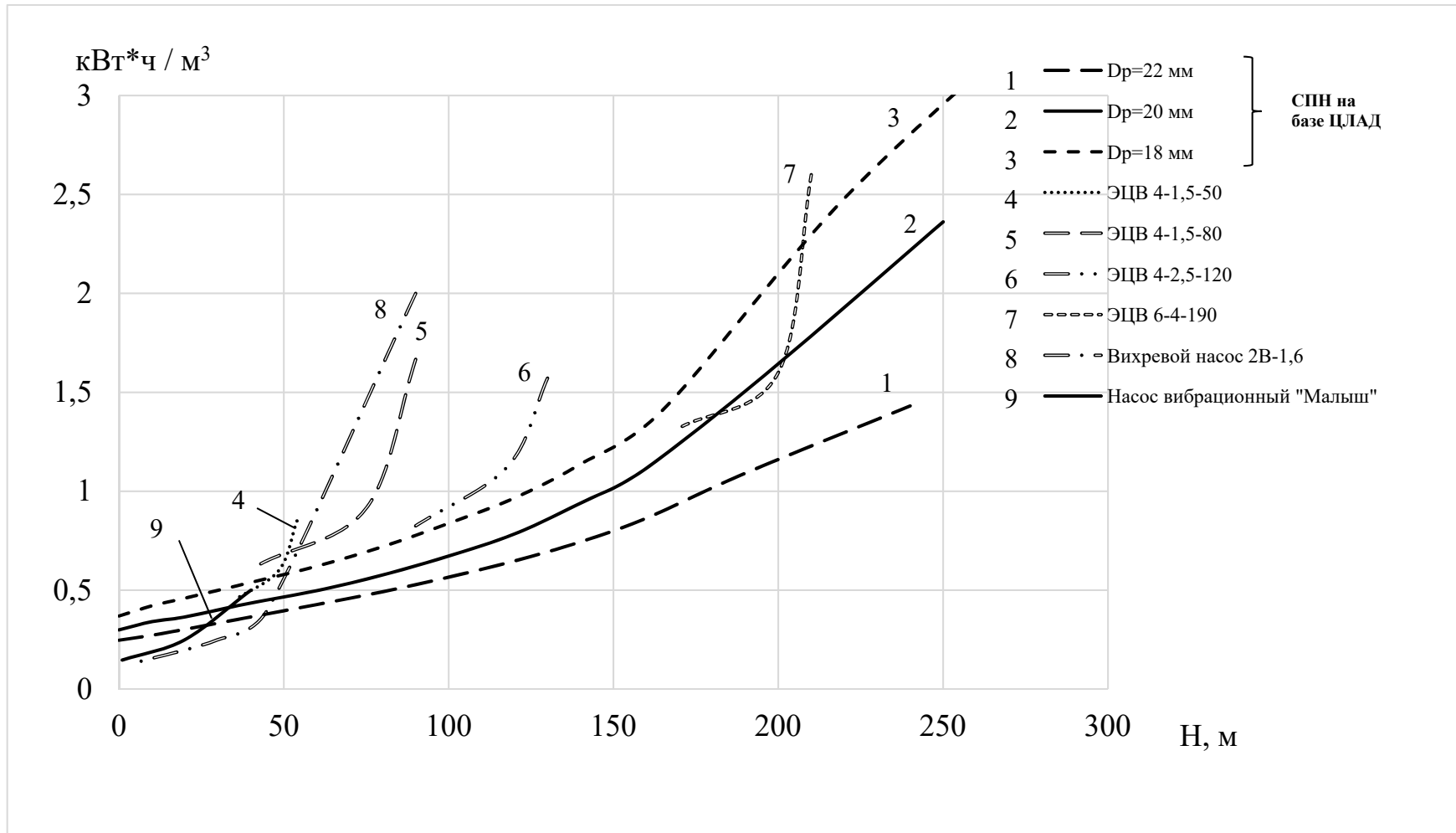


Рисунок 3.14 Эффективность работы, затраты электроэнергии на подъем 1 м³ воды различными насосами

Анализ полученных результатов показывает, что в широком диапазоне изменения напора наименьшие затраты электроэнергии на подъем 1 м³ воды имеет СПН с разработанным цилиндрическим линейным асинхронным двигателем в приводе. При подъеме воды из скважин глубиной более 100 м эффективнее применять СПН с приводом на базе ЦЛАД, экономия электроэнергии может составлять более 20 %.

Выводы по главе

1. Установлено, максимальное давление, развиваемое насосом с повышением жесткости нижнего накопителя механической энергии, увеличивается прямолинейно, при увеличении жесткости на 30 % максимальный напор увеличивается на 6,1 %. Предлагаемый СПН с приводом от ЦЛАД при необходимой для обеспечения водой, например, фермы КРС на 500 голов с производительностью насоса 1 м³/ч предлагаемый СПН на базе ЦЛАД может обеспечить напор 170 м, ближайший центробежный скважинный насос при соизмеримой мощности обеспечивает напор не более 100 м.

2. Исследования показали, что работа ЦЛАД со схемой коммутации в приводе СПН, обеспечивающей двухфазный режим работы, позволяет уменьшить пусковые токи до 19 % по амплитуде и до 17 % по продолжительности.

3. Установлено, что при снижении питающего напряжения на 5 % напор и производительность СПН с линейным асинхронным электроприводом уменьшается на 7 %, а при снижении напряжения на 10 % - на 14,6 %, что не критично для надежного водоснабжения из-за имеющегося возможности создания большего запаса по напору. Максимальный КПД СПН с электроприводом на базе ЦЛАД составляет 0,45 при диаметре плунжера 22 мм. При производительности от 0,8 до 1,7 м³/ч, КПД составит не менее 0,4. В широком диапазоне изменения напора наименьшие затраты электроэнергии на подъем 1 м³ воды имеет СПН с разработанным цилиндрическим линейным

асинхронным электроприводом. При подъеме воды из скважин глубиной более 100 м эффективнее применять СПН с приводом на базе ЦЛАД, экономия электроэнергии может составлять более 20 %.

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ЦЛАД СПН

4.1 Программа экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования электропривода на базе ЦЛАД СПН проводятся с целью доказательства адекватности разработанной математической модели и проверки теоретических исследований, полученных в данной работе.

Для проведения натуральных экспериментов принята следующая последовательность выполнения работ:

- 1) Разработка экспериментальной установки СПН на базе ЦЛАД.
- 2) Разработка методики проведения экспериментальных исследований.
- 3) Выбор контрольно-измерительных приборов для выполнения измерений в соответствии с разработанной методикой.
- 4) Проведение экспериментальных исследований с последующей обработкой полученных результатов эксперимента.
- 5) Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, выводы.

Программа экспериментальных исследований включает проверку адекватности полученных теоретических результатов:

- теоретические и экспериментальные значения тока ЦЛАД приводе СПН;
- определение КПД насосной установки;
- механических параметров (ход и амплитуда движения плунжера, частота колебаний, производительность).

4.2 Описание экспериментального СПН на базе ЦЛАД

Экспериментальная установка для многостороннего исследования имеет модульное построение: позволяет менять ЦЛАД; использовать в СПН плунжеры различных диаметров; устанавливать упругие накопители механической энергии с разной жесткостью; имеется возможность изменения места их установки по высоте.

Конструкция экспериментальной установки СПН на базе ЦЛАД в приводе представлена на рисунке 4.1 и включает в себя: индуктор ЦЛАД 1, плунжер 2, систему управления 3, концевые выключатели 4, корпус плунжерного насоса 5 и упругие накопители механической энергии 6.

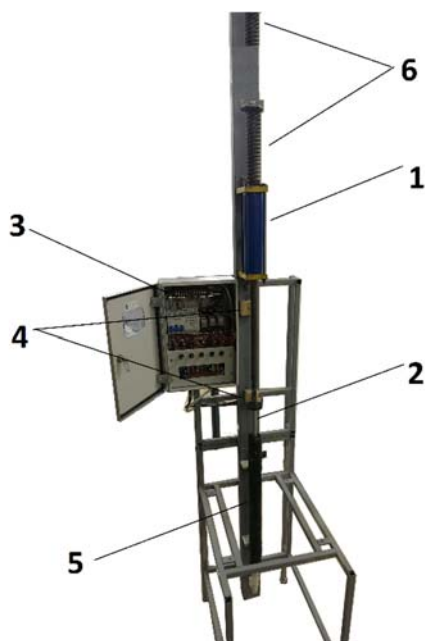


Рисунок 4.1 Экспериментальная установка 1 – индуктор ЦЛАД;
2 – вторичный элемент ЦЛАД (плунжер); 3 – система управления;
4 – выключатель концевой; 5 – корпус СПН; 6 – упругие накопители
механической энергии

На рисунке 4.2 показан ЦЛАД с упругим накопителем механической энергии.

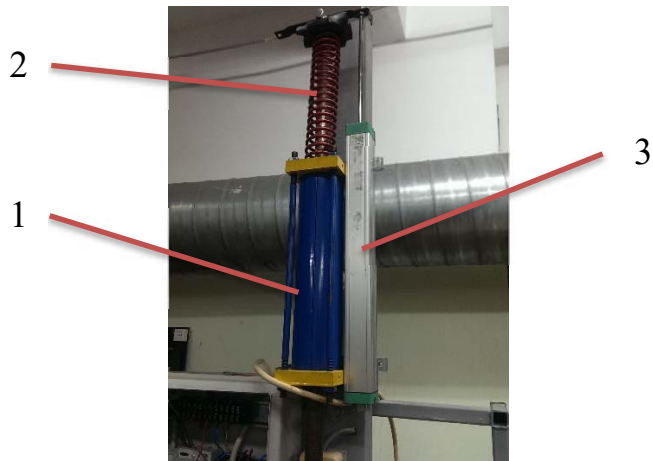


Рисунок 4.2 Общий вид ЦЛАД с упругим накопителем механической энергии: 1 – индуктор ЦЛАД; 2 – упругий накопитель механической энергии; 3 – датчик линейного положения

Для реализации двухфазного режима работы СПН на базе ЦЛАД в приводе применяется управление ЦЛАД на основе программируемого логического контроллера, реализующего периодическое отключение одной из фаз индуктора от сети.

На рисунке 4.3 приведена структурная электрическая схема системы управления электроприводом СПН на базе ЦЛАД.

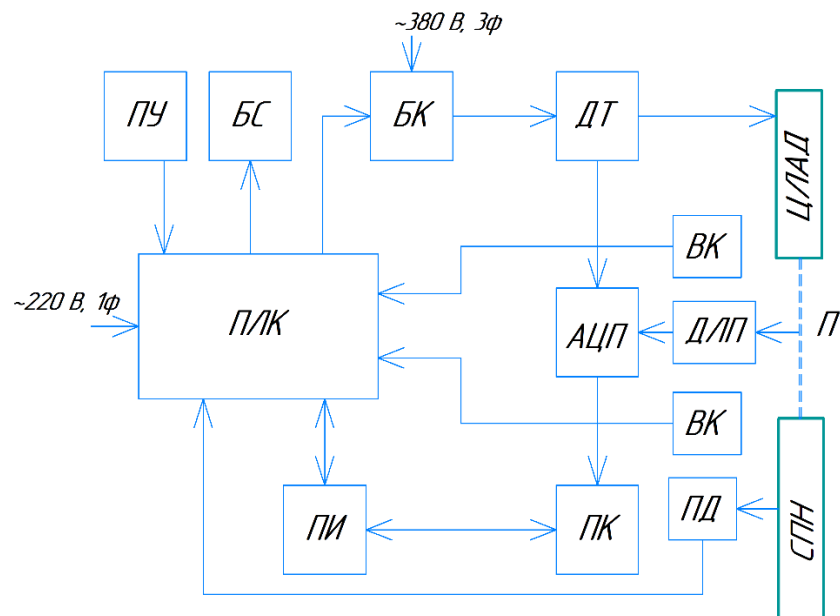


Рисунок 4.3 Структурная схема системы управления электроприводом СПН на базе ЦЛАД

Структурная схема системы управления включает в себя: ЦЛАД, вторичный элемент которого жестко связан с плунжером (П) скважинного плунжерного насоса (СПН), блок коммутации (БК), программируемый логический контроллер (ПЛК), пульт управления (ПУ), блок сигнализации (БС), датчик линейного положения (ДЛП), выключатель концевой (ВК), датчик тока (ДТ), преобразователь давления (ПД), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), преобразователь интерфейсов RS-485/USB (ПИ) и персональный компьютер (ПК).

Системой управления имеется возможность реализации различных вариантов вынужденных и автоколебаний с управлением работой ЦЛАД по времени и частоте включений, скорости и положению плунжера.

Для уменьшения количества элементов в системе управления предлагается применить программируемое реле с поддержкой аналоговых сигналов для локальных систем ОВЕН ПР114, имеющая 4 аналоговых входов и до 8 дискретных выходов, позволяющая управлять так же твердотельными реле.

Переключение от трехфазного режима на двухфазное происходит с использованием твердотельных реле серии KIPPRIBOR HDH-xx44.ZD3 (рисунок 4.4), рассчитанные для включения/выключения нагрузок большой мощности в одно- и трехфазных цепях.



Рисунок 4.4 Твердотельные реле KIPPRIBOR HDH-xx44.ZD3

Технические особенности твердотельных реле серии KIPPRIBOR HDH-xx44.ZD3 [87]:

- включение/выключение до 90 А резистивной нагрузки
- включение/выключение до 12 А индуктивной нагрузки
- максимально допустимый ток нагрузки до 120 А;
- сигнал управления –напряжение 3-32 В;
- напряжение коммутации – 40-440 В переменного тока;
- допустимое (пиковое) напряжение – 900 В;
- переключение при нулевом напряжении, это позволяет обеспечить коммутацию цепи в тот момент, когда напряжение на ней переходит через ноль, а размыкание – при переходе через ноль тока, это позволяет уменьшить всплески тока при коммутации.

Для реализации режима переключения с трехфазного питания на двухфазное необходимо три ТТР.

Другие особенности твердотельных реле серии KIPPRIBOR HDH-xx44.ZD3 [87]:

1) Твердотельные реле данной серии ориентированы на коммутирование мощной нагрузки с большими токами. Большие токи вызывают значительное выделение тепла. В связи с этим в конструкции применяются особые технические решения, призванные обеспечить надежность твердотельных реле и увеличить эффективность отвода тепла от силовых ключей.

2) Использование в конструкции твердотельных реле особых силовых ключей – тиристоров SCR-типа (полупроводниковые элементы, произведенные напылением на керамическую основу).

3) Встроенная RC-цепочка, шунтирующая выход, который позволяет увеличить надежность работы в условиях импульсных помех, особенно при коммутации индуктивной нагрузки.

В твердотельном реле реализована коммутация с контролем перехода через ноль. При подаче управляющего сигнала на включение реле с контролем перехода через ноль, напряжение на его выходе подключается в момент

первого перехода через ноль. Это позволяет уменьшить бросок тока, уменьшить создаваемые электромагнитные помехи [87].

Для снятия зависимостей тока индуктора ЦЛАД и определения положения плунжера от времени экспериментальная установка СПН на базе ЦЛАД в приводе была оснащена следующим комплектом измерительного оборудования: датчик тока, датчик линейного перемещения, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), подключенный к персональному компьютеру.

Сигналы с датчиков регистрировались АЦП – многоканальным осциллографом ACUTE серии DS-1000 (модель DS-1102), с возможностью последующего экспорта всех данных на внешнюю память. АЦП предоставляет возможность регистрировать сигнал с датчиков в режиме реального времени на экране ПК, записывать и преобразовывать данные для последующей обработки. Основные характеристики ACUTE DS-1102.

Устройства серии DS-1000 представляют собой подключаемые через порт USB-2.0 к персональному компьютеру (ПК) или ноутбуку портативные цифровые запоминающие осциллографы (ЦЗО или DSO). Для работы АЦП на ПК необходимо установить специализированное программное обеспечение. Общий вид окна программы с указанием основных элементов которой представлен на рисунке 4.5.

