

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
им.К.И.Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и транспорт»

Кусаинов Арай Арманович

Исследование влияния параметров раздвижки тороидального пневмобаллона
на характер импульса пуско-вспомогательного привода лабораторной
мельницы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Технологические машины и транспорт»

УДК 691.342

На правах рукописи

Кусаинов Арай Арманович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра технических наук

Название диссертации «Исследование влияния параметров раздвижки
тороидального пневмобаллона на характер импульса пуско-вспомогательного
привода лабораторной мельницы»

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Научный руководитель,
канд. техн. наук, ассоц. профессор
Бейсенов Б.С.
_____ 2023 г.



Рецензент,
_____ 2023 г.

Нормоконтроль
Ст. преподаватель, магистр техн. наук
Е.Е. Сарыбаев
« 29 » 05 2023 г.



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ТМ и Т
канд. техн. наук, ассист. проф.
С.А. Бортабаев
_____ 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра "Технологические машины и транспорт"

7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМ и Т
канд. техн. наук, ассист.проф.

 С.А.Бортебаев
"___" "___" 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Кусаинову Арай Армановичу

Тема: «Исследование влияния параметров раздвижки тороидального
пневмобаллона на характер импульса пуско-вспомогательного привода
лабораторной мельницы»

Утверждена приказом руководителя университета №1202м
"29" 10 "2022 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 15 " 05 2023 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: материалы
исследовательской практики на полигоне кафедры «Технологические машины
и транспорт».

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации
вопросов:

- 1.Разработать стенд для исследования силовых и раздвижных характеристик 3-камерного тороидального баллона.
- 2.Разработать методику исследования и оценки параметров тороидальных баллонов.
- 3.Разработать структура аппаратного оформления стенда.
4. Проверить действенность полученных данных по силовым и раздвижным параметрам тороидальных баллонов на стенде с лабораторной мельницей.

Рекомендуемая основная литература:

1 Иманкулов А.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К., Курманалиев М.Б. «Некоторые аспекты применения силовых гибких оболочек с возвратно-поступательным движением в приводах металлургических машин» Алматы, КазНТУ им. К.И.Сатпаева «Сатпаевские чтения».2013 г.

2 Ярмоленко Г.З. Пневматический привод горных машин. Изд-во «Недра»,1967. -162с.

3 Курсовое проектирование Деталей машин. С.А. Чернавский, К.Н. Боков, М.:Машиностроение, 1987.- 416с.

4 Курсовое проектирование Деталей машин. Учебное пособие для учащихся машиностроительных специальностей (Чернавский С.А., Боков К.Н., Черпин И.М., Козинцов В.А.) – М.: Металлургия, 1987. – 414 с.

5 Бейсенов Б.С., Сейіт С.Ж., Сарыбаев Е.Е. Тихоходный пневмокамерный привод технологических машин. - Вестник КазНТУ,2018. -№2с

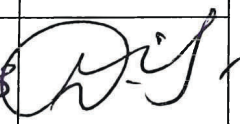
6 Сарыбаев Е.Е, А.Кусаинов, А.Санак, Бейсенов Б.С. Исследование силовых и раздвижных параметров трёхкамерных сифонных пневмобаллонов - Сатпаевские чтения – 2022.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Аналитическая часть	1.03.2023	
2. Расчетно-конструкторская часть	1.04.2023	
3. Стенд для исследования параметров тороидальных подушек	10.04.2023	
4. Стендовые испытания	1.05.2023	
5. Перспективы применения пневмоподпора в качестве пускового устройства.	10.05.2023	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
1. Аналитическая часть	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.03.2023	
2. Расчетно- конструкторская часть	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.04.2023	

3. Стенд для исследования параметров пневмоподпора на базе сильфонов	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	10.04.2023	
4. Стендовые испытания	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.05.2023	
5. Перспективы применения пневмоподпора в качестве пускового устройства.	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	10.05.2023	
Нормоконтролер	Ст.преподаватель, магистр техн.наук Сарыбаев Е.Е.	29.05.23	

Научный руководитель


(подпись)

Бейсенов Б.С.
(Ф.И.О.)

Задание принял

к исполнению магистрант

(подпись)

Кусаинов А.А.
(Ф.И.О.)

Дата " 20 "  2022 г

АҢДАТПА

Бұл жұмыста магистрлік жұмысты орындау барысында шешілген бірқатар міндеттер қарастырылды:

1. Зертханалық шар диірменінің іске қосу қосалқы құрылғысының тұжырымдамасы жүзеге асырылды.

2. 3 камералы тороидалды шардың қуаты мен кеңею сипаттамаларын зерттеу үшін стенд әзірленді.

3. Тороидалды шарлардың параметрлерін зерттеу және бағалау әдістемесі әзірленді.

4. Стендтің аппараттық конструкциясының құрылымы әзірленді.

5. Алынған мәліметтердің дұрыстығы зертханалық диірмені бар стендте тексерілді.

Жұмыс кіріспеден, аналитикалық бөлімнен, есептік-конструкторлық бөлімнен, эксперименттік бөлімнен, стендтік сынақтардың нәтижелерін талқылаудан, қорытындыдан, 17 атаудан пайдаланылған көздер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыс 58 беттен тұрады, 34 суретпен суреттелген.

АННОТАЦИЯ

В этой работе рассмотрены ряд задач, которые были решены в ходе выполнения магистерской работы:

1.Реализована концепция пускового вспомогательного устройства для лабораторной шаровой мельницы.

2.Разработан стенд для исследования силовых и раздвижных характеристик 3-камерного тороидального баллона.

3.Разработана методика исследования и оценки параметров тороидальных баллонов.

4.Разработана структура аппаратурного оформления стенда.

5. Проверена действенность полученных данных на стенде с лабораторной мельницей.

Работа состоит из введения, аналитической части, расчетно-конструкторской части, экспериментальной части, обсуждения результатов стендовых испытаний, выводов, списка использованных источников из 17 наименований. Диссертационная работа изложена на 58 страницах, иллюстрирована 34 рисунками.

ANNOTATION

In this paper, a number of tasks that were solved during the master's work are considered:

1. The concept of a starting auxiliary device for a laboratory ball mill has been implemented.
2. A stand has been developed to study the power and sliding characteristics of a 3-chamber toroidal balloon.
3. A technique for researching and evaluating the parameters of toroidal balloons has been developed.
4. The structure of the hardware design of the stand has been developed.
5. The validity of the obtained data was checked on a stand with a laboratory mill.

The work consists of an introduction, an analytical part, a computational and design part, an experimental part, a discussion of the results of bench tests, conclusions, a list of used sources from 17 titles. The dissertation work is presented on 58 pages, illustrated with 34 drawings.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	10
1	Аналитическая часть	13
1.1	Актуальность применения пуско-вспомогательных устройств в составе приводов барабанных мельниц	13
1.2	Описание объекта для установки устройства	17
1.3	Электропривод барабанных мельниц	18
1.4	Основные причины выбора пуско-вспомогательного привода в качестве альтернативы дополнительному электродвигателю	29
1.5	Описание предлагаемого варианта пуско-вспомогательного устройства	31
1.5.1	Описание системы управления	35
1.6	Аппаратура для проведения исследований	36
1.6.1	Регистратор электрических параметров РПМ-416	36
1.6.2	Электронный динамометр ДЭП/6	38
2	Расчётная часть	39
2.1	Расчет толкающего усилия 3-х камерного тороидального баллона	39
2.2	Расчет толкающего усилия необходимого для работы устройства	39
3	Стенд для исследования параметров тороидального баллона	41
3.1	Описание стенда	41
4	Экспериментальная часть.	43
4.1	Исследование толкающего усилия от хода раздвижки	43
4.2	Методика проведения экспериментальных исследований по определению динамических характеристик пуско-вспомогательного устройства	44
4.3	Результаты стендовых исследований (токовые диаграммы с комментариями).	45
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
	Термины и определения	49
	Условные обозначения	50
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	51
	Приложение А (статья)	53

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Тема исследования является актуальной в свете значительной роли цветной металлургии в тяжелой промышленности РК. В соответствии с основными стратегическими направлениями развития страны, важной задачей является увеличение объемов средств, направленных на техническое обновление и реконструкцию предприятий, а также уменьшение сроков окупаемости капитальных вложений. Чтобы гарантировать высокую работоспособность основных производственных фондов, необходимо полностью проводить работы по модернизации и замене оборудования на действующих заводах.

Для улучшения процесса тонкого измельчения материалов требуется проведение ряда мероприятий. Одним из таких мероприятий может быть увеличение доли средств, направленных на научно-исследовательскую работу и разработку новых технологий, что в свою очередь позволит достичь большей эффективности в процессе измельчения.

Помимо этого, необходимо активно привлекать квалифицированных специалистов и обеспечивать их постоянное обучение и развитие, чтобы они могли использовать все возможности современных технологий для достижения лучших результатов.

Введение новых производственных мощностей в городе не только увеличит производство продукции, но также позволит заменить физически устаревшее оборудование и перевести технологические линии на энергосберегающие способы, повышая тем самым технологический уровень производства. Кроме того, это может создать новые рабочие места и привлечь инвестиции в городскую экономику, что в свою очередь будет способствовать её развитию.

Также важно обратить внимание на экологические аспекты производства. Внедрение современных технологий и энергосберегающих мероприятий позволит сократить вредное воздействие на окружающую среду и повысить экологическую безопасность производства.

Важно применять оптимальные технико-экономические методы измельчения материалов при создании новых заводов, а также при расширении и модернизации уже действующих помольных цехов на цементных предприятиях. В первую очередь, необходимо использовать наиболее современные типы помольных агрегатов, которые обеспечат высокие качественные показатели продукта и надежность эксплуатации.

Измельчение является одним из главных процессов в технологии производства цветных металлов, поскольку сотни миллионов тонн материалов ежегодно подвергаются помолу. В настоящее время используются различные типы мельниц, однако электроэнергия, затрачиваемая на помол, составляет менее 1%. Поэтому любой прогресс в этой области может привести к значительной экономии.

Шаровые барабанные мельницы, которые были использованы в течение более столетия, доказали свою надежность при помоле различных материалов. Эти мельницы имеют простую конструкцию и высокую часовую производительность, что обуславливает их широкое распространение. Тем не менее, современные требования к производству цветных металлов, особенно в части энергоэффективности, высокой производительности и качества готовой продукции, требуют применения более совершенных технологий измельчения материалов. Некоторые из этих типов мельниц обеспечивают более высокий КПД, энергонапряженность и используют меньше мелющих тел и материалов футеровки, что позволяет значительно сократить затраты на производство и повысить его прибыльность.

Также существует потенциал для улучшения производственного процесса с помощью внедрения современных систем автоматизации и контроля, которые позволяют эффективно управлять процессом измельчения материалов и мониторить его параметры. Благодаря этому возможно значительно повысить качество готовой продукции и уменьшить потери материалов в процессе производства.

В целом, модернизация и переход на новые технологии измельчения материалов является необходимой задачей для развития цветной металлургии в РК и повышения ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Создание принципиально новых высокопроизводительных методов измельчения сталкивается с трудностями обеспечения надежности оборудования, от которой в наибольшей степени зависит экономическая целесообразность этих методов.

Комплексное решение вопросов совершенствования современных приводов требует особого внимания к проектированию и реализации механических преобразователей движения. В настоящее время усиливается тенденция к упрощению механических устройств технологического оборудования и к использованию иных источников энергии, кроме электрической.

Одним из наиболее эффективных и безопасных приводов машин и механизмов, используемых в горнодобывающей и металлургической промышленности, является пневматический привод, который имеет ряд существенных преимуществ перед электрическим и гидравлическим приводами.