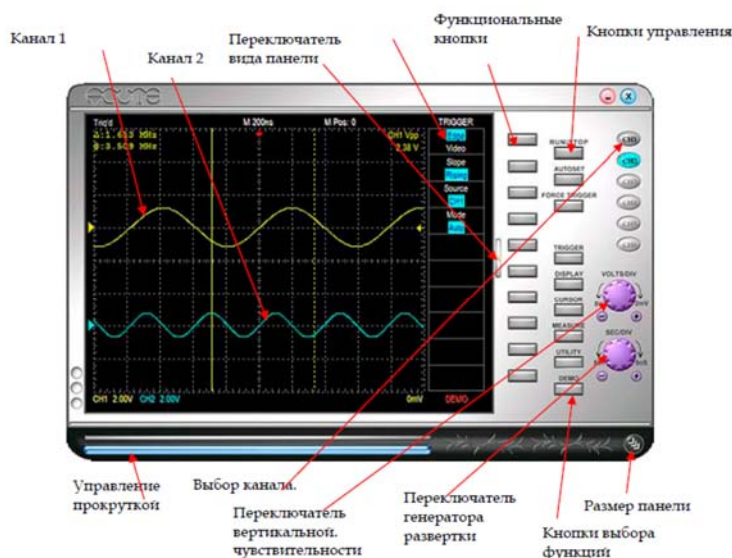


Рисунок 4.5 Вид окна программы

Для контроля тока используется датчики тока на основе эффекта Холла фирмы Honeywell CSLA1CF (рисунок 4.6) со следующими характеристиками:

- допустимый ток 100 А;
- чувствительность 29,7 мВ/А на виток (при 12 В напряжения питания);
- время отклика 3 мс;
- погрешность менее $\pm 1.5\%$;
- тип выхода - напряжение;
- рабочая температура $-25...85\text{ }^{\circ}\text{C}$.
-



Рисунок 4.6 Датчик тока Honeywell CSLA1CF

Определение положения плунжера производилось с помощью потенциометрического датчика линейного положения «Gefran» LT-M-0500-s со следующими характеристиками:

- электрический ход 500 мм;
- механический ход 518 мм;
- погрешность менее $\pm 0,05\%$;
- повторяемость 0,01 мм;
- скорость перемещения до 10 м/с;
- рабочая температура $-30...+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Датчик монтируется непосредственно на корпус ЦЛАД 1 (рисунок 4.7), а подвижный шток 2 закрепляется с помощью резьбового соединения с плунжером 3.

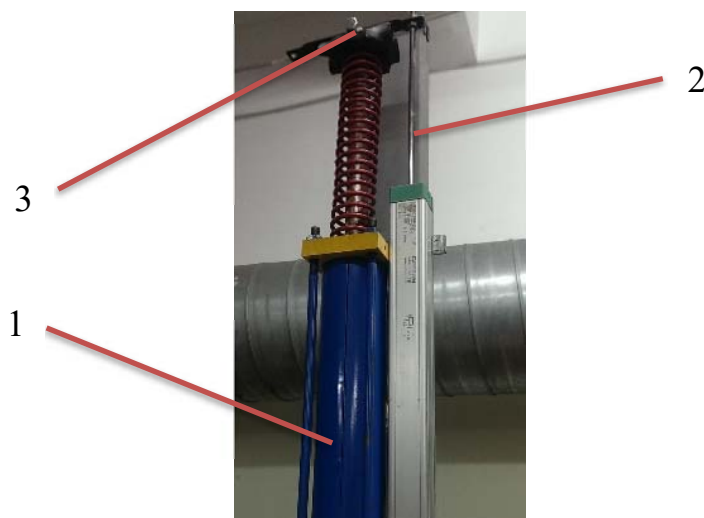


Рисунок 4.7 Датчик линейного положения LT-M-0500-s

Принцип работы датчика линейного положения основан на изменении значения сопротивления переменного резистора, зависящего от позиции штока. На выходных контактах датчика линейного положения измеряется напряжение. Максимальное измеряемое перемещение выбранным датчиком линейного положения составляет 500 мм. Предельное положение соответствует напряжению 10 В на выходных контактах датчика.

При подключении питания СПН плунжер начинает возвратно-поступательное движение с переменным ускорением. На выходных контактах датчика линейного положения можно фиксировать напряжение, пропорциональную положению плунжера. Полученные данные фиксируются АЦП и записываются во внутреннюю память. Конвертацию полученных данных в соответствующие им зависимости перемещения, скорости и ускорения плунжера производится аналогично определению тока индуктора ЦЛАД в подразделе 4.3.

4.3 Методика измерений и снятие экспериментальных зависимостей тока индуктора ЦЛАД и положения плунжера от времени

Основными параметрами, характеризующими работу ЦЛАД, приняты ток индуктора ЦЛАД и положение плунжера.

4.3.1 Определение тока индуктора ЦЛАД

При фиксации значения тока фазный провод питания индуктора ЦЛАД пропускают через татчик (для увеличения сигнала производят несколько витков), для питания датчика подается постоянное напряжение 12 В. При включении ЦЛАД выходной сигнал подается на вход многоканального осциллографа и отображается на экране компьютера в окне виртуального осциллографа. Этот входящий сигнал экспортируется на жесткий диск компьютера. Для конвертации в действующие значения тока надо определить переводной коэффициент между напряжением датчика и реальным током.

Для этого измеряется амперметром ток ЦЛАД и напряжение на датчике. Так как характеристика датчика известна (предоставляется в паспорте), то напряжение пересчитывается в реальные значения тока ЦЛАД.

На рисунках 4.8 представлены сигнал напряжения, поступающий на осциллограф с датчика тока и ток индуктора ЦЛАД (рисунок 4.9).

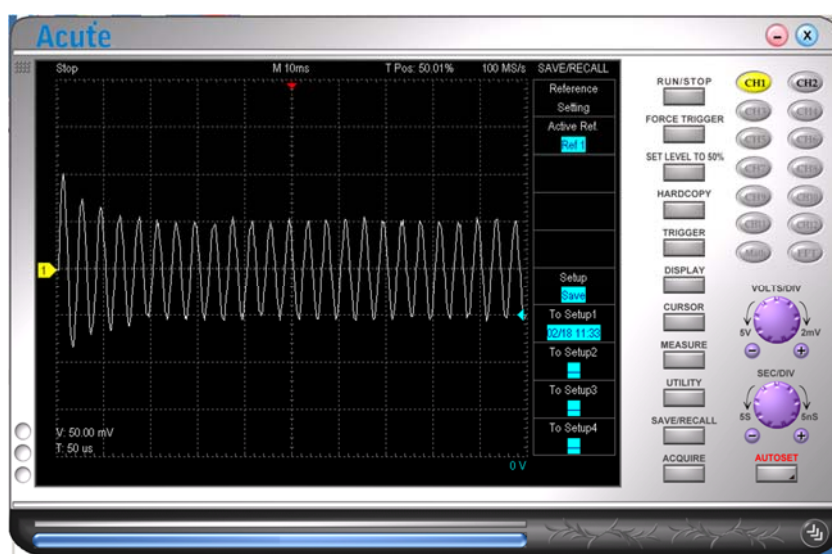


Рисунок 4.8 Сигнал, поступающий на осциллограф с датчика тока

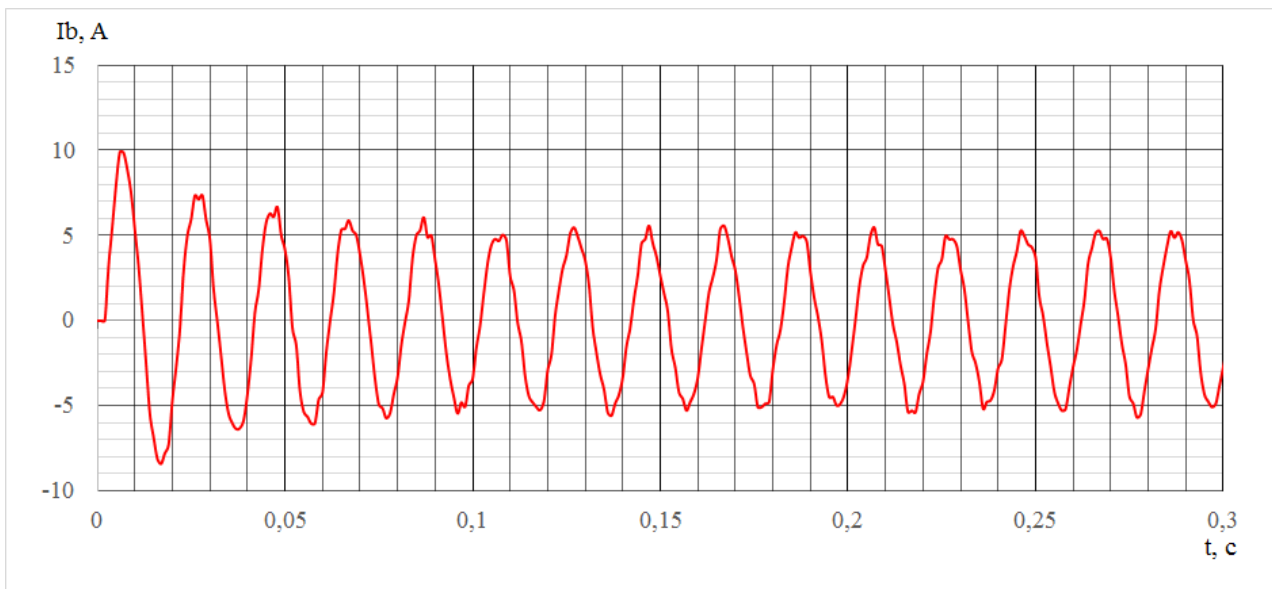


Рисунок 4.9 Ток индуктора ЦЛАД

4.3.2 Определение положения плунжера

Фиксация выходного напряжения датчика линейного положения, соответствующая положению плунжера, подается на вход осциллографа и записывается на жесткий диск компьютера. Определение перемещения производится аналогично определению тока индуктора ЦЛАД путем конвертирования записанного сигнала напряжения в положение плунжера в программе Microsoft Excel.

Вид полученного сигнала, поступающего с датчика на экран виртуального осциллографа представлена на рисунке 4.10. После обработки и конвертации полученный в реальных единицах (в миллиметрах) измерения можно увидеть на рисунке 4.112.

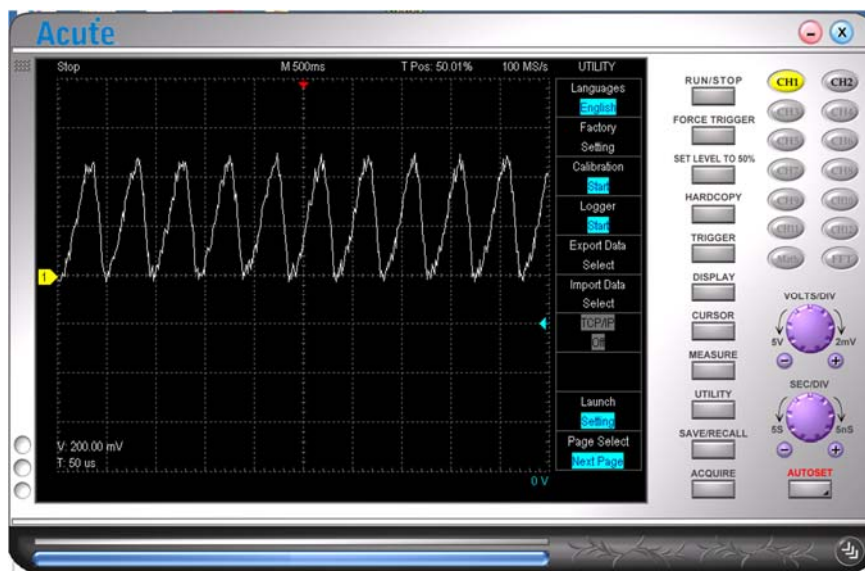


Рисунок 4.10 Выходное напряжение с датчика линейного положения

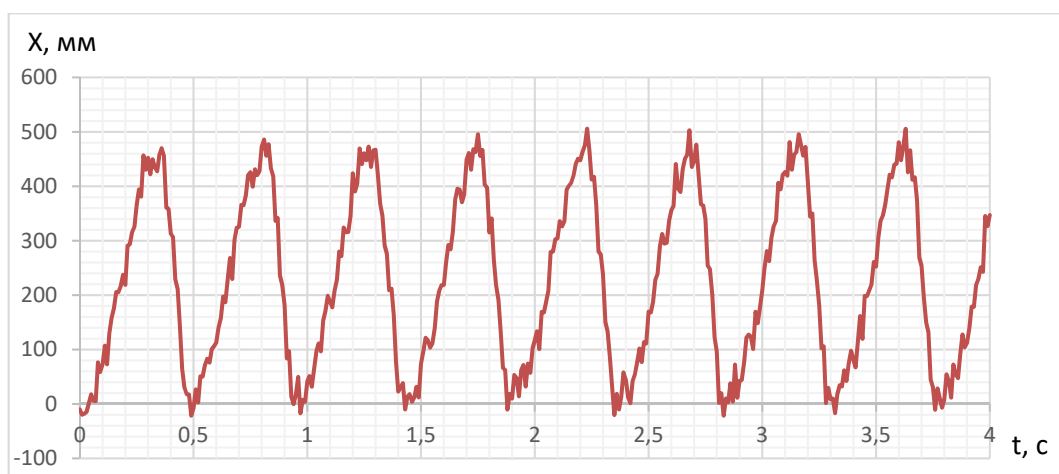


Рисунок 4.11 Положение плунжера

Полученный график дает возможность определить амплитуду и частоту колебаний плунжера и, соответственно, производительность СПН.

4.3.3 Определение КПД насосной установки

Общий КПД выражает, какая доля потребляемой насосом мощность преобразуется в полезную мощность.

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{эд}}}$$

Полезную мощность можно определить по формуле:

$$N = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H;$$

где Q – производительность, м³/ч;

ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – напор, м.

В ходе проведения эксперимента производительность определялась потребляемая мощность - трёхфазным, многофункциональный счетчиком электрической энергии Меркурий 236 ART (класс точности 0,5S), также позволяющим измерить напряжение, ток, частоту, $\cos \varphi$ и т.д. и записывать в память.

4.4 Математическая обработка результатов экспериментов

Главной целью эксперимента является определение качественной и количественной связи между исследуемыми параметрами.

Для установления вероятностной погрешности физических измерений, выполненных в п. 4.3 произведена математическая обработка результатов измерения положения плунжера согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений» и МИ 1317-04 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

В таблице 4.1 представлены выборочные значения измеренного значения положения плунжера.

Таблица 4.1 Выборочные значения измеренного положения плунжера

| № | номер измерения, n | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Х ₁ | 1,5 | 1,8 | 1,2 | 2,0 | 1,6 | 2,5 | 1,6 | 1,9 | 2,5 | 2,1 | 2,6 | 2,2 |
| Х ₂ | 23,0 | 27,4 | 26,8 | 26,9 | 28,9 | 23,9 | 26,3 | 25,9 | 26,2 | 27,1 | 25,3 | 24,8 |
| Х ₃ | 73,3 | 69,4 | 70,9 | 70,0 | 74,8 | 72,3 | 70,4 | 71,8 | 71,2 | 72,3 | 73,3 | 73,1 |
| Х ₄ | 138,2 | 140,3 | 136,3 | 137,2 | 137,6 | 138,2 | 136,8 | 136,7 | 140,1 | 137,9 | 137,0 | 139,5 |
| Х ₅ | 215,2 | 211,9 | 216,9 | 217,9 | 215,5 | 216,4 | 217,2 | 215,3 | 214,1 | 215,2 | 218,3 | 215,2 |
| Х ₆ | 303,9 | 302,6 | 303,3 | 303,2 | 301,6 | 301,0 | 302,8 | 302,3 | 306,4 | 302,8 | 305,5 | 305,5 |
| Х ₇ | 384,7 | 385,5 | 385,4 | 385,8 | 385,1 | 386,1 | 386,8 | 382,8 | 387,2 | 384,9 | 385,1 | 384,5 |
| Х ₈ | 442,8 | 442,2 | 443,5 | 443,3 | 442,8 | 441,8 | 442,7 | 442,7 | 443,0 | 442,4 | 442,5 | 442,6 |
| Х ₉ | 470,7 | 465,9 | 466,6 | 468,7 | 466,8 | 467,4 | 465,8 | 467,8 | 466,4 | 467,3 | 470,7 | 465,5 |
| Х ₁₀ | 404,0 | 402,5 | 401,6 | 402,9 | 403,7 | 400,7 | 401,1 | 401,2 | 400,0 | 399,9 | 402,2 | 402,5 |
| Х ₁₁ | 223,6 | 221,8 | 217,5 | 220,0 | 218,7 | 216,8 | 222,1 | 217,6 | 219,1 | 218,6 | 221,1 | 219,3 |
| Х ₁₂ | 28,3 | 27,7 | 31,8 | 30,3 | 30,3 | 30,0 | 31,3 | 29,6 | 31,6 | 31,5 | 33,4 | 28,3 |
| Х ₁₃ | 12,7 | 11,6 | 10,5 | 12,6 | 12,2 | 12,4 | 10,2 | 12,5 | 12,9 | 11,1 | 11,3 | 11,6 |

Среднее арифметическое результатов измерений (\bar{x}) в каждом ряду ($\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4$) определяем по формуле:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i . \quad (4.1)$$

$$\bar{X}_1 = \frac{1,5 + 1,8 + 1,2 + 2,0 + 1,6 + 2,5 + 1,6 + 1,9 + 2,5 + 2,1 + 2,6 + 2,2}{12} = 1,96 \text{ мм.}$$

Расчеты по остальным рядам в данном и в последующих вычислениях сведем в таблицу 4.2.

Среднеквадратические отклонения измерения определяются по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} . \quad (4.2)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{(1,5 - 1,96)^2 + (1,8 - 1,96)^2 + (1,2 - 1,96)^2 + (2,0 - 1,96)^2 + (1,6 - 1,96)^2 + (2,5 - 1,96)^2 + (1,6 - 1,96)^2 + (1,9 - 1,96)^2 + (2,5 - 1,96)^2 + (2,1 - 1,96)^2 + (2,6 - 1,96)^2 + (2,2 - 1,96)^2}{12 - 1}} = 0,442 \text{ мм.}$$

Необходимо проверить результаты наблюдений на наличие промахов, так как $n < 20$, целесообразно применить критерий Романовского.

$$X_{1min} = 1,2 \text{ мм}; X_{1max} = 2,6 \text{ мм}.$$

$$X_{2min} = 23,0 \text{ мм}; X_{2max} = 28,9 \text{ мм}.$$

$$X_{3min} = 69,4 \text{ мм}; X_{3max} = 74,8 \text{ мм}.$$

$$X_{4min} = 136,3 \text{ мм}; X_{4max} = 140,3 \text{ мм}.$$

$$X_{5min} = 211,9 \text{ мм}; X_{5max} = 218,3 \text{ мм}.$$

$$X_{6min} = 301,0 \text{ мм}; X_{6max} = 306,4 \text{ мм}.$$

$$X_{7min} = 382,8 \text{ мм}; X_{7max} = 387,2 \text{ мм}.$$

$$X_{8min} = 441,8 \text{ мм}; X_{8max} = 443,5 \text{ мм}.$$

$$X_{9min} = 465,5 \text{ мм}; X_{9max} = 470,7 \text{ мм}.$$

$$X_{10min} = 399,9 \text{ мм}; X_{10max} = 404,0 \text{ мм}.$$

$$X_{11min} = 216,8 \text{ мм}; X_{11max} = 223,6 \text{ мм}.$$

$$X_{12min} = 27,7 \text{ мм}; X_{12max} = 33,4 \text{ мм}.$$

$$X_{13min} = 10,2 \text{ мм}; X_{13max} = 12,9 \text{ мм}.$$

Таблица 4.2 Обработка результатов эксперимента

| Положение | \bar{X} | σ | Xmin | Xmax | Vmin | Vmax | σ_x | x_H | $\Delta_{\text{сист}}$ | $\frac{\Delta_{\text{сист}}}{\sigma_x}$ | S_{Σ} | Δ_c | $\dot{\Delta}$ | K_{Σ} | $\Delta_{\Sigma 1}$ | X | δx |
|-----------|-----------|----------|-------|-------|------|------|------------|-------|------------------------|---|--------------|------------|----------------|--------------|---------------------|--------------|------------|
| X1 | 1,96 | 0,442 | 1,2 | 2,6 | 1,72 | 1,45 | 0,128 | 2,1 | -0,14 | -1,1 | 0,151 | -0,154 | 0,282 | 1,0 | 0,15 | 1,96 ±0,15 | 7,7 |
| X2 | 26,04 | 1,609 | 23 | 28,9 | 1,89 | 1,78 | 0,464 | 25,7 | 0,34 | 0,7 | 0,504 | 0,374 | 1,021 | 2,8 | 1,41 | 26,04 ±1,41 | 5,4 |
| X3 | 71,90 | 1,587 | 69,4 | 74,8 | 1,58 | 1,83 | 0,458 | 72,3 | -0,4 | -0,9 | 0,513 | -0,44 | 1,008 | 1,1 | 0,56 | 71,9 ±0,56 | 0,8 |
| X4 | 137,98 | 1,344 | 136,3 | 140,3 | 1,25 | 1,73 | 0,388 | 137,5 | 0,48 | 1,2 | 0,477 | 0,528 | 0,854 | 3,0 | 1,43 | 137,98 ±1,43 | 1,0 |
| X5 | 215,76 | 1,750 | 211,9 | 218,3 | 2,21 | 1,45 | 0,505 | 216 | -0,24 | -0,5 | 0,524 | -0,264 | 1,112 | 1,6 | 0,84 | 215,76 ±0,84 | 0,4 |
| X6 | 303,41 | 1,643 | 301 | 306,4 | 1,47 | 1,82 | 0,474 | 303,4 | 0,01 | 0,0 | 0,474 | 0,011 | 1,043 | 2,2 | 1,04 | 303,41 ±1,04 | 0,3 |
| X7 | 385,33 | 1,139 | 382,8 | 387,2 | 2,22 | 1,64 | 0,329 | 384,1 | 1,23 | 3,7 | 0,783 | 1,353 | 0,724 | 2,5 | 1,96 | 385,33 ±1,96 | 0,5 |
| X8 | 442,69 | 0,458 | 441,8 | 443,5 | 1,94 | 1,77 | 0,132 | 442,3 | 0,39 | 3,0 | 0,261 | 0,429 | 0,291 | 3,9 | 1,02 | 442,69 ±1,02 | 0,2 |
| X9 | 467,47 | 1,758 | 465,5 | 470,7 | 1,12 | 1,84 | 0,507 | 467,7 | -0,23 | -0,5 | 0,524 | -0,253 | 1,116 | 1,6 | 0,84 | 467,47 ±0,84 | 0,2 |
| X10 | 401,86 | 1,339 | 399,9 | 404 | 1,46 | 1,60 | 0,387 | 401,2 | 0,66 | 1,7 | 0,543 | 0,726 | 0,852 | 3,0 | 1,63 | 401,86 ±1,63 | 0,4 |
| X11 | 219,68 | 2,085 | 216,8 | 223,6 | 1,38 | 1,88 | 0,602 | 219,3 | 0,38 | 0,6 | 0,641 | 0,418 | 1,325 | 2,7 | 1,73 | 219,68 ±1,73 | 0,8 |
| X12 | 30,34 | 1,687 | 27,7 | 33,4 | 1,56 | 1,81 | 0,487 | 30,4 | -0,06 | -0,1 | 0,488 | -0,066 | 1,072 | 2,1 | 1,02 | 30,34 ±1,02 | 3,4 |
| X13 | 11,80 | 0,891 | 10,2 | 12,9 | 1,80 | 1,23 | 0,257 | 11,8 | 0,0 | 0,0 | 0,257 | 0,0 | 0,566 | 2,2 | 0,57 | 11,8 ±0,57 | 4,8 |

Вычисление коэффициентов V_{\min} и V_{\max} :

$$V_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{\sigma}, V_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{\sigma}, \quad (4.3)$$

где x_{\min} – минимальное значение положения в ряду, мм;

x_{\max} – максимальное значение положения в ряду, мм

$$V_{\min 1} = \frac{1,96 - 1,2}{0,442} = 1,72.$$

$$V_{\max 1} = \frac{2,6 - 1,96}{0,442} = 1,45.$$

При доверительной вероятности $P_{\text{дов}}=0,95$ уровень значимости:

$$\alpha = 1 - P_{\text{дов}} = 1 - 0,95 = 0,05.$$

Уровень значимости теоретический $\beta=2,52$ (при $n=12$) [43, 86].

Для определения промахов измерения необходимо сравнить с β . При этом должны выполняться условия:

$$V_{\min} < \beta, V_{\max} < \beta. \quad (4.4)$$

Значения коэффициентов V_{\min} и V_{\max} по всем тринадцати рядам меньше коэффициента уровня значимости $\beta=2,52$, следовательно, все измерения (ни минимальные, ни максимальные) нельзя отнести к промахам.

Вычисление среднеквадратического отклонения результатов наблюдений вычисляется по формуле:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (4.5)$$

$$\sigma_{x_1} = \frac{0,442}{\sqrt{12}} = 0,128 \text{ мм.}$$

Область не исключённой систематической погрешности результата наблюдений определяются по следующему выражению:

$$\Delta_{\text{сист}} = \bar{x} - x_{\text{н}}, \quad (4.6)$$

где \bar{x} – это среднее значение положения плунжера, мм;

$x_{\text{н}}$ – номинальное значение положения плунжера, взятое из зависимостей, выявленных путем математических расчетов, мм.

$$\Delta_{x_1 \text{сист}} = 1,96 - 2,1 = -0,14 \text{ мм.}$$

Неисключённая систематические погрешности (НСП) (кратко - неисключенная погрешность) считается как реализация случайной величины, обладающая равномерное распределение.

Каждая неисключенная погрешность имеет свою границу $\Delta_{\text{сист}}$. Если значения значительно различаются друг от друга, то меньшие из них следует не учитывать, а оставшиеся просуммировать с учетом вероятностного коэффициента K по следующему выражению:

$$\Delta_c = K \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{сист}i}^2}, \quad (4.7)$$

где K – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом составляющих НСП (при $P=0,95$ $K=1,1$ при любом значении n).

$\Delta_{\text{сист}i}$ – область i -й неисключенной погрешности;

n – число составляющих неисключённой систематической погрешности;

K – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом составляющих неисключённой систематической погрешности (при $P_{\text{дов}}=0,95$ $K=1,1$ при любом значении n).

Поскольку отношение $\frac{\Delta_{\text{сист}}}{\sigma_x} < 8$ по всем рядам измерений, общая погрешность определяется по следующей формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = K_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}, \quad (4.8)$$

где K_{Σ} – коэффициент распределения композиции случайной и НСП результата косвенных измерений при $P_{\text{дов}}=0,95$;

S_{Σ} – оценка суммарного среднего квадратического отклонения композиции указанных законов распределения.

Формулу можно использовать в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения», при условии, что НСП аргументов измерений распределены по равномерному закону, а случайные погрешности по нормальному закону.

Коэффициент распределения K_{Σ} вычисляют по следующему выражению:

$$K_{\Sigma} = \frac{\dot{\Delta} + \Delta_c}{\sigma_x + \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{сист}i}^2}}. \quad (4.9)$$

Определение суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения определяется по выражению:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{сист}i}^2 + \sigma_x^2}. \quad (4.10)$$

$$\Delta_c = \Delta_{\text{сист}} \cdot K.$$

$$\dot{\Delta} = \sigma_x \cdot t_p.$$

$$\delta x = \pm \frac{\Delta_{\Sigma}}{\bar{x}}$$

Значение коэффициента распределения Стьюдента при доверительной вероятности $P_{\text{дов}} = 0,95$ и числе степеней свободы $n-1=11$ принимается $t = 2.201$ [43].

$$S_{\Sigma 1} = \sqrt{\left(\frac{1}{3} \cdot 0,14^2 + 0,128^2\right)} = 0,151.$$

$$\Delta_{c1} = -0,14 \cdot 1,1 = -0,154.$$

$$\dot{\Delta}_1 = 0,128 \cdot 2.201 = 0,282.$$

$$K_{\Sigma} = \frac{0,282 - 0,154}{0,128 + \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 0,14^2}} = 1,0.$$

$$\Delta_{\Sigma 1} = 1,0 \cdot 0,151 = 0,15 \text{ мм.}$$

$$X_1 = (1,96 \pm 0,15) \text{ мм, } P_{\text{дов}} = 0,95.$$

$$\delta x = \pm \frac{\Delta_{\Sigma}}{\bar{x}} = \pm \frac{0,15}{1,96} = \pm 7,7 \text{ \%}.$$

Все расчеты сведены в таблицу 4.2. Анализ результатов измерений положения плунжера показал, что относительная погрешность измерений не превышает $\pm 7,7 \text{ \%}$.

Аналогично произведённый анализ результатов измерений тока ЦЛАД плунжера (приложение В) показал, что относительная погрешность измерений не превышает $\pm 12,5\%$ (приложение Д).

4.5 Исследование процессов нагрева и охлаждения ЦЛАД

При электромеханическом преобразовании энергии ее часть всегда переходит в тепловую. Эта разница между затраченной и полезной энергией в электрической машине называется потерями. Наиболее уязвимым элементом ЦЛАД с точки зрения перегрева является изоляция обмоток.

Используемые в конструкции электродвигателей электроизоляционные материалы в результате нагрева постепенно теряют свои свойства: ухудшаются электрическая изоляция и механическая прочность. Динамика ухудшения параметров в главной степени зависит от рабочей температуры изоляции [62, 63].

ГОСТ 8865-93 (МЭК 85-84) «Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация» устанавливает систему классификации электроизоляции электротехнических изделий по нагревостойкости и характерные для них предельные температуры: Y – 90; A – 105; E – 120; B – 130; F – 155; H – 180; C – более 180 °C.

Исследование процесса нагрева производят для установливания абсолютной или превышения температуры частей ЦЛАД относительно температуры охлаждающей среды при номинальной нагрузке СПН.

Измерение температуры частей ЦЛАД в процессе испытания может производиться следующими методами:

- метод термометра;
- метод встраиваемых и заложенных термопреобразователей;
- метод сопротивления;

Метод термометра представляет собой преимущественно общий методом определения температуры в электродвигателях, по этому методу

можно определить температуру любой доступной части электродвигателя простым прикладыванием к поверхности этой части датчиков температуры.

Метод встраиваемых и заложенных термопреобразователей применяется для определения температуры неподвижных частей: обмоток и активной стали двигателя. Измерения могут проводиться во время испытаний, или же во время всей эксплуатации, для этого термопреобразователи устанавливаются при изготовлении электрического двигателя в места, которые после сборки могут стать недоступными и в те места, где ожидается самая высокая температура.

Метод сопротивления применяется для определения температуры изолированных обмоток, когда другие методы использовать не представляется возможным.

Испытание на нагрев проводится методом непосредственной нагрузки при номинальном напряжении и номинальной отдаваемой мощности и номинальном токе по ГОСТ 11828-86 Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний [63].

Метод сопротивления из всех названных получил больше всего применения, так как является преимущественно простым и дает возможность с достаточной точностью определить среднюю температуру проводников обмотки. Для построения кривой нагрева воспользуемся именно этим методом. Для подтверждения достоверности полученных результатов так же установим термопару в индуктор ЦЛАД.

Измерение температуры данным методом осуществляется на особенности изменять сопротивление проводника при изменении его температуры, по следующему закону:

$$r_n = r_x \cdot [1 + \alpha(t_n - t_x)], \quad (4.11)$$

где r_n - сопротивление обмотки в нагретом состоянии, Ом;

t_n - температуре нагрева, °С;

r_x, t_x - сопротивление обмотки в первоначальном состоянии ЦЛАД, Ом;

t_x - температура окружающей среды, °С;

α - температурный коэффициент (для меди $\alpha = \frac{1}{235+t_x}$).