Новые технологические машины с использованием вспомогательных приводов с использованием энергии сжатого воздуха [1-8,12] будут обладать целым рядом технических преимуществ по сравнению с традиционными электромеханическими:

- простота и дешевизна конструкции;
- значительно меньший вес по сравнению с существующими машинами, выполняющими те же функции;
- значительный крутящий момент;

- возможность регулирования в значительном диапазоне рабочих характеристик силовых элементов;
- высокий коэффициент раздвижности силового элемента;
- высокая способность к поглощению ударных нагрузок благодаря эластичности материала и сжимаемости воздуха;
- использование фактически гибридных технологий.

В сочетании с различными механизмами для преобразования поступательного движения во вращательное они позволят упростить в конструктивном плане привода машин с тяжелым ротором и не только, а также помогут существенно снизить пусковые токи.

На основании изложенного, **целью данной работы является** повышение эффективности приводов барабанных мельниц.

Объектом разработки является пусковой вспомогательный привод барабанных мельниц на базе пневмобаллонов тороидального типа и реечного механизма с использованием энергии сжатого воздуха.

Предмет исследования – силовые и раздвижные параметры тороидальных баллонов и их влияние на формирование пускового импульса.

Задачи исследования:

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Реализовать концепцию вспомогательного привода на базе тороидальных баллонов в макете.
2. Разработать стенд для исследования силовых и распорных характеристик тороидальных баллонов.
3. Доработать стенд для исследования технических параметров привода барабанных мельниц при работе с вспомогательным пневматическим пусковым устройством.
4. Разработать методику исследования и оценки параметров пневмоподпора с учетом данных полученных при исследовании силовых и раздвижных параметров тороидальных 3-х камерных баллонов.
5. Доработать структуру аппаратного оформления стенда.
6. Корректно провести стендовые испытания.

Научная новизна работы заключается в том, что доказана актуальность пускового устройства с использованием энергии сжатого воздуха, установлены зависимости между параметрами силовыми и раздвижными характеристиками тороидальных баллонов и пусковыми токами барабанных мельниц.

Апробация полученных результатов. Полученные результаты опубликованы и доложены на научно-практической конференции «Сатпаевские чтения – 2022».

1 Аналитическая часть

1.1 Актуальность применения пуско-вспомогательных устройств в составе приводов барабанных мельниц

На предприятиях горно-металлургического комплекса эксплуатируется значительное число технологических машин с тяжелым ротором: барабанные мельницы, сушильные печи, конвертеры, миксеры и т.д.

Из-за их большой инерционной массы наиболее неблагоприятными их режимами в эксплуатации являются пусковые режимы, на которых наблюдается многократное превышение нагрузок на пусковые устройства, что чревато снижением их ресурса, частыми отказами и необходимостью их ремонта.

Для предотвращения неблагоприятных режимов пуска тяжелого роторного оборудования в эксплуатации предпочитают их не останавливать даже при отсутствии сырья, поэтому они длительное время работают без загрузки «вхолостую». Расход электроэнергии в таком режиме непродуктивной работы может в течение нескольких лет превысить десятки миллионов тенге или стать сопоставимой со стоимостью новой мельницы.

При больших мощностях приводов шаровой рудоразмольной мельницы (к примеру- МШР, мощностью электропривода от 400 кВт и более) или мельниц самоизмельчения (ММС, мощностью электродвигателя 2000 кВт и более) с низкими оборотами (13 мин^{-1} или немного более) конструкция двигателя достигает огромных размеров. Пусковые токи их электроприводов могут в несколько раз превышать номинальные, в нормальном устойчивом режиме работы. Из-за большой инерционной массы ротора как самого электродвигателя, так и приводимого барабана мельницы, время пуска довольно значительное. На этих режимах наблюдаются значительные «просадки» напряжения в питающей сети, что сказывается на продолжительности пуска и на надежности работы остального электрического оборудования, питающейся от этой сети. Пусковые режимы электроприводов мельниц с нагревом обмоток существенно снижают ресурс их работы и становятся частой причиной отказов.

Если учесть, что на крупных горно-обогатительных предприятиях (ГОКах) количество подобных мельниц достигает многих десятков штук, то легко себе представить проблемы с питающей сетью на предприятии и общую стоимость ремонтов приводов мельниц (синхронного электродвигателя, элементов открытой зубчатой передачи), вызванных прямыми пусками.

В тоже время для тяжелых машин, привода которых работают в повторно-кратковременном режиме эти проблемы даже усугубляются и последствиями, которые могут привести к простоям всей технологической цепочки (отказ привода конвертера, миксера и другого плавильного

оборудования в момент слива металла может привести к остыванию металла и полному выходу из строя).

Решение данной проблемы видится в оптимизации пусковых режимов с использованием оригинальных вспомогательных устройств с большим крутящим моментом, которые позволяткратно снизить нагрузку на основные штатные приводные устройства тяжелого роторного оборудования на пусковых режимах. Эти же вспомогательные пусковые устройства могут применяться для обеспечения проворота барабана при проведении ремонтных работ и перефутеровках. Предпусковое включение таких вспомогательных устройств позволит компенсировать люфт, снизить ударные нагрузки в зацеплениях механических передач тяжелых машин, сдвинет ротор из положения покоя до старта основного электропривода, что в итоге повысит надежность и продлит срок службы.

Эксплуатационная надежность мельничных агрегатов, которые являются основным оборудованием в технологической цепочке, существенно зависит от самых затратных и трудоемких операций по ремонту и перефутеровочных работах. Зачастую замена футеровки при проведении ППР определяет время простоя всей технологической секции. При этом барабан мельницы проворачивают, чтобы работы по укладке плит можно было вести в нижней его части. Для проворачивания барабана мельницы часто применяют краны, лебедки или специальные передвижные или стационарные приводы, предназначенным для поворота барабана во время ремонтных работ. При этом остро стоит вопрос сокращения времени простоя при перефутеровке, что сказывается на увеличении КПД (коэффициента полноты движения), а значит и роста производства. Использование хоть и простого такелажного оборудования существенно усложняет технологические переходы ремонта.

И первом и во втором случае ключом решения проблем может стать пуско-вспомогательное устройство, которое позволит существенно снизить пусковые токи, простои при перефутеровке, выбрать зазоры в передачах и др.

При этом и пусковые режимы и пуск вспомогательное устройство должны быть:

- оптимальными и простыми в конструктивном отношении;
- реализуемыми в условиях действующего предприятия;
- безопасными и экологичными;
- энергоэффективными и унифицированными.

Т.о. можно выделить следующие проблемы, на решение которых будут направлены исследования в рамках данного проекта:

- мониторинг, анализ и оптимизация пусковых режимов приводов роторного оборудования с повышенной инерционной массой;
- разработка простого по конструкции пускового вспомогательного устройства с возможностью встраивания в состав типового привода и учитывающего особенности основного оборудования.

1) Предпосылками к дальнейшим работам являются наработки ППС кафедры, направленные на внедрение в практику модернизации горно-металлургического оборудования пневматических баллонов и резинокордовых оболочек различного типа в качестве вспомогательного и даже основного приводного органа (получено 4 патента на различные варианты пневматического привода с храповым механизмом и обгонной муфтой). Результаты исследований этих приводов показали их высокие силовые характеристики при относительно небольших геометрических параметрах, расходных характеристиках и пилообразном режиме работы. Действующий макет на базе клиновых камерных систем с площадью опорной поверхности $0,5 \text{ м}^2$ при давлении в цеховой пневмомагистральной $0,35 \text{ МПа}$ способен развивать крутящий момент на приводном валу приводной шестерни до $105 \text{ кН}\cdot\text{м}$, при том, что момент сопротивления вращению типовой барабанной мельницы МШР 2800х4400 приведенный к валу приводной шестерни составляет $26,9 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Таким образом для приведения в движение барабана мельницы будет достаточно $0,15 \text{ МПа}$. При том, что основной элемент привода (клиновые камеры) могут быть изготовлены силами производственного персонала из транспортной ленты, а приводной вал, лопасти и опорные элементы силами механического цеха. Точность изготовления не превышает 6 класса.

2) Значительная часть научных исследований, проводимых в последние годы в мире, в основном были направлены на более широкое применение возможностей частотно-регулируемого привода (ЧРП), оптимизацию параметров пуска /5...6/ и модернизацию вспомогательного электромеханического привода /8...16/. Анализ предлагаемых технических решений показал их высокую актуальность, но сложность системы частотного управления и экспоненциальный закон, которому подчинены отказы элементов такого рода приводов ограничивают область их применения на небольших рудообогатительных предприятиях. Но обязательно стоит обратить внимание на то, что преобразователи частоты в РК не производятся, а использование ЧРП зарубежного производства, например фирмы «Данфосс» (Дания) предполагает привлечение специалистов этой компании для установки и последующей эксплуатации. К тому же большинство применяемых рудоразмольных мельниц не укомплектованы вспомогательным приводом. Модернизация же стандартного электромеханического привода может не оправдать вложений.

В перспективе ППС кафедры будет предложена конструкция вспомогательного пускового устройства, отличающаяся простотой конструктивного исполнения и возможностью изготовления силами ремонтно-механической базы (РМБ) предприятия. И в отличие от уже известных вспомогательных приводов в нашем пуско-вспомогательном устройстве будет использована энергия сжатого воздуха. Во всех цехах горно-металлургических

предприятий имеется разводка магистралей со сжатым воздухом, что облегчает процесс внедрения ПВУ.

3) Реализация этих решений позволит расширить область применения подобного рода устройств для таких технологических машин как трубчатые печи, конвертеры и миксеры, рабочие клетки прокатных станов, конвейерные системы большой протяженности и др. Как показала практика резинокордовым оболочкам отводилась роль подъемных, демпфирующих и поддерживающих элементов. Даже серийные пневматические баллоны для систем демпфирования грузовых автомобилей закупаются либо в РФ и дальнем зарубежье. Стоимость клиновых подушек использующихся в департаменте ЧС достигает сотен тысяч тг. Потребность в резинокордовых оболочках различных типоразмеров подтолкнет к их серийному производству малым и частным бизнесом.

4) Результаты внедрения вариаций вспомогательных пусковых устройств в состав приводов тяжелых технологических машин позволит включить их в рекомендательный ряд технических мероприятий при проектировании и конструировании технологических машин. На базе нашего пуско вспомогательного устройства могут быть разработаны привода технологических машин ориентированных формирование больших крутящих моментов и весьма тихоходных. Для реализации этих параметров на базе стандартных зубчатых передач потребуется несколько редукторов и различного вида передач, при этом общий к.п.д. существенно уменьшится. Мы понимаем, что стоимость компримированного воздуха дороже электрической энергии, но большие крутящие моменты, простота конструктивного исполнения, дешевизна материалов и средний класс точности изготовления компонентов привода существенно компенсируют эти недостатки.

Опыт и методики, разработанные в процессе выполнения НИР, повысит конкурентоспособность научных организаций в частности КазННТУ им.К.И.Сатпаева в области использования резинокордовых оболочек в различных сферах применения. Экономический эффект будет получен за счет экономии электроэнергии и зависеть от масштабов внедрения а также расходов связанных с ремонтом синхронных электродвигателей и восстановления автоматизированной системы управления. Стоимость ремонта ротора типового синхронного двигателя 4СДМ-1250К-24-3УХЛ4 в среднем составляет около 10 млн.тг, а статора более 1,5 млн.тг. Т.о. экономический эффект от исключения из статей расходов капитального ремонта 1-го синхронного двигателя может составить до 15 млн.тг., а их например на медно-молибденовой обогатительной фабрике ПО БЦМ не менее 30 штук

5) Анализ НИР проведенных в РК оказал, что работы по оптимизации пусковых режимов барабанных мельниц, не говоря о точном определении полезной мощности мельниц с учетом условий их использования на конкретных предприятиях - фактически не проводились. Из-за этого обычно выбираемый запас мощности может достигать 20-30%, а иногда и больше.