Рассчитаем выражении (4.11) подставив α для меди:

$$t_H = \frac{r_H - r_x}{r_x} \cdot (235 + t_x) + t_x. \quad (4.12)$$

Превышение температуры обмоток над температурой окружающей среды t_x будет определяться по формуле:

$$\tau = t_H - t_x = \frac{r_H - r_x}{r_x} \cdot (235 + t_x). \quad (4.13)$$

Данная формула (4.13) справедлива только при постоянной температуре окружающей среды (воды). Если температура воды во время эксперимента изменилась то в выражении (4.13) вводят поправку, имеющую следующий вид:

$$\tau = \frac{r_H - r_x}{r_x} \cdot (235 + t_x) + (t_x - t_B), \quad (4.14)$$

где t_B - температура окружающего воздуха в момент измерения сопротивления обмотки в нагретом состоянии.

Полученные в ходе эксперимента результаты представлены в таблице 4.3 при $r_x = 76$ Ом, $t_x = 12$ °С.

Таблица 4.3 Результаты измерений кривой нагрева ЦЛД СПН

| № | Время t, мин | r_H , Ом | t_H , С° | τ , с |
|----|--------------|------------|------------|------------|
| 0 | 0 | 56,00 | 12 | 0 |
| 1 | 2 | 61,55 | 36,5 | 24,5 |
| 2 | 4 | 64,18 | 48,1 | 36,1 |
| 3 | 6 | 65,50 | 53,9 | 41,9 |
| 4 | 8 | 67,04 | 60,7 | 48,7 |
| 5 | 10 | 68,22 | 65,9 | 53,9 |
| 6 | 15 | 71,12 | 78,7 | 66,7 |
| 7 | 20 | 72,57 | 85,1 | 73,1 |
| 8 | 25 | 73,84 | 90,7 | 78,7 |
| 9 | 30 | 74,32 | 92,8 | 80,8 |
| 10 | 35 | 74,34 | 92,9 | 80,9 |
| 11 | 40 | 74,34 | 92,9 | 80,9 |

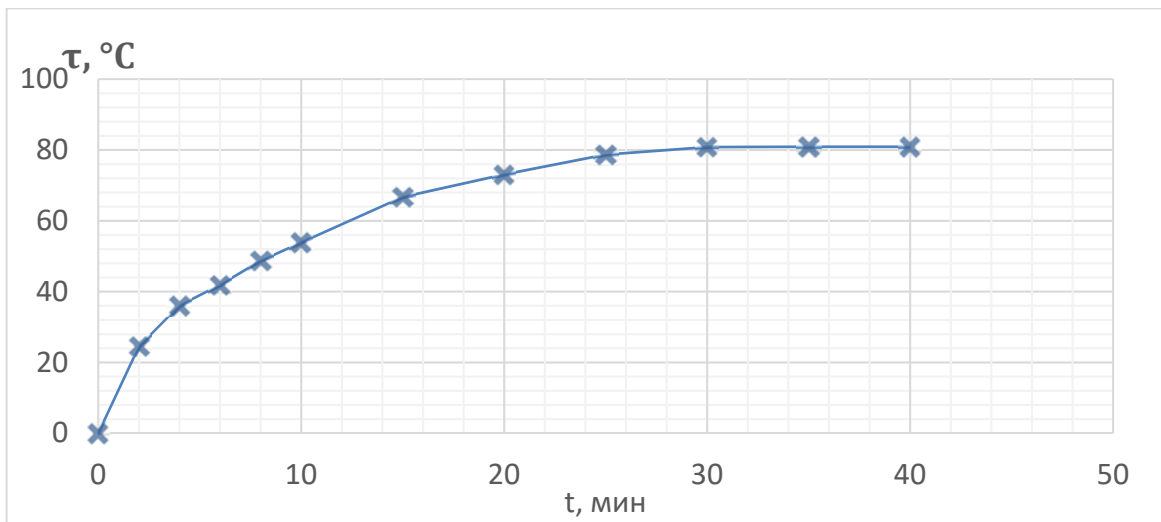


Рисунок 4.12 Кривая нагрева ЦЛАД СПН

Таблица 4.4 Результаты измерений кривой охлаждения ЦЛАД СПН

| № | Время t , мин | r_H , Ом | t_H , C° | τ , с |
|----|-----------------|------------|------------|------------|
| 0 | 0 | 74,39 | 93,1 | 81,1 |
| 1 | 2 | 68,29 | 66,2 | 54,2 |
| 2 | 4 | 65,27 | 52,9 | 40,9 |
| 3 | 6 | 63,69 | 45,9 | 33,9 |
| 4 | 8 | 62,08 | 38,8 | 26,8 |
| 5 | 10 | 60,38 | 31,3 | 19,3 |
| 6 | 15 | 57,79 | 19,9 | 7,9 |
| 7 | 20 | 56,70 | 15,1 | 3,1 |
| 8 | 25 | 56,41 | 13,8 | 1,8 |
| 9 | 30 | 56,36 | 13,6 | 1,6 |
| 10 | 35 | 56,32 | 13,4 | 1,4 |
| 11 | 40 | 56,29 | 13,3 | 1,3 |

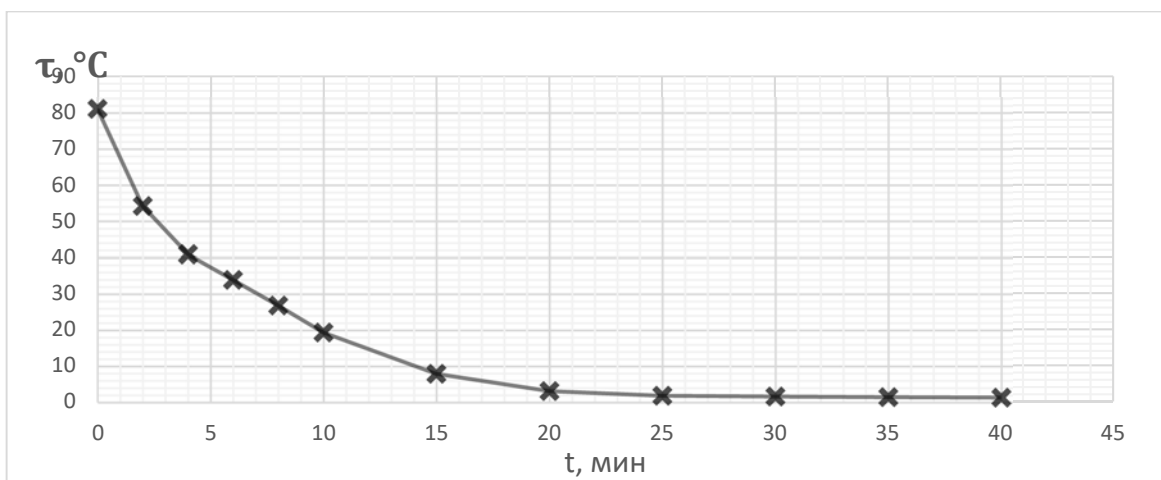


Рисунок 4.13 Кривая охлаждения ЦЛАД СПН

В ходе измерений выявлено, что температура обмоток ЦЛАД при температуре воды 12 °С не поднимались выше 93,1 °С, что не превышает допустимой температуры нагрева 155 °С (класс изоляции F). При соблюдении в процессе работы электрического двигателя температурного режима, срок службы двигателя не сократится.

4.6 Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

При оценке результатов проведенных экспериментов и результатов, полученных путем математического моделирования в среде Matlab - Simulink, на рисунках 4.14, 4.15, приведены зависимости тока индуктора ЦЛАД и координата положения плунжера X в зависимости от времени.

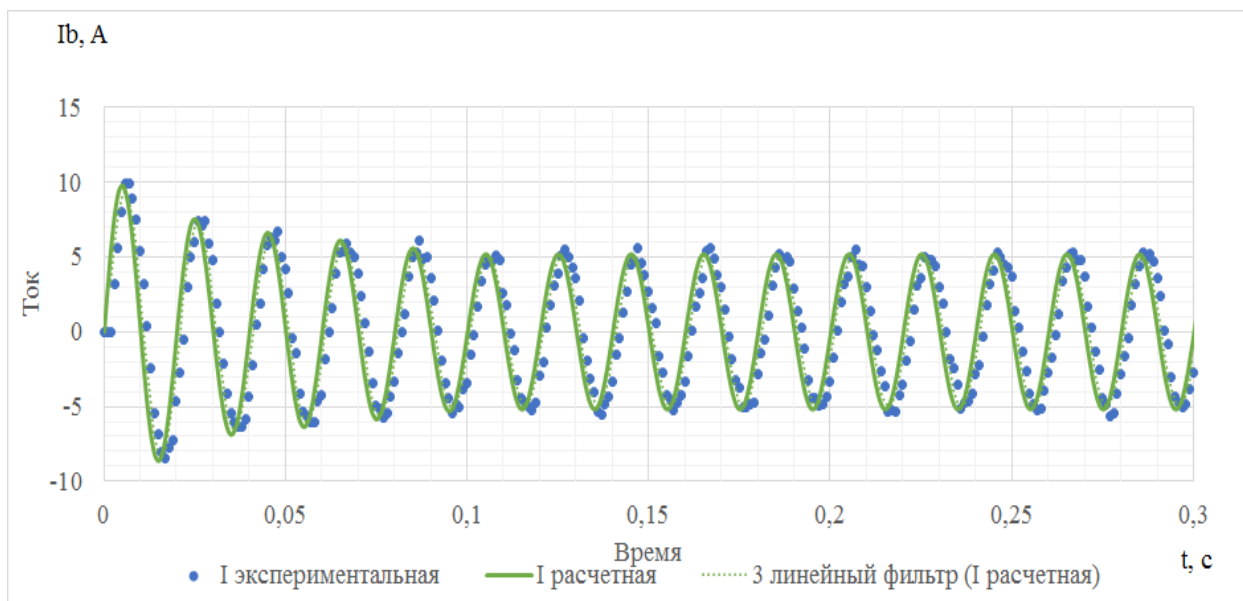


Рисунок 4.14 Временная зависимость потребляемого тока I_b индуктором ЦЛАД

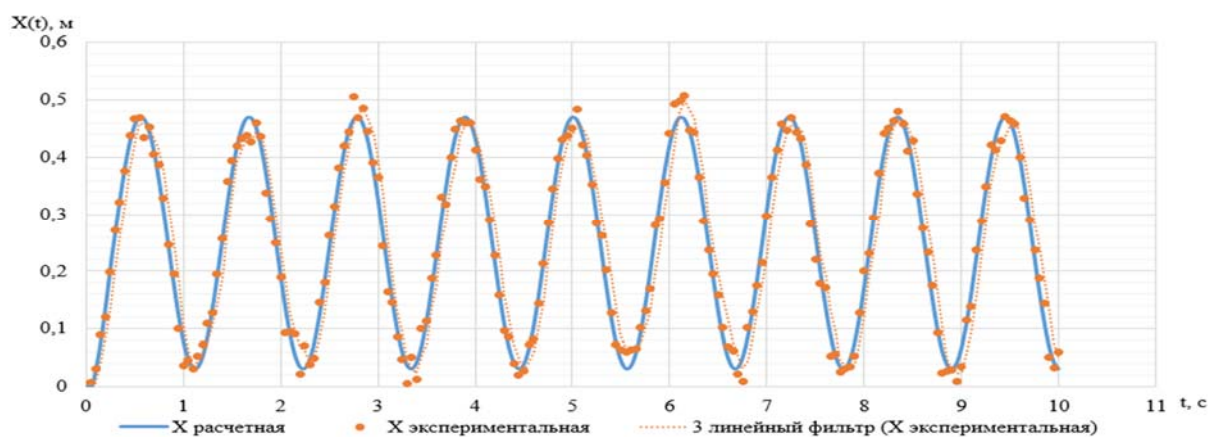


Рисунок 4.15 Временная зависимость координаты положения плунжера X

Исследование расчетной и экспериментальной зависимостей тока индуктора ЦЛАД доказывает то, что различие амплитуд пускового тока не превышает 0,91 А, что является 12,5 % (от 0 до 100 мс), а тока в установившемся режиме – 0,38 А, т.е. 7,6 % (от 100 до 300 мс). Сравнение результатов расчетной и экспериментальной зависимостей положения плунжера показала, что отличие не превышает 7,7 %.

На рисунке 4.16 и 4.17 представлена расчетная и экспериментальная рабочая характеристика исследуемого СПН и зависимость КПД от развиваемого напора соответственно (при $D_p=20$ мм).

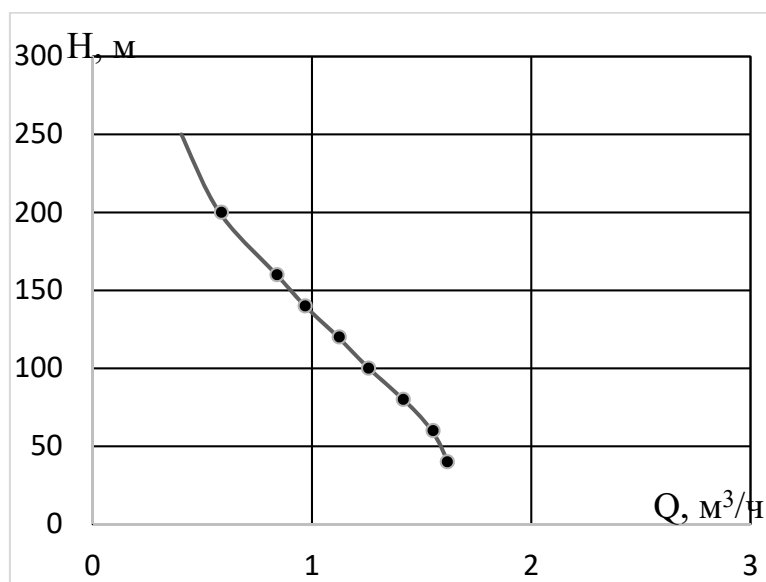


Рисунок 4.16 Расчетная и экспериментальная рабочая характеристика исследуемого СПН с линейным асинхронным электроприводом на базе

ЦЛАД

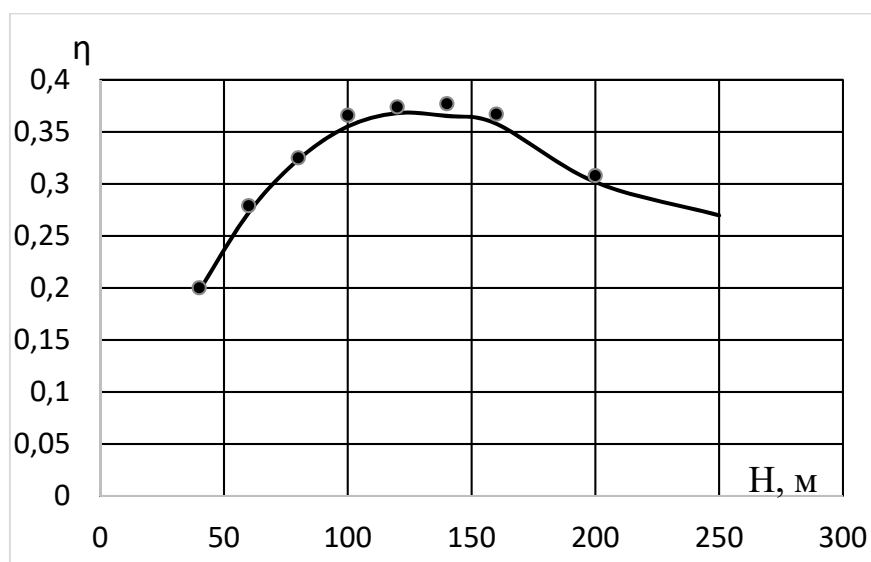


Рисунок 4.17 Зависимость КПД от развиваемого напора

Относительная погрешность измерения производительности не превышает $\pm 0,04$ %. Расхождение результатов, полученных теоретическим и экспериментальным путем, составило не более 6,8 %. Относительная погрешность измерения КПД не превышает $\pm 0,06$ %. Расхождение результатов, полученных теоретическим и экспериментальным путем, составило не более 9,6 %.