Экономия электроэнергии за счет оптимизации пусковых режимов и установке двигателей с оптимальной полезной мощностью не менее 6 млн.тг./год на одну мельницу.

1.2 Описание объекта для установки пневмоподпора

Барабанные мельницы — это машины, в которых материал измельчается внутри вращающегося корпуса (барабана) под воздействием мелющих тел или самоизмельчением. Мелющими телами служат металлические шары или стержни, окатанная галька. В зависимости от вида этих тел различают шаровые, стержневые, галечные мельницы, и мельницы самоизмельчения. При вращении барабана мелющие тела увлекаются под действием центробежной силы и силы трения вместе с поверхностью стенок на определенную высоту, а затем свободно падают и измельчают материал ударом, раздавливанием и истиранием. Помимо этого материал измельчается между мелющими телами, а также между этими телами и внутренней поверхностью мельницы.

Барабанная мельница (рис.1) состоит из горизонтального цилиндрического корпуса (барабана) 12, закрытого торцовыми крышками 9 и 15 с пустотелыми цапфами 6,16, установленными в подшипниках 7. Мельница приводится во вращение через зубчатый венец 11 от шестерни 3 приводного вала. Барабан и крышки мельницы футерованы стальными плитами 14, поверхность которых для уменьшения проскальзывания мелющих тел часто выполняется волнообразной или ступенчатой. Материал в мельницу подается питателем через загрузочную цапфу 16. Измельченный материал удаляется через разгрузочную цапфу 6 на другом конце аппарата.

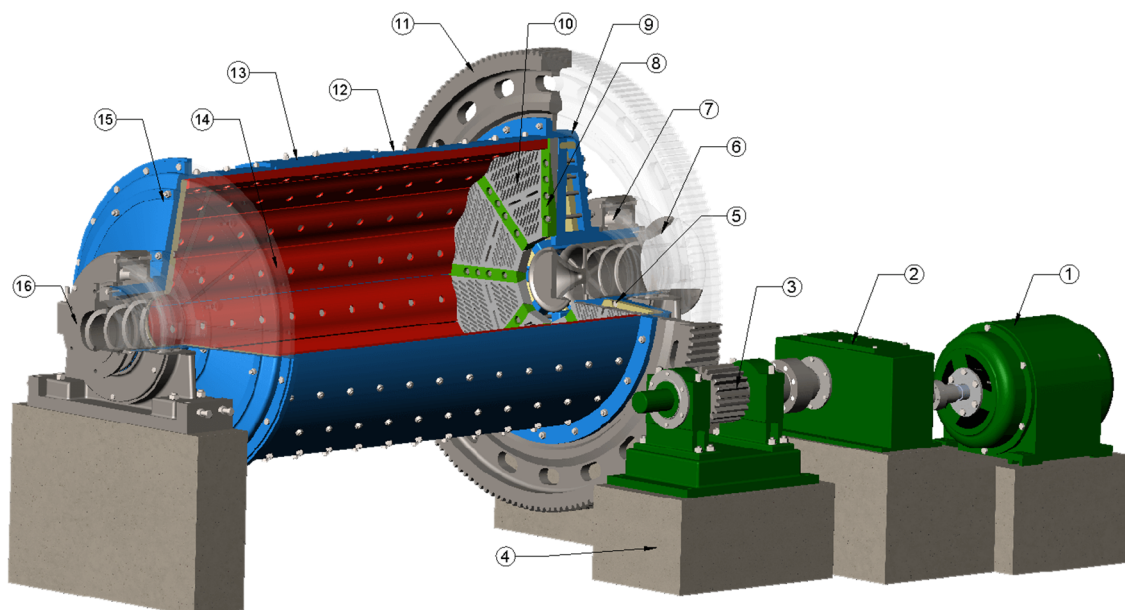


Рисунок 1 – Барабанная мельница

Измельчение проводится как *мокрым* (широко применяющимся в барабанных мельницах), так и *сухим* способом. При мокром измельчении суспензия сливается через разгрузочную цапфу. При сухом измельчении материал движется вдоль оси барабана за счет перепада уровней загрузки и разгрузки и разгружается через цапфу 16 под действием собственного веса или выводится воздушным потоком, возникающим при отсасывании воздуха из барабана вентилятором.

По способу разгрузки продукта различают мельницы с разгрузкой через решетку 10, из которых продукт выходит через решетчатую диафрагму 8 у разгрузочного конца, и с центральной разгрузкой через полую цапфу (без решетки). В мельницах первого типа разгрузочная решетка 8 снабжена радиальными ребрами (лифтерами) 10, принудительно разгружающими измельченный продукт. Поэтому в таких мельницах, применяемых только для мокрого измельчения, уровень суспензии может быть ниже уровня разгрузочной цапфы, т.е. ниже, чем в мельницах с центральной разгрузкой. Благодаря этому удары мелющих тел меньше смягчаются пульпой и эффективность измельчения повышается. Уровень суспензии в мельнице можно регулировать, перекрывая часть отверстий диафрагмы. При разгрузке через решетку удельная производительность мельницы увеличивается на 15-30%, продукт измельчения получается более равномерным по крупности.

Недостатками таких мельниц являются: уменьшение рабочего объема и увеличение веса машины (за счет диафрагмы и лифтеров), возможность забивания отверстий решетки изношенными мелющими телами.

1.3 Электропривод барабанных мельниц

Синхронные приводы шаровых мельниц и сами агрегаты являются главным технологическим оборудованием обогатительных фабрик. Синхронные двигатели (рис.2) применяются для шаровых, трубных и стержневых мельниц; для центробежных и поршневых насосов и компрессоров, вентиляторов, газодувок, молотковых дробилок, прокатных станов, резиновых вальцов и так далее.



Рисунок 2 – Общий вид синхронного электродвигателя

Главное преимущество синхронных двигателей перед асинхронными двигателями заключается в том, что путем изменения тока возбуждения можно изменять величину реактивной мощности двигателя.

В зависимости от величины тока возбуждения реактивная мощность может выдаваться в сеть (при возбуждении) и потребляться из сети (при недовозбуждении).

Синхронные двигатели обычно выполняются для работы с опережающим коэффициентом мощности, то есть для выдачи реактивной мощности в сеть, по этому широкое применение синхронных приводов способствует решению важной проблемы систем электроснабжения – проблемы получения и распределения реактивной мощности.

Шаровые мельницы относятся к типу дробильно-размольных механизмов. Эти механизмы применяются для дробления и измельчения горных пород, продуктов химической промышленности, отходов металлургического производства и т.д.

Для привода шаровых мельниц наиболее широко распространены электроприводы с синхронными двигателями частотой вращения 150-200 об/мин и мощностью до 6 МВт. Коэффициент полезного действия современных синхронных двигателей достигает значения 96-98%.

Важным достоинством синхронных двигателей в конструктивном отношении является больший воздушный зазор, чем у асинхронных двигателей. Отмеченные особенности и явились причиной предпочтения к применению синхронного двигателя в приводе шаровой мельницы. Для расчёта мощности мельниц применима очень точная формула, полученная Всесоюзным теплотехническим институтом (ВТИ, Москва) и Центральным котлотурбинным институтом (ЦКТИ, Ленинград) при испытаниях углеразмольных мельниц. Мощность на валу двигателя шаровой мельницы определяется по следующей формуле /13,14/:

$$N_{В.ДВ} = N_{хол} + N_{ш} ,$$

где $N_{хол}$ – мощность холостого хода (без шаров и материала);

$N_{ш}$ – расход мощности на движение шаров и материала, включая дополнительную мощность на трение в цапфах от веса шаров.

Мощность холостого хода, отнесенная к оси барабана, определяется:

$$N_{ос.б} = 3 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{D} \cdot L \cdot \psi.$$

где D – внутренний диаметр мельницы, м;

L – внутренняя длина, м;

ψ – коэффициент относительной скорости:

$$\psi = \frac{n}{n_{\text{кр}}}.$$

где n – скорость вращения барабана, об/мин;

$n_{\text{кр}}$ – скорость вращения барабана, соответствующая критической скорости, об/мин:

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,2}{\sqrt{D}}.$$

Полный расчёт мощности определяется:

$$N = 3,3 \cdot \sqrt{2} \cdot \gamma_0 \cdot D^{2,5} \cdot L \cdot \varphi^{0,9} \cdot \psi$$

где: γ_0 – вес единицы объёма шаров вместе с материалом, находящимся между шарами

$\varphi^{0,9}$ – величина, которая определяется при $\varphi = 0,45$.

Установочная (номинальная) мощность двигателя назначается с некоторым запасом по отношению к необходимой мощности на валу:

$$N_{\text{дв}} = (1 + K_{\text{уст}}) \cdot N_{\text{в.дв}}$$

где $K_{\text{уст}}$ – коэффициент запаса, или установочный коэффициент.

Обычно $K_{\text{уст}}$ назначают в зависимости от ожидаемых колебаний нагрузки и возможных пиков её. В среднем для барабанных мельниц считается нормальным запасом 10%, т.е. принимают $K_{\text{уст}} = 0,10$. Исходя из вышеизложенного, для привода шаровой мельницы применили синхронный двигатель, что позволяет улучшить технико-экономические показатели фабрики.

Поскольку использование электродвигателей стало широко распространенным, преодоление проблем с их запуском стало проблемой. На протяжении многих лет для решения этих задач были разработано несколько методов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения.

В последнее время были достигнуты значительные успехи в использовании электроники в регулировании электроэнергии для двигателей. Все чаще при запуске электроприводов насосов, вентиляторов применяются устройство плавного пуска. Всё дело в том, что прибор имеет ряд особенностей. Особенностью устройства пуска является то, что он плавно подаёт на обмотки двигателя напряжение от нуля до номинального значения, позволяя двигателю плавно разгоняться до максимальной скорости. Развиваемый электродвигателем механический момент пропорционален квадрату приложенного к нему напряжения. В процессе пуска УПП постепенно увеличивает подаваемое напряжение, и электромотор разгоняется

до номинальной скорости вращения без большого момента и пиковых скачков тока.

Влияние способа пуска на пусковые характеристики электродвигателя

Электродвигатели являются неотъемлемой частью многих промышленных процессов, поэтому пуск электродвигателя - это важный этап, который необходимо учитывать при его эксплуатации. Существует несколько способов пуска, которые могут быть применены в зависимости от конкретной ситуации.

Прямой пуск - это самый простой и дешевый способ пуска электродвигателя. Однако он сопровождается резким увеличением тока и крутящего момента в момент пуска, что может привести к повреждению механизма и снижению его эффективности. Поэтому прямой пуск используется только в тех случаях, когда мощность электродвигателя невелика.

Пуск по схеме звезда-треугольник - это более сложный способ пуска, который позволяет снизить ток и крутящий момент в момент пуска. Однако он требует наличия специального устройства, которое может значительно увеличить стоимость электродвигателя.

Устройство плавного пуска - это наиболее совершенный и дорогой способ пуска, который позволяет снизить ток и крутящий момент в момент пуска путем постепенного увеличения напряжения на обмотке электродвигателя. Этот способ пуска позволяет значительно снизить нагрузку на механизм и продлить его срок службы.

Следует отметить, что выбор способа пуска электродвигателя зависит от его мощности, конструкции и условий эксплуатации. Правильный выбор способа пуска поможет избежать многих проблем при эксплуатации электродвигателя и продлит его срок службы.

В производственном процессе, где применяются электродвигатели переменного тока, существует несколько распространенных проблем, связанных с пуском и остановкой двигателей.

Таблица 1 - Сравнение разных способов пуска

Сравнение	Способ пуска			
	Прямой пуск	Пуск по схеме «звезда – треугольник»	Устройство плавного пуска	Преобразователь частоты
Снижение высокого пускового тока	Нет	Да	Да	Да
Уменьшение износа подшипников, валов, редукторов и т. д.	Нет	Частично	Да	Да
Предотвращение проскальзывания ремней	Нет	Частично	Да	Да
Устранение пиков момента/тока	Нет	Нет	Да	Да
Предотвращение гидроударов в трубопроводах	Нет	Нет	Да	Да
Необходимость в регулировании частоты вращения	Нет	Нет	Нет	Да

В таблице показаны некоторые проблемы, которые можно решить с помощью различных способов.



Рисунок 3 - Графики изменения пускового тока и крутящего момента в зависимости от способа пуска электродвигателя.

Распространенные проблемы при пуске электродвигателя

Высокий пусковой ток является одной из наиболее распространенных проблем при пуске электродвигателей переменного тока. Для намагничивания двигателя требуется большое количество энергии, что приводит к резкому повышению пускового тока. Это может вызвать проблемы в системе электроснабжения, такие как падение напряжения и импульсные помехи.

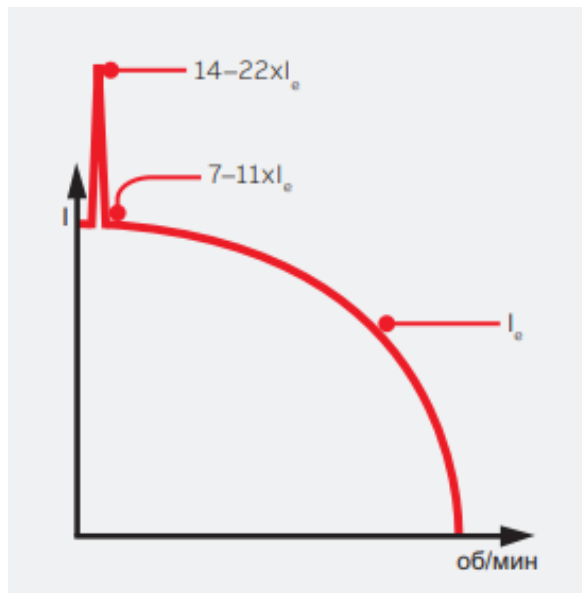


Рисунок 4 – График зависимости пусковых токов от числа оборотов

Кроме того, при пуске и остановке электродвигателя могут возникать и механические проблемы. Высокий износ элементов и устройств, проскальзывание ремней, повреждение изделий на ленточных конвейерах и гидроудары при останове насосов - все эти проблемы могут увеличивать затраты на техническое обслуживание и замену оборудования. Чтобы избежать этих проблем, важно выбрать подходящий способ пуска и остановки электродвигателя, а также регулярно производить техническое обслуживание и ремонт оборудования. Распространенные электрические проблемы при пуске - броски тока при пуске после коммутации силовой цепи - падение напряжения в сети.

Кроме того, распространенными механическими проблемами при пуске и останове электродвигателя являются высокий износ, проскальзывание ремней, повреждение изделий на ленточных конвейерах и гидроудары при останове насосов. Эти проблемы могут повышать затраты на техническое обслуживание и снижать производительность оборудования.

Для решения проблем с пуском и остановкой электродвигателей используются различные технологии, такие как частотные преобразователи, плавный пуск, синхронизация, запуск со звездочка-треугольника и другие. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, и выбор определенной технологии зависит от конкретных условий эксплуатации и требований к электродвигателю.

Важно помнить, что правильный выбор пускового оборудования и защитных устройств является ключевым моментом для обеспечения надежной и безопасной работы электродвигателя. Неправильный выбор может привести к снижению эффективности работы оборудования, повышенному расходу энергии, повреждению оборудования и даже к аварийным ситуациям. Поэтому, перед выбором конкретного способа пуска электродвигателя,

необходимо провести тщательный анализ условий эксплуатации и требований к оборудованию.

Прямой пуск (DOL)

Наиболее простой и доступный способ запуска электродвигателей, который позволяет сэкономить на стоимости управляющих устройств и настройке системы управления. При этом важно учитывать, что прямой пуск характеризуется высоким пусковым током, что может привести к перегрузке электрической сети и повреждению оборудования.

Для избежания подобных проблем, применяются дополнительные устройства, такие как аппараты защиты от перегрузки, которые обеспечивают автоматическое отключение электродвигателя в случае возникновения перегрузки или короткого замыкания.

Кроме того, важно учитывать, что прямой пуск может быть неэффективен для работы с нагрузками, которые имеют большое инерционное сопротивление, что может привести к снижению эффективности работы оборудования.

Для управления прямым пуском может использоваться как ручное, так и автоматическое управление. В случае ручного управления используются выключатели, а в случае автоматического управления – системы управления.

В целом, прямой пуск является оптимальным способом запуска электродвигателей при работе с небольшими мощностями и жестко связанными приводными элементами, но при работе с более сложными системами рекомендуется использовать более продвинутые методы управления.

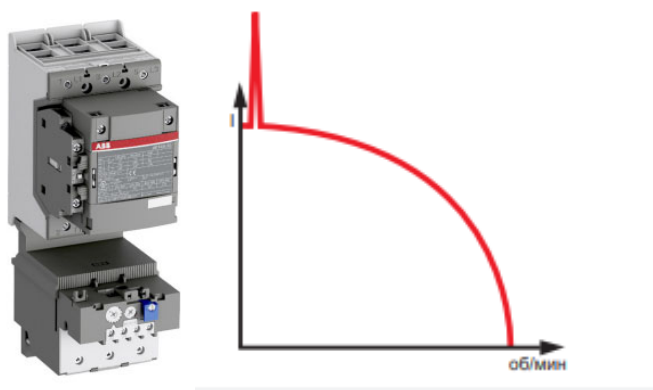


Рисунок 5 - Диаграмма крутящего момента при прямом пуске

Прямой пуск, как было упомянуто ранее, имеет свои преимущества и недостатки. Однако, не всегда прямой пуск подходит для всех типов электродвигателей и условий их использования. В таких случаях можно использовать другие способы пуска, например, пуск по схеме «звезда — треугольник».

Кроме того, следует учитывать, что при прямом пуске электродвигателя возникают высокие пусковые токи и крутящие моменты, что может приводить

к механическому износу механизмов и устройств, находящихся в системе. Также, при прямом пуске отсутствует возможность контроля параметров пуска, что может быть нежелательно при работе с некоторыми типами нагрузок.



Рисунок 6 – Графики изменения пусковых токов от нагрузки

Пуск по схеме «звезда — треугольник» имеет ряд преимуществ, однако также есть и некоторые ограничения.

Данный способ пуска может использоваться только для двигателей, которые подключены по схеме «треугольник» во время непрерывной работы и имеют 6 клемм подключения обмоток электродвигателя.

Также необходимо учитывать, что при пуске по схеме «звезда — треугольник» происходит переключение обмоток, что может повлечь за собой некоторые особенности в работе двигателя.

В целом, выбор способа пуска электродвигателя зависит от требований процесса, условий использования и наличия необходимых средств для его реализации.

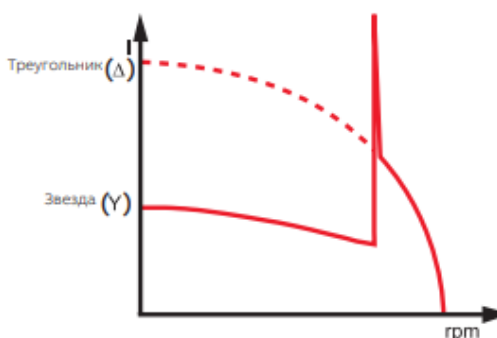


Рисунок 7- График изменения пусковых токов при переключении со «звезды» на «треугольник».

Пуск по схеме «звезда — треугольник» используется:

- при небольших нагрузках;
- когда необходимо снизить ускорение;
- когда допустимы броски тока.

При пуске по схеме «звезда — треугольник» уменьшаются и ток, и крутящий момент, а параметры двигателя не регулируются. Это означает, что если пусковой момент будет слишком низким, то двигатель не запустится. Также при переключении со схемы «звезда» на схему «треугольник» происходит кратковременный бросок тока.

Преимущества

- Простота конструкции
- Относительно невысокая
- Низкий пусковой ток (только при успешном пуске)

Недостатки

- Только прямой останов
- Сложная установка
- Низкий пусковой крутящий момент
- Большие по амплитуде значения пикового тока переходного процесса при переключении со схемы «звезда» на схему «треугольник»

Преобразователь частоты

Преобразователь частоты или частотно-регулируемый привод состоит из двух функциональных частей, одна из которых преобразует переменный ток 50/60 Гц в постоянный ток, а другая — постоянный ток в переменный с частотой 0~250 Гц. За счет регулирования частоты преобразователь частоты может также управлять скоростью вращения двигателя. Этот способ пуска самый дорогой, но в то же время наиболее универсальный. Это значит, что он также подходит для управления технологическим процессом. В большинстве случаев преобразователь частоты используется только для пуска и останова двигателей, не требующих регулирования скорости в процессе работы. В таком случае преобразователь частоты по сравнению с устройством плавного пуска является дорогим решением с избыточным функционалом.



Рисунок 8 – Преобразователь частоты

Преобразователь частоты используется:

- при необходимости регулировать частоту вращения электродвигателя в ходе технологического процесса;
- при отсутствии ограничений бюджета и пространства для реализации технического решения.

В некоторых случаях требуется постоянное регулирование частоты вращения электродвигателя. Это возможно реализовать путем преобразования частоты питающего напряжения с помощью частотно-регулируемого электропривода. Преобразователь частоты в течение всего процесса пуска обеспечивает номинальный крутящий момент и номинальный ток электродвигателя.

При пуске с помощью преобразователя частоты значения крутящего момента и тока близки к номинальным.

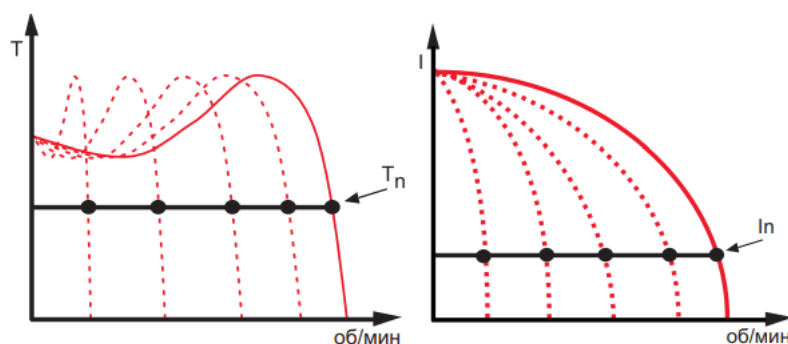


Рисунок 9 - Графики изменения пускового тока и крутящего момента при частотном регулировании

Преимущества

- Номинальный ток и крутящий момент во время пуска
- Управление частотой вращения и плавный останов
- Встроенная защита электродвигателя
- Снижение частоты вращения для энергосбережения

Недостатки

- Высокое тепловыделение
- Большие габаритные размеры и вес
- Генерация гармоник
- Ограниченное энергосбережение при номинальной частоте вращения.