Экспериментальные исследования доказали основные теоретические выводы, и представили разнообразные возможности созданной экспериментальной установки. На установке можно проводить анализ параметров цилиндрического линейного асинхронного электропривода, плунжерного насоса с целью выбора наиболее оптимальных параметров. Это является основанием для использования установки как в учебном процессе, так и программе научно-исследовательской работы кафедры «Электрические машины и электрооборудование» Башкирского ГАУ.

Для практического применения необходимо обеспечить все виды защит: от короткого замыкания, перегрузки, токов утечки, обрыва фаз [99. 100]. При этом необходимо учитывать режим работы (перевод из трехфазного режима на двухфазный). Защита от короткого замыкания, перегрузки, токов утечки предлагается осуществить автоматическими выключателями

дифференциального тока. Защиту от обрыва фаз необходимо реализовать через систему управления на основе ПЛК с использованием датчиков тока по фазам и с контролем продолжительности отключения фазы.

Выводы по главе

1. Разработана экспериментальная установка СПН на базе ЦЛАД. Разработана методика экспериментального исследования привода СПН на базе ЦЛАД с применением современных программных и технических средств. Произведен выбор контрольно-измерительных приборов для выполнения измерений в соответствии с разработанной методикой. Проведены экспериментальные исследования, в результате которых получены значения тока ЦЛАД, механические параметры (ход и амплитуда движения плунжера, производительность), кривые нагрева и охлаждения ЦЛАД, КПД.

5. Установлено, что расхождение расчетных и экспериментальных данных по положению плунжера не превышает 7,7 %, тока – 12,5 %, производительности – 6,8 %, а КПД – 9,6 %, что дает право считать снятые полученные экспериментальные исследования с достаточной точностью соответствующими данным теоретических исследований, а разработанную математическую модель адекватно отражающей физические процессы и использовать ее в практических расчетах.

ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СПН

Разработка привода СПН на основе ЦЛАД в приводе с упругими накопителями механической энергии и реализацией периодического отключения одной фазы при трехфазном питании двигателя позволяет добиться уменьшения эксплуатационных затрат путем снижения потребления электроэнергии. Расчет проводится путем сравнительного анализа, проектируемого и базового вариантов, за базовый вариант принят центробежный насос ЭЦВ 4-2,5-120. Проведение сравнительного анализа осуществляется статистическим методом с определением срока окупаемости инвестиций без учета дисконтирования [29, 64] на примере мини-фермы агрофирмы ООО «У корно» на 500 голов крупного рогатого скота.

5.1 Общие сведения

Мини-ферма агрофирмы ООО «У корно», расположенная в Бирском районе республики Башкортостан, основное направление - мясное скотоводство. На ферме имеется 10 скотных дворов, с подведенным к ним трубопровода для водоснабжения. поголовье составляет 500 голов крупного рогатого скота. На одном скотном дворе содержатся животные в группах в среднем по 50 голов.

Информация по поголовью животных и необходимому количеству работников представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 поголовье животных и необходимое количество работников

| Вид животных | Кол-во, гол. | Голов на одного рабочего | Кол-во работников, чел. |
|-------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| Коровы | 150 | 50 | 3 |
| Молодняк на откорме КРС | 100 | | 2 |
| Ремонтный молодняк КРС | 45 | | 0,9 |
| Нетели | 60 | | 1,2 |
| Телята | 145 | | 2,9 |
| Всего | 500 | — | 10 |

Технология содержания мясного скота на ферме состоит из трех технологических периодов:

- содержание коров с телятами;
- доращивание молодняка;
- откорм.

Поение животных при свободном содержании проводится из общей автопоилки, оснащенной поплавковым клапаном, который сохраняет заданный уровень воды в поилке.

5.2 Расчет водоснабжения и поения животных

Определим среднесуточный расход воды:

$$Q_{cc} = \sum_{i=1}^n q_i m_i, \quad (5.1)$$

где q_i – среднесуточный расход воды одним потребителем, л/сут.;

m_i – количество потребителей каждого вида.

$$Q_{cc} = 150 \cdot 80 + 145 \cdot 20 + 60 \cdot 50 + 45 \cdot 30 + 100 \cdot 30 + 10 \cdot 25 = 12000 + 2900 + 3000 + 1350 + 3000 + 250 = 22500 \text{ л/сут.}$$

Годовой объем потребления воды:

$$Q_e = 365 \cdot Q_{cc} = 365 \cdot 22500 = 8212,5 \text{ тыс. л.} = 8212,5 \text{ м}^3.$$

Определим максимальный суточный расход воды:

$$Q_{mc} = Q_{cc}K_1, \quad (5.2)$$

где K_1 – коэффициент суточной неравномерности потребления воды $K_1 = 1,3$.

$$Q_{mc} = 22500 * 1,3 = 29250 \text{ л/сут} = 29,3 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Максимальный часовой расход воды рассчитывается по формуле:

$$Q_{mr} = \frac{Q_{mc}K_r}{24},$$

где Q_{mc} – максимальный суточный расход воды;

K_r – коэффициент часовой неравномерности расхода воды $K_r = 0,5$;

$$Q_{mr} = \frac{29250 * 0,5}{24} = 609,4 \text{ л} = 0,61 \text{ м}^3.$$

5.3 Расчет экономической эффективности от использования СПН на базе ЦЛАД

Данные для расчета экономической эффективности внедрения привода СПН на базе ЦЛАД представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Исходные данные для расчета экономической эффективности

| Показатели | Варианты | |
|--|---------------|--|
| | ЭЦВ 4-2,5 120 | ЦЛАД с предлагаемым приводом (проектный) |
| Годовой объем потребления воды, м ³ | 8212,5 | 8212,5 |
| Высота подъема воды, м | 100 | 100 |
| Мощность при требуемом напоре, кВт | 2,8 | 1,7 |
| Производительность, м ³ /ч | 1,9 | 1,51 |
| Время работы за 1 год, ч | 4322,37 | 5438,74 |

Определим капитальные вложения при модернизации насосного оборудования:

$$K_{\text{пр}} = C_{\text{об}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{м}} + P_{\text{р}}, \quad (5.3)$$

где: $K_{\text{пр}}$ - капитальные вложения при модернизации насосного оборудования, руб.;

$C_{\text{об}}$ - стоимость оборудования модернизации, руб.;

$C_{\text{тр}}$ - транспортные расходы при доставке оборудования, руб.;

$C_{\text{м}}$ - расходы на монтажные работы и материалы, руб.;

$P_{\text{р}}$ - прочие расходы, руб.

Стоимость оборудования для модернизации насосного оборудования представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Стоимость оборудования для модернизации, руб.

| Оборудование | Варианты | |
|--------------------|---------------|--|
| | ЭЦВ 4-2,5 120 | ЦЛАД с предлагаемым приводом (проектный) |
| ЭЦВ 4-2,5 120 | 25 520,00 | - |
| СПН на базе ЦЛАД | - | 22 600,00 |
| Система управления | 7 386,00 | 24 300,00 |
| Итого | 32 906,00 | 46 900,00 |

Определим затраты на транспортировку (примем 14 % от стоимости оборудования):

$$C_{\text{тр}} = \frac{46\,900,00 \cdot 14}{100} = 6566,00 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ и материалов для модернизации примем 19 % от стоимости оборудования:

$$C_{\text{м}} = \frac{46\,900,00 \cdot 19}{100} = 8911,00 \text{ руб.}$$

Прочие расходы составляют 1,5 % от стоимости оборудования:

$$P_p = \frac{46\,900,00 \cdot 1,5}{100} = 703,50 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения для модернизации при проектируемом варианте:

$$K_{\text{пр}} = 46\,900,00 + 6566,00 + 8911,00 + 703,50 = 63080,50 \text{ руб.}$$

Рассчитаем годовой расход электрической энергии, кВт·ч/год:

$$Q = P \cdot t, \quad (5.4)$$

где P – установленная мощность оборудования, кВт;

t - время работы установки за 1 год, ч.

Рассчитаем годовые эксплуатационные затраты:

$$\text{ЭЗ} = A + \text{ТО} + \text{ТР} + \text{Э} \quad (5.5)$$

где A - издержки на амортизацию, руб.;

ТО и ТР - издержки на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования, руб.;

Э – годовые затраты на электрическую энергию, руб.

Полученные результаты расчетов сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 Определение затрат на модернизацию

| Показатели | Варианты | |
|---|---------------|--|
| | ЭЦВ 4-2,5 120 | ЦЛАД с предлагаемым приводом (проектный) |
| Стоимость оборудования, руб. | 32 906,00 | 46 900,00 |
| Затраты на транспортировку, руб. | 4 606,84 | 6 566,00 |
| Стоимость монтажных работ и материалов, руб. | 6 252,14 | 8 911,00 |
| Прочие расходы, руб. | 493,59 | 703,50 |
| Капитальные вложения, руб. | 44 258,57 | 63 080,50 |
| Производительность, м ³ /ч | 1,90 | 1,51 |
| Время работы за 1 год, ч | 4 322,37 | 5 438,74 |
| Тариф на оплату электроэнергии, руб./кВт·ч | 3,7 | 3,7 |
| Годовое потребление электроэнергии в год, кВт·ч | 12102,64 | 9245,86 |

Амортизационные издержки принимаем равными 14 % от капитальных вложений. Издержки на ТО и ТР принимаем равными 18 % от капитальных вложений.

Определим издержки проектируемого варианта:

$$A = \frac{63\,080,50 \cdot 14}{100} = 8831,27 \text{ руб.}$$

$$T_{\text{ОиТР}} = \frac{63\,080,5 \cdot 18}{100} = 11354,49 \text{ руб.}$$

Определим траты на электроэнергию за 1 год:

$$\mathcal{E} = Q \cdot \beta_{\mathcal{E}}, \quad (5.6)$$

где $\beta_{\mathcal{E}}$ - тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

$$\mathcal{E}_{\text{Б}} = 12\,102,63 \cdot 3,7 = 44\,779,75 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{ПР}} = 9\,245,86 \cdot 3,7 = 34\,209,67 \text{ руб.}$$

Предлагаемый привод позволяет снизить потребление электрической энергии на 23 %.

Расчитаем эксплуатационные затраты в базовом и проектируемом вариантах:

$$\mathcal{E}_{\text{Б}} = 6196,20 + 7966,54 + 44\,779,75 = 58942,50 \text{ руб.};$$

$$\mathcal{E}_{\text{ПР}} = 8831,27 + 11354,49 + 34\,209,67 = 54395,43 \text{ руб.}$$

Рассчитаем годовую экономию текущих издержек в проектируемом варианте по сравнению с применением центробежного насоса ЭЦВ 4-2,5 120:

$$\mathcal{E}_{\text{Г}} = \mathcal{E}_{\text{Б}} - \mathcal{E}_{\text{ПР}}, \quad (5.7)$$

$$\mathcal{E}_{\text{Г}} = 58\,942,50 - 54\,395,43 = 4547,07 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости капиталовложений:

$$T = \frac{63080,50 - 44258,57}{4547,07} = 4,1 \text{ года.}$$

Технико-экономические показатели сводим в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 Техничко-экономические показатели

| Показатели | Варианты | |
|--|---------------|--|
| | ЭЦВ 4-2,5 120 | ЦЛАД с предлагаемым приводом (проектный) |
| Годовой объем потребления воды, м ³ | 8212,50 | 8212,50 |
| Стоимость оборудования, руб. | 32906,00 | 46900,00 |
| Производительность, м ³ /ч | 1,90 | 1,51 |
| Время работы за 1 год, ч | 4322,37 | 5438,74 |
| Годовые затраты на электроэнергию, руб. | 44779,75 | 34209,67 |
| Годовые эксплуатационные затраты, руб. | 58942,50 | 54395,43 |
| Годовая экономия текущих издержек, руб. | - | 4547,07 |
| Капитальные вложения, руб. | 44 258,57 | 63 080,50 |
| Срок окупаемости, лет | - | 4,1 |

Выводы по главе

1. Рассмотрены технико-экономические показатели насосных установок для обеспечения годовой потребности в животноводческом комплексе на 500 голов мини-фермы агрофирмы ООО «У корно» с годовым потреблением 8212,50 м³ воды.

2. Установлено, что внедрение привода СПН на базе ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии с реализацией периодического отключения одной фазы при трехфазном питании двигателя, по сравнению с центробежным насосом в животноводческом комплексе на 500 голов с годовым потреблением 8212,50 м³, позволяет снизить потребление электрической энергии на 23 %. Срок окупаемости капиталовложений составляет 4,1 года.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Произведен анализ возможных конструктивных исполнений приводов СПН на базе ЦЛАД, выявлены их достоинства и недостатки. Сделан вывод о целесообразности применения ЦЛАД с упругими накопителями механической энергии при периодической коммутации фазы двигателя при трехфазном питании. Разработана конструкция линейного асинхронного электропривода на базе ЦЛАД для СПН позволяющая увеличить КПД, уменьшить пусковые токи.

2. Разработана математическая модель СПН на базе ЦЛАД в приводе с упругими накопителями механической энергии и реализацией периодического отключения одной фазы при трехфазном питании двигателя, позволяющая выбрать параметры, при которых будут достигаться рациональные энергетические и технические показатели.

3. Исследования показали, что работа линейного асинхронного электропривода на базе ЦЛАД СПН, позволяет уменьшить пусковые токи до 19 % по амплитуде и до 17 % по продолжительности. Установлено, что максимальный КПД СПН с электроприводом на базе ЦЛАД составляет 0,45 при диаметре плунжера 22 мм. При производительности от 0,8 до 1,7 м³/ч, КПД составит не менее 0,4.

4. Разработана экспериментальная установка СПН с электроприводом на базе ЦЛАД с коммутацией одной фазы двигателя при трехфазном питании. Проведены экспериментальные исследования, в результате которых получены временные зависимости фазного тока индуктора ЦЛАД и положения плунжера. Математическая обработка результатов экспериментов показала, что расхождение расчетных и экспериментальных данных по положению плунжера не превышает 7,7 %, тока – 12,5 %, производительности – 6,8 %, а КПД – 9,6 %, что позволяет считать снятые экспериментальные зависимости с достаточной точностью соответствующими данным теоретических

исследований, а разработанную математическую модель адекватно отражающей физические процессы и использовать ее в практических расчетах.

5. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемого СПН с приводом на базе ЦЛАД в животноводческом комплексе КРС на 500 голов с годовым потреблением воды 8212,5 м³ с глубины 100 м позволило уменьшить потребление электрической энергии на 23 %. Расчетный срок окупаемости капиталовложений составляет 4,1 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды типа ЭЦВ [Электронный ресурс] : техническая информация / ООО ТПК «Алтайгидромаш». – Режим доступа: <http://www.altaidromash.ru/docs/>
2. Аипов, Р.С. Линейные электрические машины и приводы на их основе: учебное пособие [Текст] / Р.С. Аипов. – Уфа: БГАУ, 2003. – 201 с.
3. Аипов, Р.С. Линейный электропривод колебательного движения: учебное пособие [Текст] / Р.С. Аипов. – Уфимск. гос. авиац. техн. ун–т. – Уфа, 1994. – 77с.
4. Аипов, Р.С. Математическая модель линейного асинхронного привода плунжерного насоса с периодической коммутацией фазы источника трёхфазного напряжения [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. -2016. – №4 -С. 13-20.
5. Аипов, Р.С. Математическая модель плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем в приводе [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин, Д.С. Леонтьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №02(096). – IDA [article ID]: 0961401040. – Режим доступа <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/40.pdf>.
6. Аипов, Р.С. Исследование привода скважинного плунжерного насоса на базе ЦЛАД с неполнофазным режимом работы [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. - №3. -С. 43-49.
7. Аипов, Р.С. Основы силовой преобразовательной техники [Текст]: учебное пособие / Р.С. Аипов, А.К. Белкин, Е.И. Мухортова. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. – 80 с.