Устройство плавного пуска

Устройство плавного пуска используется для управления электродвигателями, работающими при номинальной частоте вращения. Устройство предназначено для пуска, останова и, в случае наличия расширенного функционала, для защиты трехфазных электродвигателей. С помощью тиристоров оно регулирует напряжение питания электродвигателя и

таким образом контролирует ток, крутящий момент и ускорение. За счет различных настроек работу УПП можно отладить в зависимости от нагрузки, что обеспечивает минимальное значение тока для различных областей применения.



Рисунок 10- Устройства плавного пуска

Устройство плавного пуска используется:

- когда электродвигатель должен работать с номинальной частотой вращения;
- когда необходим пониженный ток для защиты питающей сети;
- когда для снижения затрат на техническое обслуживание требуется пониженный крутящий момент;
- когда требуется готовое решение для пуска и защиты электродвигателя.

С помощью устройства плавного пуска можно регулировать питающее напряжение электродвигателя для достижения требуемых пусковых характеристик. Чем выше нагрузка, тем выше необходимый крутящий момент и ток в сравнении с показателями при низкой нагрузке. Кроме того, медленный разгон уменьшает износ оборудования.

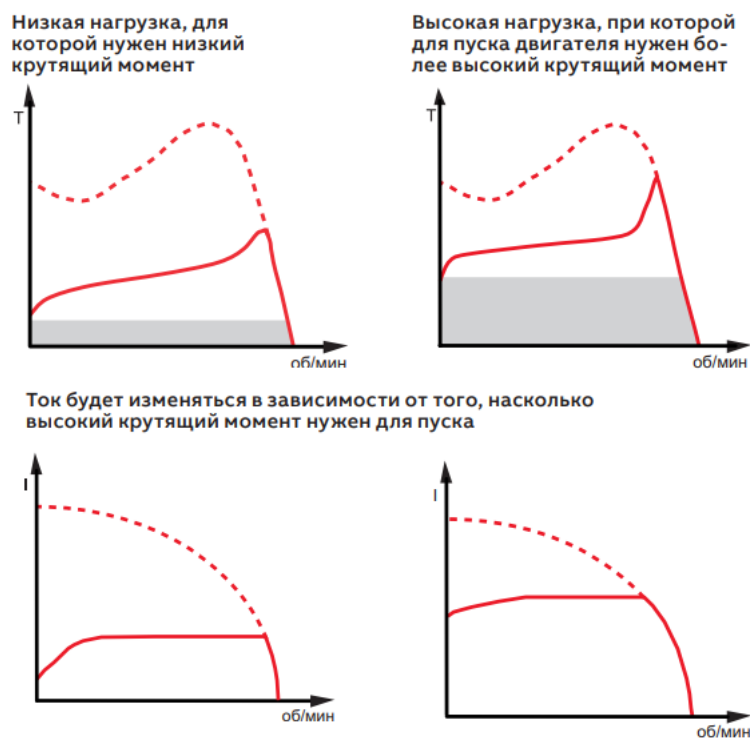


Рисунок 11 - Графики изменения пускового тока и крутящего момента при плавном пуске.

Преимущества

- Сниженный пусковой ток
- Пусковой момент соответствует применению
- Возможность плавного останова
- Встроенная защита электродвигателя

Недостатки

- Невозможно управлять частотой вращения.

Но мы обратили внимание на способ запуска с помощью дополнительного электродвигателя, но вместо него задействовали пуско-вспомогательное устройство на базе реечного механизма с импульсным толкателем в виде 3-секционного тороидального пневмобаллона.

Главную задачу которую должен решить пуско-вспомогательный привод – создать силовой импульс для преодоления сил трения покоя и выбор зазоров в зубчатых зацеплениях. После чего на обмотку возбуждения ротора подать постоянное напряжение.

1.4 Основные причины выбора пуско-вспомогательного привода в качестве альтернативы дополнительному электродвигателю

Пневматические приводы получили широкое применение в самых различных отраслях человеческой деятельности: в станкостроении, транспортном машиностроении, литейном и кузнечном производстве, полиграфическом машиностроении, строительном и автомобильном деле,

самолётостроении, в ракетных двигателях, в кожевенной и пищевой промышленности, на железнодорожном транспорте, в топливно-энергетическом комплексе, химической промышленности, космонавтике и т. д. В настоящее время трудно назвать отрасль промышленности, в которой бы не применялись пневматические приводы в том или ином виде. Пневмоустройства используются в качестве приводов зажимных и транспортирующих механизмов, для дистанционного управления и регулирования, в контрольно-измерительных приборах, при автоматизации машин и устройств, работающих в агрессивных средах, в условиях пожаро- и взрывоопасности, радиации, а также в условиях значительных вибраций и высоких температур. Элементы пневмоавтоматики и пневмоприводы всё больше внедряются в медицинские приборы различного назначения - для искусственного дыхания, кровообращения, инъекций и т. д. .

Широкое применение пневмоприводов объясняется их преимуществами по сравнению с другими средствами автоматизации, однако, пневматические приводы обладают и рядом недостатков, которые сдерживают их применение. Рассмотрим достоинства и недостатки пневмопривода необходимо в сравнении с другими конкурирующими видами приводов - с электрическим и гидравлическим.

Основные недостатки пневматического привода в сравнении с электрическим заключаются в меньшей скорости срабатывания, сложности регулирования скорости и обеспечения требуемого закона движения и, как следствие, в сложности адаптации привода к изменяющимся динамическим нагрузкам, и, наконец, в большем уровне шума при работе и утечках воздуха. Преимущество пневмопривода перед электроприводом состоит в том, что имеется возможность воспроизводить поступательное движение без каких-либо передаточных механизмов. Это преимущество становится особенно очевидным в тех случаях, когда необходимо осуществлять возвратно-поступательное движение. Пневмоустройства вращательного движения отличаются от электродвигателей меньшими габаритами, нечувствительностью к длительным перегрузкам, простотой регулирования, полной безопасностью для оператора. Значительным преимуществом пневмопривода перед электроприводом является его взрывопожаробезопасность, что позволяет использовать его в нефтяной и газовой промышленности, на атомных электростанциях .

По сравнению с гидравлическим приводом пневмопривод имеет большие размеры, а при равных габаритах развивает меньшие усилия; это объясняется более высоким давлением жидкости в гидроприводе. Кроме того, гидропривод лучше справляется с задачами позиционирования и точнее отработывает координаты. Вместе с тем, для пневмопривода характерны более высокая скорость срабатывания, меньшая длина возвратных линий, более низкая стоимость, меньшие требования в отношении герметичности, большая независимость от колебаний температуры .

Итак, пневматические приводы получили широкое распространение практически во всех отраслях промышленности благодаря низкой стоимости, малой чувствительности к условиям работы, взрыво - пожаробезопасности, высоким скоростям перемещения груза. Тем не менее, в отдельных случаях пневматический привод проигрывает конкурирующим видам приводов (гидравлическому и электрическому). Существует ряд задач, которые пневматические приводы не способны решать эффективно из-за сильной сжимаемости их рабочей среды - воздуха. Одной из таких задач является безударная остановка привода в конце хода при условии изменения массы груза в широком диапазоне. Удар может привести к потере предмета транспортирования из-за очень больших ускорений в момент удара или вызвать длительный колебательный процесс исполнительных органов (консольных звеньев) технологической машины, что в свою очередь может привести к уменьшению производительности машины из-за необходимости ожидания завершения колебательного процесса, ускоренному износу машины, уменьшению её точности из-за пластических деформаций соударяющихся звеньев. Сложность адаптации пневмопривода к изменяющимся динамическим нагрузкам приводит при одних массах грузов к удару в конце хода, при других массах грузов - к увеличению длительности переходного процесса из-за малых ползучих скоростей.

Указанные недостатки, характерные для пневматических приводов, на практике приводят к отказу конструкторов технологического оборудования от пневматического привода или к неоправданному снижению скорости в последнем во избежании сильных ударов. Таким образом, работа по созданию высокоскоростного пневматического привода, способного плавно останавливаться в конце хода вне зависимости от массы перемещаемого груза, является актуальной и представляет большой практический интерес.

Несмотря на перечисленные недостатки пневмопривода, его потенциальные возможности далеко не исчерпаны и работы над усовершенствованием пневмоприводов продолжаются. Это касается как вопросов торможения и позиционирования, так и вопросов повышения быстродействия и адаптации приводов к изменяющейся в широком диапазоне динамической нагрузке.

1.5 Описание предлагаемого варианта пуско-вспомогательного устройства

Проблемы пуска технологических машин с тяжелым ротором известны – это и большие пусковые токи, которые приводят к выходу из строя электродвигатели и перегрузки элементов привода и повышенный износ опорных узлов из-за необходимости преодоления сил трения покоя в момент пуска, при длительных остановках и т.д.

Для решения этой проблемы на кафедре ТМиТ SU с 2000-х годов ведутся работы в этом направлении. Были разработаны варианты пуско-вспомогательных приводов на базе тороидальных и клиновых пневмокамер /11,15,16,17/, которые подтвердили свою эффективность при испытаниях на специально разработанных стендах. Пусковые токи удалось снизить 30% и 40% соответственно, но в конструктивном отношении они были достаточно сложны.

В настоящее время мы вышли на вариант пускового устройства с использованием реечного механизма, на который еще в 2022 году был получен патент.

Для проверки возможностей пуско-вспомогательного устройства в составе привода лабораторной мельницы со стороны главного привода (между приводным валом редуктора и шейкой торца вала барабана) был установлен вариант привода этого типа (рис.12)



Рисунок 12 – Общий вид устройства

Конструкция пуско-вспомогательного устройства

Устройство состоит из рамы в торце которой установлен 3-секционный тороидальный баллон 1 с пневматическим блоком управления 2 (рис.13), который мы называли управляющим блоком (рис.6).

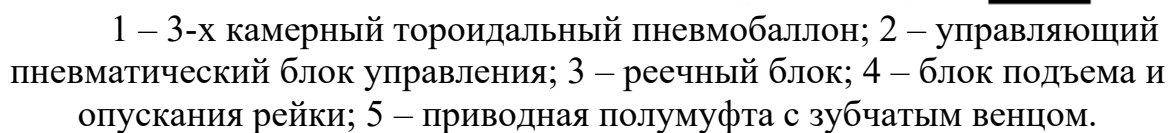


Рисунок 14 – Блок управления перемещениями рейки.

33



Рисунок 15— Блок подъема и опускания рейки.

Предварительный анализ и исследования показали возможность применения пневматических баллонов в качестве силовых элементов предыдущих вариантов пуско-вспомогательных устройств (ПВУ) барабанных мельниц. ПВУ рассчитывались на давление 0,4... 0,5 МПа т.е рабочее давление в цеховых пневмомагистралях.

В качестве силового элемента пускового устройства предлагается использовать пневматические баллоны (3-х камерные тороидальные) Тип 340-250 (диаметр опорной части $\varnothing=300$ мм, раздвижностью $\delta=0...280$ мм.) и толкающим усилием до 20,0 кН. (рис.16)



Рисунок 16 – 3-х камерный тороидальный пневмобаллон

Для того, чтобы преобразовывать возвратно-поступательное движение во вращательное, имеющее одно направление было принято использовать реечный механизм. (рис.16)

Отличительной особенностью реечных механизмов является то, что они позволяют производить изменение величины поступательных перемещений рабочих частей станков и машин различного назначения, причём в весьма широком диапазоне и достаточно точно.