8. Артемьева, Т. В. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям направления подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / Т. В. Артемьева [и др.]; под ред. С. П. Стесина. - 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2013. - 204 с.
9. Ахметвалеев, Р.Р. Способы реализации колебательно-вращательного движения рабочих органов технологических машин в АПК [Текст] / Р.Р. Ахметвалеев, Д.Е. Валишин, Я.Д. Осипов // Электрификация сельского хозяйства. Межвузовский научный сборник. – 2008. – №5 – С. 37 – 44.
10. Барыкин, К.К. Об улучшении энергетических показателей линейного электропривода [Текст] / К.К. Барыкин, А.П. Казадаев // Региональные проблемы повышения качества и экономии электроэнергии. – 1991. №1 – С. 52 – 53.
11. Барыкин, К.К. Расчет переходных процессов линейного двигателя в приводе возвратно–поступательного движения [Текст] / К.К. Барыкин, Р.С. Аипов // Автоматизация технологических процессов и промышленных установок: Тез. докл. конф. –Пермь, 1981. – С. 44.
12. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний [Текст]: учебное пособие / В.Л. Бидерман. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
13. Важнов, А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока [Текст] : учебник / А.И. Важнов. – Л.: Энергия, 1980. –256 с.
14. Валишин, Д. Е. Информационно-контролирующая база знаний «Безопасная эксплуатация электроустановок напряжением до 1 кВ» [Текст] / Д. Е. Валишин, Е. И. Мухортова // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. - 2013. - № 8 (51). - С. 21.
15. Валишин, Д.Е. Математическая модель линейного асинхронного двигателя насосной установки [Текст] : материалы всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2011» / Особенности развития

агропромышленного комплекса на современном этапе. // Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. - С. 122-125.

16. Валишин, Д.Е. Математическое моделирование неполнофазных режимов работы линейных асинхронных двигателей для насосных установок [Текст]: межвузовский научный сборник / Энергообеспечение и энергосбережение на предприятиях АПК. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. - С. 33-35.

17. Валишин, Д.Е. Несимметричные режимы работы цилиндрического линейного асинхронного двигателя в приводе плунжерного насоса [Текст] : материалы международной научно-практической конференции в рамках XXV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2015» / Аграрная наука в инновационном развитии АПК. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. - С. 195-202.

18. Валишин, Д.Е. Плунжерный насос повышенной эффективности с линейным электродвигателем [Текст] : Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках XIX специализированной выставки «Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование» / Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. - С. 36-39.

19. Валишин, Д.Е. Повышение эффективности насосной установки применением линейного асинхронного привода [Текст] : Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XX юбилейной специализированной выставки "АгроКомплекс-2010" / Научное обеспечение инновационного развития АПК. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2010. - С. 158 - 160.

20. Валишин, Д.Е. Погружной плунжерный насос с двумя рабочими камерами с линейным асинхронным приводом [Текст] : материалы Международной молодежной научно-практической конференции / Д Наука молодых – инновационному развитию АПК. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. - С. 92 - 96.

21. Валишин, Д.Е. Применение линейного асинхронного двигателя для привода насосной установки [Текст] : материалы всероссийской научно-практической конференции / Научное обеспечение развития АПК в современных условиях. - Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. - С. 56 - 60.
22. Валишин, Д.Е. Пути и способы повышения эффективности работы плунжерного насоса [Текст] : материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XV Российского энергетического форума / Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. - С. 28 - 32.
23. Веселовский, О.Н. Некоторые вопросы теории и применения линейных двигателей [Текст] : межвуз. сб. науч. тр. / Электродвигатели с разомкнутым магнитопроводом. –Новосибирск: Новосиб. электро–техн. ин–т., 1989. – С. 3 – 7.
24. Веселовский, О.Н. Линейные асинхронные двигатели [Текст] : учебное пособие / О.Н. Веселовский, А.Ю. Коняев, Ф.Н. Сарапулов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
25. Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам [Текст] / Я.М. Вильнер, Я.Т. Ковалев, Б.Б. Некрасов и др.; под. ред. Б.Б. Некрасова. – Минск: Высшая школа, 1985. – 382 с.
26. Вода в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / ООО РОСАО. - Режим доступа: <http://rosao.ru/information/articles/204/> - 28.09 2017 г.
27. Вода и водоподготовка. Термины и определения [Текст] : ГОСТ 30813-2002 . – Введ. 01.01.2004. – М.: ФГУП "Стандартинформ", 2010. – 51 с.
28. Водяников, В.Т. Организационно–экономические основы сельской электроэнергетики [Текст]: учебное пособие / В.Т. Водяников. – М.: Экмос, 2002. – 312с.
29. Водяников, В.Т. Экономическая оценка энергетики АПК [Текст]: учебное пособие / В.Т. Водяников. – М: Экмос, 2002. – 304 с.

30. Вольдек, А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом [Текст] / А.И.Вольдек. - Л.: Энергия, 1970. - 272с.
31. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст] / А.И.Вольдек. - М.: Энергия, 1974. – 840 с.
32. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод [Текст] : Учебник для вузов / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. – М.: Недра, 1991. – 331 с.
33. Глушаков, С.В. Математическое моделирование [Текст]: Учебный курс / С.В.Глушаков, И.А.Жакин. – М.: Издательство АСТ, 2001. – 524с.
34. Гультаев, А.Б. Визуальное моделирование в среде MATLAB [Текст]: учебный курс / А.Б. Гультаев. – СПб: Питер, 2000. – 432с.
35. Гусев, А. А. Гидравлика. Теория и практика [Текст] : учебник для вузов / А. А. Гусев. Московский гос. строительный ун-т. - 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2014. - 285 с.
36. Данилов, А.И. Компьютерный практикум по курсу "Теория управления". Simulink – моделирование в среде Matlab [Текст]: учебное пособие / А.И. Данилов. – М: МГУИЭ, 2002. – 128с.
37. Дьяконов, В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник [Текст]: справочник /В.В. Дьяконов, В.И. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 448с.
38. Епифанов, А.П. Анализ путей улучшения характеристик тяговых линейных асинхронных двигателей для высокоскоростного наземного транспорта [Текст] / А.П. Епифанов, В.Е. Скобелев, Г.И.Соловьев // Железные дороги мира. – 1978. -№2 - С. 3 – 12.
39. Епифанов, А.П. Линейные асинхронные двигатели в низкоскоростных транспортных системах [Текст] / А.П. Епифанов, Г.А. Епифанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2014. -№ 37 –С. 7 - 10.

40. Епифанов, А.П. Основные вопросы проектирования тяговых линейных асинхронных двигателей [Текст] / А.П. Епифанов // Электротехника. – 1992. - №1, – С. 78 – 79.
41. Епифанов, А.П. Трехмерная теория линейного асинхронного двигателя с различными типами обмоток [Текст] / А.П. Епифанов, Г.И. Соловьев // Реф. 10И234. РЖ. «ЭЭ». 1976. №10.
42. Зиннатов, Э.Ф. Сравнительная оценка эффективности использования погружных скважинных насосов для сельскохозяйственного водоснабжения [Текст]: статья в журнале / Э.Ф. Зиннатов, –М.: Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 2018. – 58-65 с.
43. Иванова, В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации [Текст]: учебник / В.А. Иванова, О.П. Яблонский. –М.: Феникс, 2004. – 448 с.
44. Иванушкин, В.А. Структурное моделирование электромеханических систем и их элементов [Текст]: учебное пособие / В.А. Иванушкин, Ф.Н. Сарапулов, П.М. Шымчак. – Щецин: ЩТУ, 2000. – 310 с.
45. Ижеля, Г.И. Линейные асинхронные двигатели [Текст]: учебное пособие / Г.И. Ижеля, С.А. Ребров. –Киев: Техника, 1975. – 136 с.
46. Исаев, А. П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений по спец. "Механизация сел. хоз-ва" / А. П. Исаев, Б. И. Сергеев, В. А. Дидур. - М. : Агропромиздат, 1990. - 400 с.
47. Клевцов, А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии [Текст]: учебное пособие /А.В. Клевцов.– М.: Солон–пресс, 2004. – 240 с.
48. Ключев, В.И. Теория электропривода [Текст]: учебник / В.И. Ключев – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560с.
49. Ковач, К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока [Текст]: учебник / К.П. Ковач, И.Т. Рац – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 126с.
50. Кононенко, Е. В. Электрические машины [Текст] / Е. В. Кононенко, Г.А. Сипайлов, К.А. Хорьков. – М.: Высшая школа, 1975. - 279с.

51. Кононенко, Е.В. Электрические машины [Текст]: учебник / Е.В. Кононенко, Г.А. Сипайлов, К.А. Хорьков. – М.: Высшая школа, 1975. –279 с.
52. Коняев, А.Ю. Характеристики линейных индукционных машин при ограниченных размерах вторичного элемента [Текст] / А.Ю. Коняев[и др.] // Электричество. - 2010. - № 4 - С. 32-36.
53. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин [Текст]: учебник / И.П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2001. – 327с.
54. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам [Текст] / И.П. Копылов [и др]; Под общей редакцией И.П. Копылова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 413 с.
55. Копылов, И.П. Электрические машины [Текст]: учебник / И.П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2000. – 607 с.
56. Линенко, А.В. Безредукторный асинхронный электропривод технологической машины со сложным колебательным движением рабочего органа [Текст] : материалы всероссийской научно-технической конференции / Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий. – Уфа: Издательство УГНТУ. - 2007. – С. 255 – 259.
57. Линенко, А.В. Линейные асинхронные электроприводы сложного колебательного движения для технологических машин АПК [Текст] / А.В. Линенко. -Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. -184с.
58. Локшин, Л.И. Глубинный плунжерный насос с цилиндрическим индукционным двигателем [Текст] : материалы всесоюзной научной конференции / Электропривод с линейным электродвигателем. - 1976. - №2 – С. 39 - 43.
59. Локшин, Л.И. Линейные погружные электронасосы [Текст] : тезисы докладов /Конференции по магнитной гидродинамике. –1974. – С. 52 - 53.
60. Луковников, В.И. Электромашинный безредукторный колебательный электропривод [Текст] / В.И. Луковников //

Электротехническая промышленность. Электропривод. – 1980. –№8 – С. 14 – 18.

61. Мамедов, Ф.А. Применение линейного асинхронного двигателя с возвратной пружиной в приводах сельскохозяйственных машин [Текст] / Ф.А. Мамедов, В.И. Литвин, А.С. Сафонов, Е.В. Хромов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. –М. - 2010. -№3. - С. 165 – 168.

62. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний [Текст] : ГОСТ Р 53472-2009 . – Введ. 01.01.2011. – М.: ФГУП "Стандартинформ", 2011. – 66 с.

63. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний [Текст] : ГОСТ 11828-86 . – Введ. 30.06.1987. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 31 с.

64. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования: методическое пособие – М.: Экономика, 1994. – 42 с.

65. Мухортова, Е. И. Вопросы эффективного использования электрической энергии на предприятиях АПК [Текст]: материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках XVIII международной специализированной выставки «АгроКомплекс 2008» / Интеграция аграрной науки и производства : состояние, проблемы и пути решения. – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ, 2008. - С.169-170.

66. Мухортова, Е. И. Монтаж устройств заземления и зануления : элект-ронное учебное пособие по дисциплине «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации» [Электронный ресурс] / Е.И. Мухортова, Д.Е. Валишин. – Уфа : Башкирский ГАУ, 2013. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/21039.pdf> - 03.10.2017.

67. Мухортова, Е.И. Пассивные элементы электрических цепей [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Электрификация и автоматизация сельского

хозяйства» / Е. И. Мухортова, А.К. Белкин, Шуляк А.А. – Нефтекамск : ГУП РБ «Нефтекамский дом печати», 2012. – 359 с.

68. Насар, С.А. Линейные тяговые электрические машины [Текст]: учебное пособие /С.А. Насар, И. Болдеа. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.

69. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы (с изменениями на 29 июля 2017 года) [Электронный ресурс] : постановление Правительства Рос. Федерации от 14.07.2012 № 717 ред. от 29.07.2017. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/902361843> 10.10.2017

70. Остренко, С.А. Гидравлика, гидравлический привод и газовая динамика [Текст] / С.А. Остренко. - Владивосток : ВГУЭС, 2005. –110 с.

71. Палишкин, Н. А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение [Текст] : учеб. пособие / Н. А. Палишкин. - М.: Агропромиздат, 1990. - 351с.

72. Патент №2370671, Российская Федерация, МПК F04B 47/06/ Насосная установка [Текст] / Р.С. Аипов, В.Ф. Гильванов, Д.С. Леонтьев, А.В. Линенко (RU). – №2008130485/06; заявл. 22.07.2008; опубл. 20.10.2009. - Бюл. №29. – 4 с.

73. Патент №2578746, Российская Федерация, МПК F04B 47/06, F04B 17/04/ Насосная установка [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин, Д.С. Леонтьев (RU). – №2015106455/06,; заявл. 25.02.2015; опубл. 27.03.2016. - Бюл. № 9. – 5 с.

74. Петленко, Б.И. Определение механической характеристики линейного асинхронного двигателя по режиму пуска без нагрузки [Текст] / Б.И. Петленко, Л.Г. Чанов // Электричество, 1984. – №9. – С. 61 – 63.

75. Петленко, Б.И., Исследование механических характеристик линейного асинхронного двигателя [Текст] / Б.И. Петленко, Л.Е. Круковский // Сборник научных трудов МАДИ. – М., 2017. - № 146 – С. 70 – 87.

76. Петров, Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных двигателей [Текст]: учебник / Л.П. Петров. – М.: Энергоиздат, 1981. – 184с.
77. Поддержка пользователей Matlab в РФ [Электронный ресурс] : EXPONENTA.RU. - Режим доступа <http://www.matlab.exponenta.ru> – 11.10.2017
78. Потемкин, В.Г. Введение в MATLAB [Текст]: учебное пособие / В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2000. – 247с.
79. Потемкин, В.Г. Инструментальные средства MATLAB 5.x [Текст]: учебное пособие / В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2000. – 336с.
80. Ряшенцев, Н.П. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями: учебное пособие [Текст] / Н.П. Ряшенцев. – Новосибирск: Наука, 1981. – 149с.
81. Сапсалева, А.В. Вопросы энергосбережения в линейных электроприводах транспортных средств [Текст] / А.В. Сапсалева, О.Н. Веселовский, Е.В. Огнянников // Научный вестник НГТУ. -2006. -№3. -С. 141.
82. Сапсалева, А.В. Основы построения и развития теории циклических электроприводов с линейными двигателями [Текст] /А.В. Сапсалева. Дисс. доктора техн. наук. - Новосибирск: 2003. - 357 с.
83. Сарапулов, Ф.Н. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения [Текст]: учебное пособие / Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, П.Н. Шымчак. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ–УПИ, 2001. – 236с.
84. Сарапулов, Ф.Н. Передаточные функции и структурные схемы линейных асинхронных двигателей [Текст]: учебное пособие / Ф.Н. Сарапулов, И.В. Черных. – Екатеринбург: УПИ, 1992. – 100с.
85. Свечарник, Д.В. Линейный электропривод [Текст]: учебное пособие / Д.В. Свечарник. – М.: Энергия, 1979. – 152с.
86. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст]: учебное пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря –Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 560с.

87. Серия HDH-xx44.ZD3 для коммутации мощной нагрузки в стандартном корпусе KIPPRIBOR твердотельные реле [Электронный ресурс] : техническая информация / ООО КипПрибор. - Режим доступа: <http://www.kippribor.ru/TTR/Seriya-HDH-xx44ZD3> 11.09.2017.

88. Соболев, С.В. Выбор рациональной схемы вторичной обмотки ЛАД [Текст] / С.В. Соболев, М.В. Юрченко // Взрывозащищенные ЛАД: Сборник научных трудов. - Донецк: ВНИИВЭ, 1984. -С. 19–24.

89. Соколов, В.В. Цилиндрические линейные асинхронные двигатели для привода погружных плунжерных насосов / В.В. Соколов диссертация канд. техн. наук : 05.09.01 - Екатеринбург, 2006. - 135 с.

90. Соколов, М.М. Электропривод с линейными асинхронными двигателями [Текст]: учебник/ М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. – М.: Энергия, 1974. – 136с.

91. Туркин, А.А. Повышение эффективности защиты скважин сельскохозяйственного назначения от пескования / А.А. Туркин диссертация канд. техн. наук : 05.20.01 - Красноярск, 2009.- 162 с.

92. Циклаури, Д. С. Гидравлика, сельскохозяйственное водоснабжение и гидросиловые установки [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. С. Циклаури ; под ред. А. А. Угинчус. - М. : Стройиздат, 1970. - 256 с.

93. Черных, И.В. Simulink Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс] : EXPONENTA.RU. - Режим доступа <http://www.matlab.exponenta.ru/simulink/book1> – 11.10.2017

94. Чиняев, И. А. Поршневые насосы [Текст] / И. А. Чиняев. М.: Машиностроение, 1966. - 188 с.

95. Чугаев, Р. Р. Гидравлика : Техническая механика жидкости [Текст] : учеб. для гидротех. спец. вузов / Р. Р. Чугаев. - 4-е изд., доп. и перераб. - Л. : Энергоиздат, 1982. - 672 с.

96. Швандар, В.А. Экономика предприятия [Текст]: учебник / В.А. Швандар, Л.Я. Аврашков. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2002. – 240 с.

97. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика [Текст] : учебник для студ. вузов, обуч. по напр. подготовки спец. в области техники и технологии, сельского и рыбного хозяйства / Д. В. Штеренлихт. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2005. - 655 с.
98. Ямамура, С. Теория линейных асинхронных двигателей [Текст]: учебное пособие / С. Ямамура. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 180 с.
99. Ерошенко, Г.П. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных предприятий [Текст]: Учебник для вузов по специальностям 1100302.65 “Электрификация и автоматизация сельского хозяйства”; 140106.65 “Электроснабжение”; 140211.65и”энергообеспечение предприятий” / Г.П. Ерошенко, Ю.А. Медведько, М.А. Таранов.– Ростов-на-Дону, ООО «Терра», 2006. – 592 с.
100. Таранов, М.А. Электробезопасность сельских электроустановок [Текст]: монография / М.А. Таранов, В.Я Хорольский, Е.Е. Привалов – Ростов-на-Дону: Терра-Принт, 2006. – 144 с.
101. Boldea, I. Linear Electric Actuators and Generators [Text] / I. Boldea, S. A. Nasar. // Cambridge University Press, 2005. – 237 p.
102. Boldea, I. Linear motion electromagnetic systems [Text] / I. Boldea, S. A. Nasar. -New York, Wiley, 1985. – 482 p.
103. Laithwaite, E.R. Induction Machines for Special Purposes [Text] / E.R. Laithwaite. - New York: Chemical Publishing Co. Ltd, 1986. – 377 p.
104. Laithwaite, E.R. Linear electric motors [Text] / E.R. Laithwaite. - London, Mills and Boon, 1971. – 357 p.
105. Paszek, W. Dynamika maszyn elektrycznych pradu przemiennego, Gliwice, Wydawnictwo [Text] / W. Paszek. - HELION, 1998. – 684 p.
106. Puchala, A. Dynamika maszyn I ukladow elektromechanicznych, Panstwowe Wydawnictwo Naukowe / A. Puchala. - Warszawa, 1977. – 335 p.
107. Topor, M. Application of flux reversal principle for axial flux permanent magnet machines [Text] / Topor M., Chun Y.Do., Koo D.H., Han P.W., Woo B.Ch., Boldea I. // Journal of Applied Physics. 2008. T. 103. № 7. С. 07F127.

Приложение А
Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2578746

НАСОСНАЯ УСТАНОВКА

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной ответственностью "Энергетический шар" (RU)*

Автор(ы): *Аинов Рустам Сагитович (RU), Валишин Денис Евгеньевич (RU), Леонтьев Дмитрий Сергеевич (RU)*

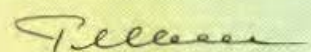
Заявка № 2015106455

Приоритет изобретения 25 февраля 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 01 марта 2016 г.

Срок действия патента истекает 25 февраля 2035 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

 Г.И. Ильин



Продолжение приложения А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 578 746** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
F04B 47/06 (2006.01)
F04B 17/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015106455/06, 25.02.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.02.2015

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 25.02.2015

(45) Опубликовано: 27.03.2016 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2370671C1, 20.10.2009. SU
521396A1, 31.01.1977. SU 61926 A1, 01.01.1942.
FR 2385911 A1, 27.10.1978. US 3364864 A,
23.01.1968. CN 201893678 U, 06.07.2011.

Адрес для переписки:
452306, респ. Башкортостан, Дюртюлинский р-
н, с. Байгильды, ул. Интернациональная, 26,
Валишину Денису Евгеньевичу

(72) Автор(ы):

Аипов Рустам Сагитович (RU),
Валишин Денис Евгеньевич (RU),
Леонтьев Дмитрий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"Энергетический шар" (RU)

RU
2 5 7 8 7 4 6
C 1

(54) НАСОСНАЯ УСТАНОВКА

(57) Реферат:

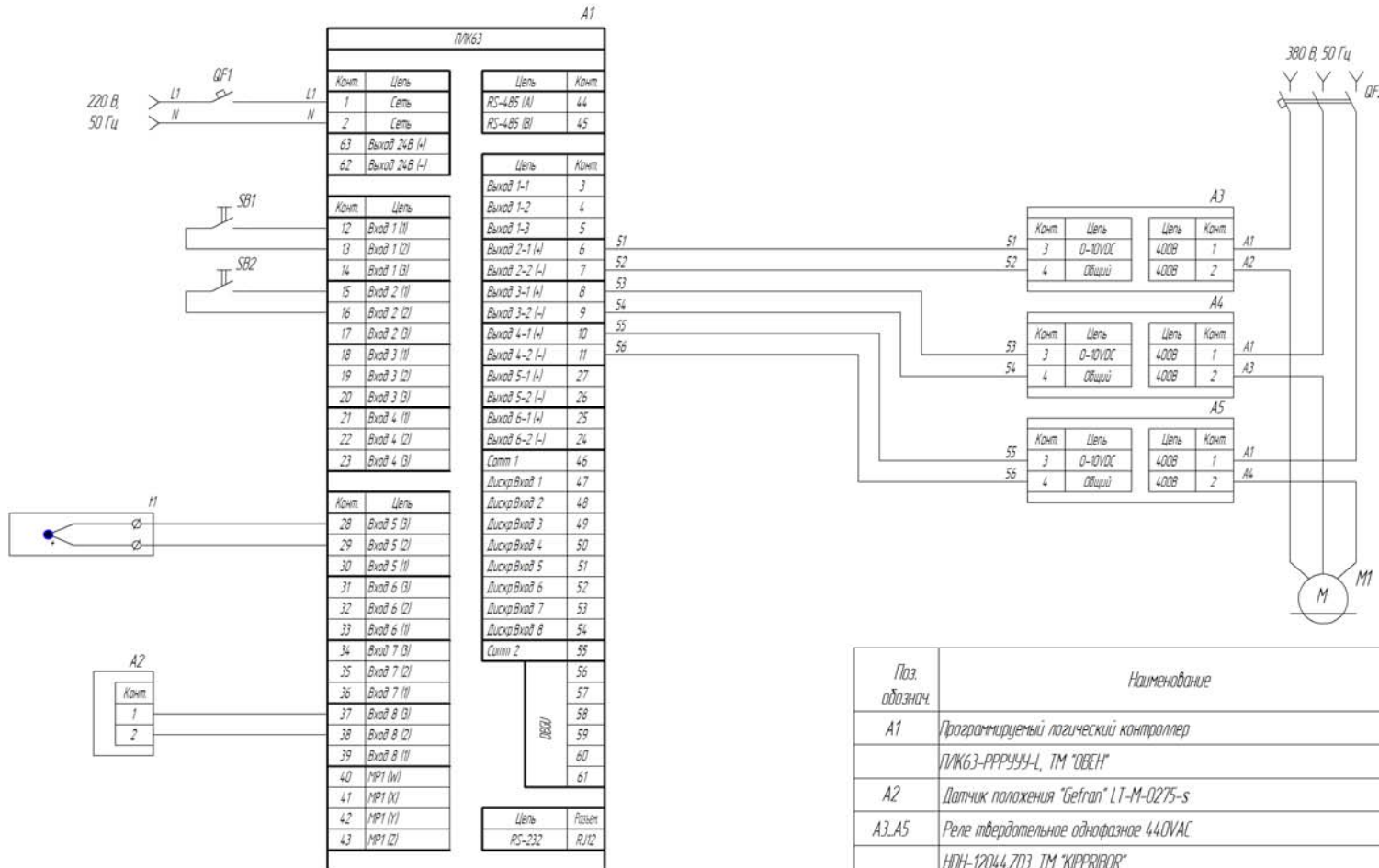
Изобретение относится к оборудованию для подъема пластовой жидкости из скважин. Установка содержит цилиндрический линейный асинхронный электродвигатель (ЛАД), статор 1 которого охватывает плунжер-ротор 2. Плунжер-ротор 2 выполнен в виде ферромагнитной трубы для прохода жидкости с медным покрытием со стороны статора. По длине трубы 2 расположены клапаны 3. Труба установлена подвижно в корпусе насосной установки, состоящей из двух частей 4 и 5, выполненных в виде цилиндров. Торцы цилиндров со стороны статора 1 закрыты крышками 6 и 7 с отверстиями для прохождения плунжера-ротора 2 и уплотнениями. Статор 1

ЛАД установлен между частями 4 и 5 корпуса. На плунжере-роторе 2 соосно установлены упругие накопители механической энергии (УЭ) 8 и 9. Движение плунжера-ротора 2 относительно частей 4 и 5 корпуса ограничивается УЭ 8 и 9, установленными между крышками 6 и 7 и фланцами 10 и 11. Фланцы 10 и 11 установлены жестко на плунжере-роторе 2. Станция управления снабжена датчиком скорости плунжера-ротора и коммутатором фазы трехфазной системы питания статора. Повышается надежность привода насосной установки. 1 ил.

RU
2 5 7 8 7 4 6
C 1

Приложение Б

Система управления СПН на базе ЦЛАД



| Поз. обознач. | Наименование | Кол. | Примечание |
|---------------|---|------|------------------|
| A1 | Программируемый логический контроллер ПЛК63-PPR555-L, ТМ "ОВЕН" | 1 | |
| A2 | Датчик положения "Belgran" LT-M-0275-s | 1 | с сигналом 0-1 В |
| A3..A5 | Реле твердотельное однофазное 440VAC HDL-12044.Z03, ТМ "KIPPRIBOR" | 3 | упр. 0-10В |
| QF1 | Автомат защиты ABB S201 C10 | 1 | |
| QF2 | Автомат защиты ABB S203 D25 | 1 | |
| M1 | Цилиндрический линейный асинхронный электродвигатель. | 1 | |
| I1 | Преобразователь термоэлектрический хДТТх, ТМ "ОВЕН" | 1 | |
| | Кабель к терморезисторам ДКТх 011-х/х, ТМ "ОВЕН" | | |

Приложение В

Выборочные значения измеренного тока ЦЛАД

| | n измерения | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ток | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| I ₁ | -0,13 | -0,63 | -0,33 | -0,23 | 0,17 | -0,43 | -0,03 | 0,17 | 0,17 | -0,33 | -0,33 | -0,53 |
| I ₂ | 1,27 | 1,37 | 1,87 | 1,87 | 1,77 | 1,17 | 1,37 | 1,37 | 1,17 | 1,07 | 1,07 | 1,07 |
| I ₃ | 3,43 | 3,33 | 2,63 | 2,63 | 2,63 | 2,63 | 2,73 | 3,33 | 3,03 | 3,43 | 2,93 | 2,73 |
| I ₄ | 3,91 | 4,51 | 4,01 | 4,71 | 3,61 | 4,61 | 4,41 | 3,61 | 4,01 | 4,21 | 4,31 | 4,01 |
| I ₅ | 5,18 | 4,78 | 4,58 | 5,88 | 4,38 | 5,18 | 5,08 | 4,48 | 4,98 | 4,38 | 5,28 | 5,18 |
| I ₆ | 5,17 | 5,67 | 5,67 | 5,57 | 5,27 | 5,37 | 5,27 | 5,87 | 4,77 | 4,97 | 4,77 | 4,97 |
| I ₇ | 5,36 | 4,46 | 4,86 | 5,16 | 5,46 | 5,26 | 5,46 | 5,36 | 5,36 | 5,36 | 4,66 | 4,66 |
| I ₈ | 4,67 | 4,57 | 4,97 | 4,27 | 4,17 | 3,87 | 4,47 | 3,97 | 4,17 | 4,57 | 4,67 | 3,77 |
| I ₉ | 3,55 | 3,45 | 3,25 | 3,35 | 3,65 | 3,35 | 3,65 | 3,65 | 3,35 | 3,65 | 2,65 | 3,35 |
| I ₁₀ | 1,23 | 2,23 | 1,63 | 1,83 | 1,53 | 2,03 | 2,23 | 1,63 | 1,43 | 1,83 | 1,93 | 1,23 |
| I ₁₁ | -1,77 | -1,47 | -1,87 | -1,07 | -1,47 | -1,67 | -1,67 | -1,67 | -1,57 | -1,67 | -1,47 | -1,57 |
| I ₁₂ | -2,93 | -3,43 | -2,73 | -2,63 | -3,63 | -3,73 | -2,53 | -3,73 | -3,25 | -3,25 | -3,43 | -3,25 |
| I ₁₃ | -4,2 | -4,3 | -4,1 | -4,9 | -3,9 | -4,4 | -4,1 | -4,7 | -4,6 | -4,8 | -4,6 | -4,56 |
| I ₁₄ | -4,48 | -4,38 | -5,38 | -5,42 | -5,38 | -5,18 | -5,38 | -5,38 | -5,08 | -5,42 | -5,28 | -5,42 |
| I ₁₅ | -5,27 | -5,77 | -5,75 | -5,57 | -5,47 | -5,75 | -5,47 | -5,67 | -5,57 | -5,57 | -5,75 | -5,57 |
| I ₁₆ | -5,76 | -5,26 | -5,36 | -4,96 | -5,36 | -5,56 | -5,06 | -5,46 | -5,06 | -5,36 | -5,06 | -5,26 |
| I ₁₇ | -4,97 | -4,37 | -4,27 | -4,27 | -4,47 | -4,67 | -4,87 | -4,97 | -4,87 | -4,47 | -4,57 | -4,77 |
| I ₁₈ | -3,56 | -3,51 | -3,76 | -3,56 | -3,36 | -3,66 | -3,66 | -2,96 | -3,26 | -2,86 | -3,46 | -3,26 |
| I ₁₉ | -2,14 | -1,84 | -1,94 | -2,44 | -2,24 | -1,74 | -2,44 | -2,14 | -1,34 | -1,84 | -1,64 | -1,54 |
| I ₂₀ | 0,05 | -0,35 | -0,55 | -0,45 | -0,25 | 0,05 | -0,45 | -0,25 | -0,35 | -0,35 | -0,25 | -0,35 |