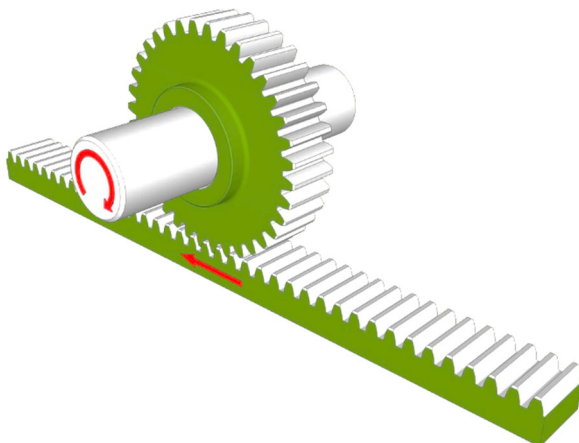
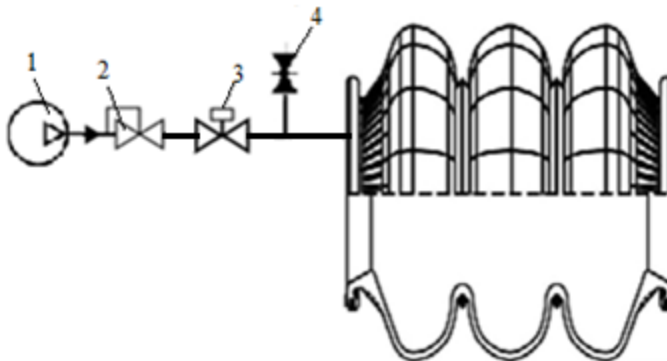


Рисунок 17 - Реечный механизм

1.5.1 Описание системы управления

Для управления ПВУ была разработан блок управления, позволяющая работать в автоматическом режиме (рис.17).



- 1- воздушный компрессор; 2 – пневматический редуктор;
3 – электромагнитный клапан; 4 – выпускной клапан

Рисунок 18 - Принципиальная схема управления

Система работает следующим образом:

- воздух из пневмомагистрали либо из ресивера компрессорной установки 1 подается на блок управления подачей воздуха, в котором он снижается до установленного предела в пневматическом редукторе 2 и запирается электромагнитным клапаном 3;
- при нажатии на кнопку «пуск» электромагнитный клапан 3 открывается, сжатый воздух поступает в полость сильфона. Последний при раздвижке толкает реечный блок приводя во вращение приводную муфту закрепленную на шейке вала барабана.

- по мере достижения упором закрепленного на переднем торце сильфона конечного выключателя, последний замыкает цепь пускового реле главного электродвигателя – барабан начинает вращение. При последующем перемещении зубчатой рейки, зубья венца попадают в зону рейки без зубьев. Кнопка «пуск» в этом положении должна быть отпущена – подача воздуха в сильфон прекращается. По мере завершения замеров пускового тока работа мельницы должна быть остановлена, кнопкой «стоп» на панели управления главным приводом.

Вывод зубчатой рейки из зацепления с венцом приводной полумуфты может быть осуществлен только после полной остановки вращения барабана мельницы и обесточивания электросхемы. Для опускания рейки достаточно повернуть вал эксцентрикового механизма на 180^0 . После этого воздух из сильфоны может быть выпущен посредством клапана 4, при этом газовая стойка вернет сильфон в исходное состояние.

1.6 Аппаратура для проведения исследований

1.6.1 Регистратор электрических параметров РПМ-416

Для более точных исследований и контроля параметров было принято решение использовать регистратор электрических параметров РПМ-416 (рис.19). РПМ-416 является микропроцессорным устройством, предназначенным для измерения и регистрации тока, напряжения, мощности, частоты и др. значений электрических параметров сети, аналоговых и дискретных сигналов с последующим анализом полученных результатов на ПК.

- Архивирование данных выполняется на сменную карту памяти (SD/MMC) с привязкой к реальному времени.
- Регистратор конструктивно выполнен в пластмассовом корпусе, предназначенном для крепления на DIN-рейку.
- Имеет 15 каналов измерения.



Рисунок 19 – Регистратор электрических параметров РПМ-416 "

Программирование производится кнопками расположенными на передней панели прибора, с просмотром введенных данных на встроенном дисплее, или через бесплатную специализированную программу, установленную на ПК. Программа предоставляет возможность распечатывать графики и таблицы заархивированных измерений, считанных с карты памяти регистратора. Также программа позволяет удаленно конфигурировать регистратор и отслеживать его работу в режиме реального времени по протоколу **Modbus TCP**.

Особенности регистратора РПМ-416.

- Тип измерений - RMS / Мгновенное / Пиковое.
- Запись на карту памяти «до заполнения» или «по кольцу».
- Прямое измерение переменного напряжения от 3 до 450В.
- Возможность подключения трансформаторов напряжения с выставлением коэффициента преобразования от 1 до 5000.
- Работа с трансформаторами тока от 5 до 2000А с классом точности 0,5 или 0,5 S.
- Настройка и управление с передней панели или через ПК.
- Четырехстрочный символьный дисплей с отключаемой подсветкой.
- Часы реального времени.
- 15 физических + 4 виртуальных каналов измерения и регистрации.
- Бесплатное программное обеспечение для анализа измерений.
- Устанавливаемая карта памяти (SD/MMC).
- Ethernet 10Base-T / 100Base-T.
- Modbus TCP , FTP.
- Отключаемый пароль.
- Русифицированное меню.

Для замера пусковых токов на фазных линиях электродвигателя используем измерительный трансформатор тока ИПТ-01 (рис.20), подключаемый к регистратору РПМ-416.



Рисунок 20 – Измерительный трансформатор тока ИПТ-01

1.6.2 Электронный динамометр ДЭП/6

Динамометры электронные переносные ДЭП/6 предназначены для измерения статической и медленно изменяющейся силы растяжения и сжатия. Электронный динамометр ДЭП/6 представляет собой устройство на основе датчика силы для измерения усилий, воздействующих на различные элементы механических конструкций в процессе их испытаний, монтажа и эксплуатации. Датчик силы включается в разрыв силовой схемы. Также датчики силы могут быть использованы как измерительный элемент любого вида весов, динамометрических схем и других устройств.

Динамометры ДЭП/6 применяются на предприятиях различных отраслей промышленности для измерений силы, при периодической поверке испытательных машин и стендов, при калибровке и поверке в качестве эталонных средств измерений силы 2-го разряда по ГОСТ Р 8.640-2014 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы»



Рисунок 21 - Индикатор WI-19



Рисунок 22 -Тензодатчик

2 Расчётная часть

2.1 Расчет толкающего усилия 3-х камерного тороидального баллона



Рисунок 23 – Схема тороидального 3-х камерного пневмобаллона

$$P = S \cdot p = 0,077 \cdot 5 \cdot 10^5 = 38500 \text{ Н} \approx 38,5 \text{ кН},$$

где S – площадь опорной поверхности баллона,

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,077 \text{ м}^2.$$

p - рабочее давление в пневмобаллоне, $0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

2.2 Расчет толкающего усилия необходимого для работы устройства

Для определения крутящего момента, который необходимо преодолеть устройством, рассчитаем момент сопротивления вращению барабана мельницы:

$$M_{\text{сопр}} = M_{\text{тр}} + M_{\text{ин}};$$

Сначала рассчитываем $M_{\text{тр}}$ – момент от трения в опорных подшипниках, Н·м;

$$M_{\text{тр}} = 0,5 \cdot f \cdot P \cdot d_n^2 \cdot l_n = 0,5 \cdot 0,04 \cdot 548696 \cdot 0,9^2 \cdot 1,1 = 9777 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

где f - коэффициент трения скольжения по баббиту, $f = 0,04 \div 0,004$;
 P - удельное давление в подшипнике, Па;

$$P = \frac{0,5 \cdot F}{d_n \cdot l_n} = \frac{0,5 \cdot 800\,000}{(0,3 \cdot 2,7 \cdot (0,25 \cdot 3,6))} = 548696 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

d_n и l_n - диаметр и длина опорного подшипника скольжения, ($d_n = 0,3 D$;
 $l_n = 0,25L$; $D = 2,7$ м; $L = 3,6$ м), м.;

F - вес барабана мельниц наиболее распространенных на ГОК-ах, 80 т (+36т)

Следующий показатель $M_{ин}$ - момент от сил инерции в период пуска привода мельницы, он ориентировочно составляет около 40% от момента сил трения, Н·м.

$$M_{ин} = 0,4 \cdot 9777 = 3911 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{сопр} = M_{тр} + M_{ин} = 9777 + 3911 = 13688 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

ПРИМ: Венец зубчатый разъемный №1356. 08. 261-1(-2) СБ, модуль $m=16$, число зубьев $z=274$, вес 6250 кг. из стали 35Л для МШР 2, 7х3, 6 (МШР-2, 7*3, 6; МШР 2700х3600).

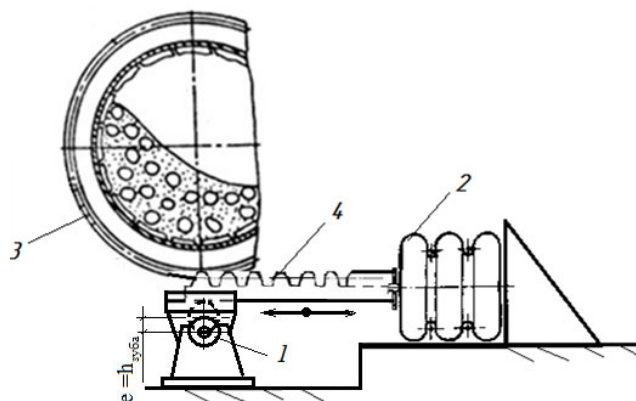
Вал-шестерня №1348. 08. 206, модуль $m=16$, число зубьев $z=23$, вес 850кг. из 34ХН1М для МШР 2, 7х3, 6 (МШР-2, 7*3, 6; МШР 2700х3600)

Принимая во внимание диаметр зубчатого венца типовой барабанной мельницы МШЦ2700х3600 - $D = m \cdot z = 16 \cdot 274 = 4384$ мм. = 4,38 м. - толкающее усилие на зубчатой рейке, которую установим под ним, должно составлять

$$F = \frac{2 \cdot M_{сопр}}{D} = \frac{2 \cdot 13,688}{4,38} = 6,25 \text{ кН}.$$

Импульса от 3-х камерного тороидального пневмобаллона будет достаточно для проворота барабана типовой мельницы МШЦ2700х3600

$$38,5 \text{ кН} \gg 6,25 \text{ кН}$$



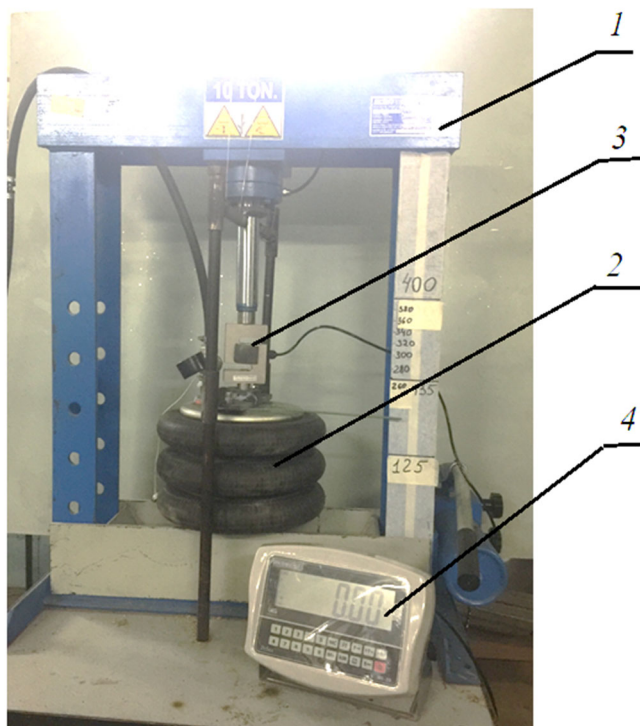
1 - эксцентриковый подъемник; 2 - 3-х камерный тороидальный баллон; 3 - зубчатый венец; 4 - рейка.

Рисунок 24– Кинематическая схема пневмоподпора (реечного пускового устройства) в составе барабанной мельницы

3 Стенд для исследования параметров тороидального баллона

3.1 Описание стенда

Для проверки идеи был разработан стенд, на базе 10-ти тонного гидравлического пресса.



1- гидравлический 10-ти тонный пресс; 2 – тороидальный 3-х камерный баллон; 3 – тензодатчик; 4 - Индикатор WI-19

Рисунок 25 - Стенд для исследования силовых и раздвижных параметров тороидального 3-х камерного баллона.

Для замера раздвижного усилия баллона на торец штока гидроцилиндра через переходную шпильку установили тензодатчик 3, который своей опорной пяткой входит в шайбу приваренную к кронштейну закрепленного на верхней крышки баллона. Для исключения отклонения баллона от вертикали при раздвижке изготовили поддерживающую систему состоящую из двух направляющих и двух кронштейнов установленных на шток гидроцилиндра и верхнюю крышку баллона. В нижней части направляющие установлены в отверстия в столе.

Для оценки параметров раздвижек и на правую стойку пресса наклеили ленту бумажного скотча на которую нанесли рабочие отметки (риски)

соответствующие положению баллона: в сжатом состоянии (125 мм.), середину хода раздвижки (175 мм), исходную точку отсчета раздвижек (200 мм) и градации хода раздвижки с интервалом 20 мм, максимальную высоту баллона (400 мм.) в надутом положении.

4 Экспериментальная часть

4.1 Исследование толкающего усилия от хода раздвижки

Принимая во внимание результаты предварительных исследований пневмоподпора для барабанных мельниц мы разбили работы на два этапа. На первом этапе наших исследований с пневмоподпором мы определили ход раздвижки при котром баллон создает максимальное усилие раздвижки. На втором этапе – исследовали влияние хода раздвижки на снижение пусковых токов.

Для построения графика зависимости между рабочим давлением в полости тороидального пневмобаллона, его толкающего усилия от хода раздвижки последний разместили в рабочем пространстве прессы согласно рис.16.

При первом шаге в баллоно подали сжатый воздух под давлением 0,1 МПа. Под давлением сильфон раздвинулся, затем, подкачивая плунжерной парой прессы его рабочим штоком, поджали сильфон до размера 200 мм и сняли показания с динамометра. Последовательно повышая давление в полости сильфона с шагом 0,1 МПа и фиксируя усилие раздвижки построили график $F(H)$ (рис.26) – раздвижное услие от хода раздвижки. Эти же эксперименты повторили для ходов раздвижки 220 мм, 240 мм, 260 мм, 280 мм, 300 мм, 320 мм, 340 мм, 360 мми 380 мм.

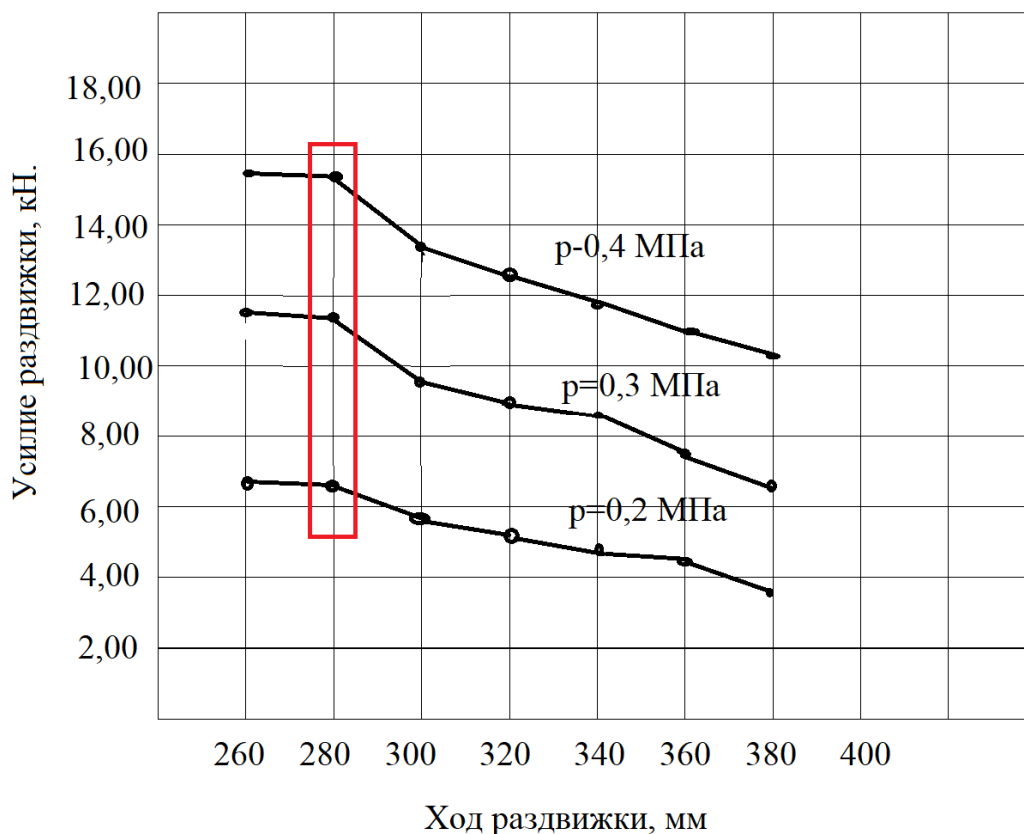


Рисунок 26 - График зависимости усилия раздвижки от хода раздвижки

Таким образом мы получили возможность контролировать толкающее усилие по давлению и определять ход раздвижки, обладающий максимальным толкающим усилием.

Анализ графика показывает, что с увеличением хода раздвижки более 280 мм происходит существенное уменьшение усилия раздвижки, а значит и толкающего импульса при всех грациях давления.

4.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению динамических характеристик пневмоподпора

Планируя программу проведения экспериментальных исследований мы приняли во внимание, тот факт, что автором предущего исследования получен неоднозначный и рапслывчатый результат, но подтолкнувший нас на дополнительные. В результате провели исследования с основным элементом устройства – тороидальным 3-х камерным баллоном и получили данные требующие подтверждение. Мы решили проверить тот факт, что максимальное снижение пускового тока будет при раздвижности в диапазоне 260 до 280 мм.

Методика испытаний.

1. Запустив компрессор закачали в ресивер воздух до $p = 1,0$ МПа.
2. Нажатием кнопки «пуск» открываем клапан блока управления подачей воздуха в сильфон. Воздух предварительно отредуцированный в пневматическом редукторе начинает нагнетаться в 3-х камерный тороидальный пневмобаллон. Тороидальный пневмобаллон раздвигаясь, толкает рейку введенную в зацепление с венцом закрепленным на полумуфте барабана тем самым создавая пусковой импульс.
3. По мере достижения рейкой флажка конечного выключателя установленного в точках раздвижки сначала 260 мм, затем 280 мм., последний замыкает контакты в пусковом реле электродвигателя главного привода. В это момент РПМ-416 записывает пусковой ток электродвигателя от трансформатора тока установленного на одной из питающих фаз.
4. Варьируя давлением в пневмосети от 0,1 до 0,4 МПа строим совмещенный график изменения пусковых токов от хода раздвижки.

На предварительном этапе стендовых испытаний для регистрации силы пускового тока в одну из фаз тракта питания электродвигателя главного привода врезали амперметр переменного тока (рис.27). Было выполнено несколько пусков главного привода без подключения пуско-вспомогательных устройств. Среднее значение пускового тока составило 9А при рабочем токе 4,5 А.



Рисунок 27 – Показания амперметра пуска главного привода без вспомогательного привода

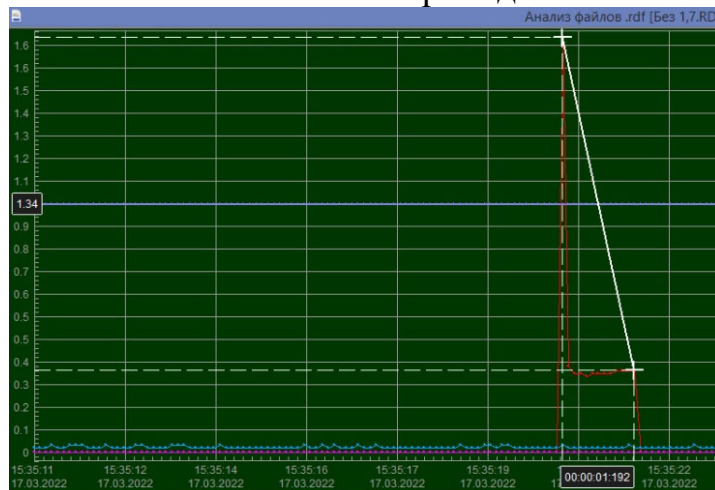


Рисунок 28 - Без включения пускового устройства (максимальный пусковой ток $I_{п}=9A$, номинальный ток $I_{н}=3A$)

Важно!! Перед каждым пуском барабан должен находиться в положении при котором самая тяжелая его часть – в нижней части. Для этого на одной ребер жесткости отметили белой полосой.

4.3 Результаты стендовых исследований (токовые диаграммы с комментариями)

Данные замеров пускового тока в точке пуска соответствующее ходу раздвижки 260 мм., с шагом изменения давления 0,1 МПа от 0,1 МПа до 0,4 МПа.

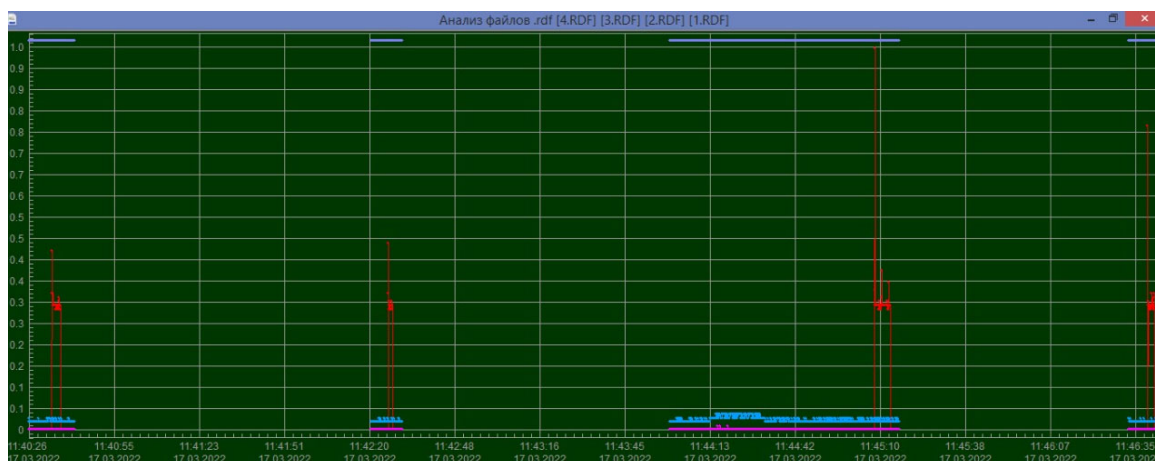


Рисунок 29– Пусковые токи при ходе раздвижки 260 мм и давлении от 0,1...0,4 МПа.