Приложение Г

Обработка результатов эксперимента измерения тока ЦЛАД

| Положение | \bar{I} | σ | I_{\min} | I_{\max} | V_{\min} | V_{\max} | σ_x | I_H | $\Delta_{\text{сист}}$ | $\frac{\Delta_{\text{сист}}}{\sigma_x}$ | S_{Σ} | Δ_c | $\dot{\Delta}$ | K_{Σ} | $\Delta_{\Sigma 1}$ | I | δx |
|-----------------|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|------------------------|---|--------------|------------|----------------|--------------|---------------------|-------------|------------|
| I ₁ | -0,21 | 0,277 | -0,63 | 0,17 | 1,52 | 1,37 | 0,080 | -0,1 | -0,11 | -1,4 | 0,102 | -0,121 | 0,176 | 0,7 | 0,07 | -0,21 ±0,07 | 3,3 |
| I ₂ | 1,37 | 0,305 | 1,07 | 1,87 | 0,98 | 1,64 | 0,088 | 1,6 | -0,23 | -2,6 | 0,159 | -0,253 | 0,194 | -0,6 | -0,1 | 1,37 ±0,1 | 7,3 |
| I ₃ | 2,96 | 0,339 | 2,63 | 3,43 | 0,97 | 1,39 | 0,098 | 3,3 | -0,34 | -3,5 | 0,219 | -0,374 | 0,216 | -1,2 | -0,26 | 2,96 ±0,26 | 8,8 |
| I ₄ | 4,16 | 0,363 | 3,61 | 4,71 | 1,52 | 1,52 | 0,105 | 4,6 | -0,44 | -4,2 | 0,275 | -0,484 | 0,231 | -1,5 | -0,41 | 4,16 ±0,41 | 9,9 |
| I ₅ | 4,95 | 0,446 | 4,38 | 5,88 | 1,28 | 2,09 | 0,129 | 5,4 | -0,45 | -3,5 | 0,290 | -0,495 | 0,284 | -1,1 | -0,32 | 4,95 ±0,32 | 6,5 |
| I ₆ | 5,28 | 0,365 | 4,77 | 5,87 | 1,40 | 1,62 | 0,105 | 5,8 | -0,52 | -5,0 | 0,318 | -0,572 | 0,231 | -1,7 | -0,54 | 5,28 ±0,54 | 10,2 |
| I ₇ | 5,12 | 0,358 | 4,46 | 5,46 | 1,84 | 0,95 | 0,103 | 5,5 | -0,38 | -3,7 | 0,242 | -0,418 | 0,227 | -1,3 | -0,31 | 5,12 ±0,31 | 6,1 |
| I ₈ | 4,35 | 0,367 | 3,77 | 4,97 | 1,58 | 1,69 | 0,106 | 4,7 | -0,35 | -3,3 | 0,228 | -0,385 | 0,233 | -1,0 | -0,23 | 4,35 ±0,23 | 5,3 |
| I ₉ | 3,41 | 0,281 | 2,65 | 3,65 | 2,70 | 0,85 | 0,081 | 3,5 | -0,09 | -1,1 | 0,096 | -0,099 | 0,178 | 0,9 | 0,09 | 3,41 ±0,09 | 2,6 |
| I ₁₀ | 1,73 | 0,344 | 1,23 | 2,23 | 1,45 | 1,45 | 0,099 | 1,9 | -0,17 | -1,7 | 0,139 | -0,187 | 0,218 | 0,3 | 0,04 | 1,73 ±0,04 | 2,3 |
| I ₁₁ | -1,58 | 0,202 | -1,87 | -1,07 | 1,44 | 2,52 | 0,058 | -1,6 | 0,02 | 0,3 | 0,059 | 0,022 | 0,128 | 2,6 | 0,15 | -1,58 ±0,15 | 9,5 |
| I ₁₂ | -3,21 | 0,418 | -3,73 | -2,53 | 1,24 | 1,63 | 0,121 | -3,3 | 0,09 | 0,7 | 0,132 | 0,099 | 0,266 | 3,0 | 0,4 | -3,21 ±0,4 | 12,5 |
| I ₁₃ | -4,43 | 0,313 | -4,9 | -3,9 | 1,50 | 1,69 | 0,090 | -4,6 | 0,17 | 1,9 | 0,133 | 0,187 | 0,198 | 3,9 | 0,52 | -4,43 ±0,52 | 11,7 |
| I ₁₄ | -5,18 | 0,367 | -5,42 | -4,38 | 0,65 | 2,18 | 0,106 | -5,4 | 0,22 | 2,1 | 0,165 | 0,242 | 0,233 | 3,9 | 0,64 | -5,18 ±0,64 | 12,4 |
| I ₁₅ | -5,60 | 0,150 | -5,77 | -5,27 | 1,13 | 2,20 | 0,043 | -5,8 | 0,2 | 4,7 | 0,123 | 0,22 | 0,095 | 5,6 | 0,69 | -5,6 ±0,69 | 12,3 |
| I ₁₆ | -5,29 | 0,235 | -5,76 | -4,96 | 2,00 | 1,40 | 0,068 | -5,5 | 0,21 | 3,1 | 0,139 | 0,231 | 0,15 | 4,6 | 0,64 | -5,29 ±0,64 | 12,1 |
| I ₁₇ | -4,63 | 0,261 | -4,97 | -4,27 | 1,30 | 1,38 | 0,075 | -4,8 | 0,17 | 2,3 | 0,124 | 0,187 | 0,165 | 4,2 | 0,52 | -4,63 ±0,52 | 11,2 |
| I ₁₈ | -3,41 | 0,279 | -3,76 | -2,86 | 1,25 | 1,97 | 0,081 | -3,5 | 0,09 | 1,1 | 0,096 | 0,099 | 0,178 | 3,3 | 0,32 | -3,41 ±0,32 | 9,4 |
| I ₁₉ | -1,94 | 0,349 | -2,44 | -1,34 | 1,43 | 1,72 | 0,101 | -1,9 | -0,04 | -0,4 | 0,104 | -0,044 | 0,222 | 1,8 | 0,19 | -1,94 ±0,19 | 9,8 |
| I ₂₀ | -0,29 | 0,183 | -0,55 | 0,05 | 1,42 | 1,86 | 0,053 | -0,2 | -0,09 | -1,7 | 0,074 | -0,099 | 0,117 | 0,3 | 0,02 | -0,29 ±0,02 | 6,9 |

Приложение Д

Справка о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**БАШКИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

450001, Россия, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34



РОССИЙ ФЕДЕРАЦИЯ КЫШЫН АУЫЛ
ХУЖАЛЫРЫ МИНИСТРЫРЫ

Югары белгиле бирлеу булдырыла
Федераль бюджет даулат матариф учреждениесы

**БАШКОРТ
ДӘУЛӘТ АГРАР
УНИВЕРСИТЕТЫ**

450001, Россия, Башкортостан Республикасы,
Өфө, Октябрьен 50 йыллыкта урамы, 34

Тел: (347) 228-91-77

Факс: (347) 228-08-98

Web-сайт: www.bsau.ru

E-mail: bsau@u-fanet.ru

№ 1433 от 15.09.2017г.

На № _____ от _____

Справка

о внедрении результатов диссертационной работы «Совершенствование электропривода скважинного плунжерного насоса для предприятий АПК применением цилиндрического линейного асинхронного двигателя» в учебный процесс

На кафедре «Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВО Башкирского ГАУ на лабораторных занятиях по дисциплине «Автоматизированный электропривод» проводятся лабораторные работы «Исследование привода скважинного плунжерного насоса на базе цилиндрического линейного асинхронного двигателя». Данная работа разработана и поставлена старшим преподавателем кафедры «Электрические машины и электрооборудование» Валишиным Денисом Евгеньевичем по результатам его диссертационной работы.

Проректор по учебным работам



Н.М. Юнусбаев

исп. Валишин Д.Е.
т. 8 (964) 954-62-82

Приложение Е

Акт принятия к внедрению

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «У КОРНО»



_____ 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной и инновационной
деятельности ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ
Чудов И.В.



« 15 » _____ 2017 г.

Акт

Акт принятия к внедрению результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия директор ООО «У КОРНО» Амиев Л.А. с одной стороны и представители ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ: д-р техн.наук Аипов Р. С и инженер Валишин Д.Е. с другой стороны составили настоящий акт о принятии к внедрению результатов законченной научно-исследовательской работы.

Результатом научно-исследовательской работы является разработка проектной документации и изготовление привода скважинного плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем (ЦЛАД). Внедряемая научно - исследовательская работа содержит сведения о патенте РФ на изобретение №2578746.

Кем и когда разработка рекомендована к внедрению: привод плунжерного насоса разработан на кафедре «Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ и рекомендовано к внедрению в предприятие ООО «У КОРНО».

Элементы новизны: разработанный привод скважинного плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем позволяет снизить энергоемкость, повысить производительность, уменьшить металлоемкость, снизить эксплуатационные затраты при работе плунжерного насоса.

Технический уровень соответствует лучшим отечественным разработкам.

Внедрение результатов научно - исследовательской работы

1. Демонстрация на конкурсах, публикации в печати и т. п. Привод плунжерного насоса с ЦЛАД награждена золотой медалью выставки «Золотая осень» (Москва, 2014 г., ВВЦ); дипломом II-й степени на Российском энергетическом форуме в конкурсе: «На лучшую технологию, оборудование, продукцию и научные разработки» в номинации «Электротехника и светотехника 2015»; дипломом II-й степени на XXVII Международной специализированной выставке «АгроКомплекс-2017» в номинации «За разработку и освоение производства оборудования для электро-, газо- и теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей».

Описание предлагаемого устройства опубликовано в следующих изданиях:

1. Аипов Р.С., Валишин Д.Е., Леонтьев Д.С. Математическая модель плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем в приводе / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №02(096). – IDA [article ID]: 0961401040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/40.pdf>, 0,688 у.п.л.

2. Аипов Р.С., Валишин Д.Е. Математическая модель линейного асинхронного привода плунжерного насоса с периодической коммутацией фазы источника трёхфазного напряжения / Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 4. С. 13-20.

3. Валишин Д.Е. Применение линейного асинхронного двигателя для привода насосной установки / Научное обеспечение развития АПК в современных условиях Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия., 2011. -С. 56-60.

4. Валишин Д.Е. Математическая модель линейного асинхронного двигателя насосной установки / Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI Международной специализированной выставки "АгроКомплекс-2011". - Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. -С. 122-125.

Продолжение приложения Е

5. Аипов Р.С., Валишин Д.Е. Неполнофазный режим работы линейного асинхронного электропривода в технологическом оборудовании АПК / Перспективы инновационного развития АПК Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXIV Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2014". - Уфа: Башкирский ГАУ 2014. -С. 183-187.

6. Валишин Д.Е. Плунжерный насос повышенной эффективности с линейным электродвигателем / Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках XIX специализированной выставки "Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование". - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. - С. 36-39.

7. Валишин Д.Е. Пути и способы повышения эффективности работы плунжерного насоса / Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XV Российского энергетического форума. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. -С. 28-32.

8. Патент №2578746, Российская Федерация, МПК F04B 47/06, F04B 17/04/ Насосная установка [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин, Д.С. Леонтьев (RU). – №2015106455/06.; заявл. 25.02.2015; опубл. 27.03.2016 Бюл. № 9

2. В результате внедрения рассматриваемой научно-исследовательской работы ожидается снижение годовых эксплуатационных затрат до 50,34 тыс. руб. при годовой потребности воды 8212,50 м³ на одну насосную установку.

Разработанная система электропривода скважинного плунжерного насоса на базе ЦИАД позволяет снизить энергоемкость, уменьшить пусковые токи, повысить эффективность подъема воды из скважин глубиной более 100 м.

3. Предложения о дальнейшем внедрении работы и другие замечания. Предлагаемая привод скважинного плунжерного насоса на базе ЦИАД может быть использована для сельскохозяйственного водоснабжения на предприятиях РФ.

Представители предприятия:

Директор ООО «У КОРНО»

Аипов Р.С.

Валишин Д.Е.



Представители Башкирского ГАУ:

Зав. кафедры ЭМЭ

д-р техн. наук Аипов Р.С.

инженер Валишин Д.Е.



Приложение Ж

Акт принятия к внедрению

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «ИспЭК»
Биктемиров Д.М.



_____ 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной и инновационной
деятельности ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ
Чудов И.В.



« 29 » _____ 2017 г.

Акт

принятия к внедрению результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия директор ООО «ИспЭК» Биктемиров Д.М. с одной стороны и представители ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ: д-р техн.наук Аипов Р. С и инженер Валишин Д.Е. с другой стороны составили настоящий акт о принятии к внедрению результатов законченной научно-исследовательской работы.

Результатом научно-исследовательской работы является разработка проектной документации и изготовление привода скважинного плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем (ЦЛАД). Внедряемая научно - исследовательская работа содержит сведения о патенте РФ на изобретение №2578746.

Кем и когда разработка рекомендована к внедрению: привод плунжерного насоса разработан на кафедре «Электрические машины и электрооборудование» ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ и рекомендовано к внедрению в предприятие ООО «ИспЭК».

Элементы новизны: разработанный привод скважинного плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем позволяет снизить энергоёмкость, повысить производительность, уменьшить металлоёмкость, снизить эксплуатационные затраты при работе плунжерного насоса.

Технический уровень соответствует лучшим отечественным разработкам.

Внедрение результатов научно - исследовательской работы

1) Демонстрация на конкурсах, публикации в печати и т. п. Привод плунжерного насоса с ЦЛАД награждена золотой медалью выставки «Золотая осень» (Москва, 2014 г., ВВЦ); дипломом II-й степени на Российском энергетическом форуме в конкурсе: «На лучшую технологию, оборудование, продукцию и научные разработки» в номинации «Электротехника и светотехника 2015»; дипломом II-й степени на XXVII Международной специализированной выставке «АгроКомплекс-2017» в номинации «За разработку и освоение производства оборудования для электро-, газо- и теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей».

Описание предлагаемого устройства опубликовано в следующих изданиях:

1. Аипов Р.С., Валишин Д.Е., Леонтьев Д.С. Математическая модель плунжерного насоса с цилиндрическим линейным асинхронным двигателем в приводе / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №02(096). – IDA [article ID]: 0961401040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/40.pdf>, 0,688 у.п.л.

2. Аипов Р.С., Валишин Д.Е. Математическая модель линейного асинхронного привода плунжерного насоса с периодической коммутацией фазы источника трёхфазного напряжения / Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 4. С. 13-20.

3. Валишин Д.Е. Применение линейного асинхронного двигателя для привода насосной установки / Научное обеспечение развития АПК в современных условиях

Продолжение приложения Ж

Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия., 2011. -С. 56-60.

4. Валишин Д.Е. Математическая модель линейного асинхронного двигателя насосной установки / Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI Международной специализированной выставки "АгроКомплекс-2011". - Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. -С. 122-125.

5. Аипов Р.С., Валишин Д.Е. Неполнофазный режим работы линейного асинхронного электропривода в технологическом оборудовании АПК / Перспективы инновационного развития АПК Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXIV Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2014". - Уфа: Башкирский ГАУ 2014. -С. 183-187.

6. Валишин Д.Е. Плунжерный насос повышенной эффективности с линейным электродвигателем / Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках XIX специализированной выставки "Отопление. Водоснабжение. Кондиционирование". - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. -С. 36-39.

7. Валишин Д.Е. Пути и способы повышения эффективности работы плунжерного насоса / Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XV Российского энергетического форума. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2015. -С. 28-32.

8. Патент №2578746, Российская Федерация, МПК F04B 47/06, F04B 17/04/ Насосная установка [Текст] / Р.С. Аипов, Д.Е. Валишин, Д.С. Леонтьев (RU). – №2015106455/06.; заявл. 25.02.2015; опубл. 27.03.2016 Бюл. № 9

2) В результате внедрения рассматриваемой научно-исследовательской работы ожидается снижение годовых эксплуатационных затрат до 72,9 тыс. руб. при годовой потребности воды 12 тыс. м³ на одну насосную установку.

Разработанная система электропривода скважинного плунжерного насоса на базе ЦЛАД позволяет снизить энергоемкость, уменьшить пусковые токи, повысить эффективность подъема воды из скважин глубиной более 100 м.

3) Предложения о дальнейшем внедрении работы и другие замечания. Предлагаемая привод скважинного плунжерного насоса на базе ЦЛАД может быть использована для сельскохозяйственного водоснабжения на предприятиях РФ.

Представители предприятия:

Директор ООО «ИмпЭК»
т. (347)297-4118

Биктемиров Д.М.



Представители Башкирского ГАУ:

Зав. кафедрой ЭМЭ
д-р техн. наук Аипов Р.С.
инженер Валишин Д.Е.