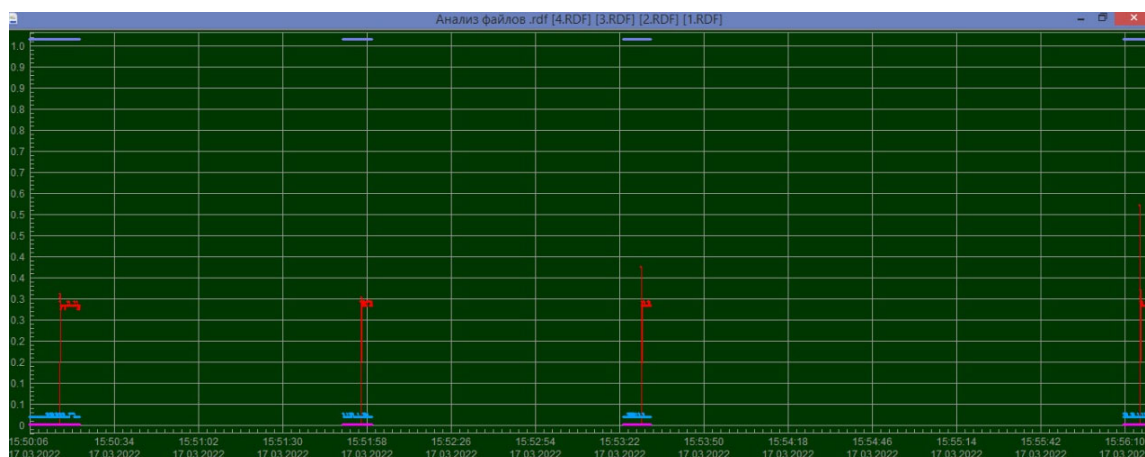


Рисунок 30 – Пусковые токи при ходе раздвижки 280 мм. и давлении от 0,1...0,4 МПа.

Но посчитав, градация в 20 мм достаточно большая мы решили уточнить и провели эксперименты при ходе раздвижки 270 мм.

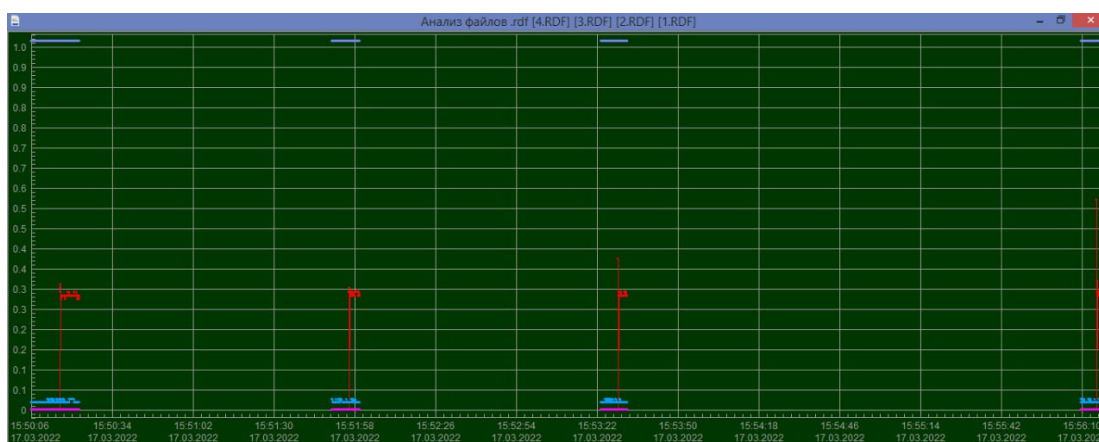


Рисунок 31 – Пусковые токи при ходе раздвижки 270 мм, давление 0,1...0,4МПа

Так как рабочие давления в систем будут в диапазоне 0,35...4,0 МПа, ограничились введением в этот график данных полученных при 0,4 МПа.

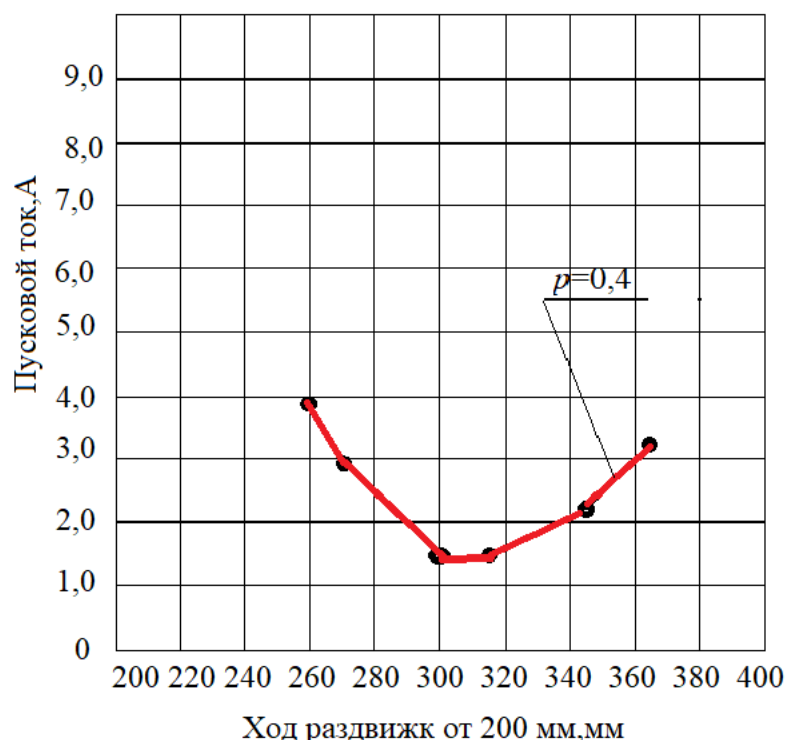


Рисунок 34 – Совмещенный график изменения пусковых токов от величины хода раздвижки

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальным ходом раздвижки сильфона для обеспечения максимального снижения пускового тока можно считать интервал 300...320 мм, а не интервал 260...280 мм.;
- для повышения эффективности системы пуска нужно повышать давление в пневмосистеме – чем больше тем лучше (но давление в цеховых пневмомагистралях обычно не превышает 0,3...0,35 МПа да и сильфонные баллоны рассчитаны тах на 0,8 МПа.); увеличивать диаметр сильфонов (но и здесь есть предел 500 мм); повышать давление за счет применения компримированного воздуха из баллонов; увеличивать диаметр венцовой шестерни на моторной полумуфте;
- предложенная пусковая система показала свою эффективность и простоту в конструктивном отношении, а значит может быть интересной с точки зрения внедрения в практику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эксперименты на стенде с макетом барабанной мельницы при различных ходах раздвижки доказали актуальность использования пускового вспомогательного устройства в составе барабанных мельниц с точки зрения снижения пусковых токов.

2. Показано, что предложенный пневматический привод с использованием пневматических тороидальных баллонов Тип 340-250 вполне может обеспечить существенное снижение пусковых токов даже при давлении в пневмосистеме 0,35 МПа.

Оценка полноты решения поставленных задач. Все поставленные в данной работе задачи выполнены в полном объеме.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию полученных результатов. Результаты данной магистерской работы были использованы для разработки ТЗ (технического задания) на разработку и модернизацию привода барабанных мельниц.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Предварительная оценка себестоимости модернизации существующих приводов показала, что она не будет незначительной. На базе представленного варианта пневмоподпора можно будет модернизировать существующие приводы и проектировать новые, а также наладить контрактное производство на машиностроительных предприятиях РК и малым бизнесом. Решение проблемы не будет дорогим и трудозатратным. Наш привод будет стоит не более 350 тыс.тенге..

Оценка научно-технического уровня выполненной работы. Научно-технический уровень выполненной научно-исследовательской работы соответствует требованиям ранее согласованной ТЗ на пуско-вспомогательные устройства для барабанных мельниц.

Термины и определения

Пусковое вспомогательное устройство - совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха.

Испытательный стенд - исследовательское оборудование, предназначенное для различных приемочных, контрольных, специальных испытаний технических и механических объектов.

Тороидаальный баллон – баллон типа «бублик».

Панель управления — устройство предназначено для управления всеми процессами даноого пневматического привода.

Резинокорд- текстильный корд, обрeзинeнный сырой резиновой смeсьeю.

Компрессор - устройство для сжатия воздуха.

Реечный механизм - зубчатый механизм поступательного движения, предназначенный для преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное движение.

Золотниковый воздухораспределитель - устройство для изменения направления и перекрытия потоков сжатого воздуха в пневмосистемах различного назначения.

Раздвижность тороидаального баллона - перемещение передней части или выдвигание распорного элемента.

Условные обозначения

$N_{расч}$ – расчетная мощность привода, кВт;

$N_{уст}$ – установочная мощность двигателя, кВт;

M – крутящий момент, Н·м.;

P – толкающее усилие, Н.

$\varnothing_{у.,цех}$ – условный проход цеховой пневмомагистрали, мм.;

$\varnothing_{у.,лаб}$ – условный проход лабораторной пневмомагистрали, мм.;

η – коэффициент полезного действия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Степанович Г.Я. Шахтные пневматические крепи. - Киев.: Техника, 1981. - 158 с
2. Разработка и внедрение механизированного комплекса на базе безразгрузочной крепи из мягких оболочек со струговой установкой для выемки угля из пластов мощностью $0,4 \div 0,75$ м без постоянного присутствия людей в забое: Отчет о НИР/ ИГД им. А.А.Скочинского: Науч.рук. Ш.Г.Гамсахурдия. – 0113701104; -Инов.№02840080818. - Люберцы, 1984. - 88 с.
3. Исследовать возможность применения длинномерных оболочек в качестве несущих элементов механизированных пневматических крепей: Отчет о НИР/ДонУГИ; Науч.рук. Н.А.Николенц. -2212007000; - Инов.№ 01820073148. - Донецк, 1982. - 80 с.
4. Опыт применения технологии управления кровлей пневматическими крепями: Обзор информ./Н.А.Николенко, М.Б.Розенталь, П.Я.Гродзивский. - М., 1989. - 37 с: ил. - (Добыча угля подземным способом:Обзоры по основным направлениям развития отрасли/ЦНИЭИуголь; Вып.II). - Библиогр.: 12 назв.
5. Либерман Б.Д. Расчет параметров беспоршневых объемных пневмодвигателей на стадии проектирования //Надежность и оптимизация параметров горных машин. Сб. научн.тр./ ИГД им.А.А. Скочинского. М.: 1987. - с. 83-92,
6. Исследование режимов работы пневмомеханических силовых модулей/ Ю.Д.Красников, А.В.Чижиков, Б.А.Анферов, В.Г.Шафаренко //Комплексная механизация производственных процессов при подземной добыче угля. Сб. научн.стр. ИГД им.А.А.Скочинского. - М., 1987. - с. II-II9.
7. Красников Ю.Д., Чижиков А.В., Шафаренко В.Г. Экспериментальные исследования пневмомеханического силового модуля//Теория и технология подъемно-транспортных машин: Сб.научн.тр./ КазПТИ им. В.ИДенина, - Алма-Ата, 1987. - с. 106-112.
8. Красников Ю.Д., Чижиков А.В., Шафаренко В.Г. Методика выбора параметров функционирования пневмомеханического силового модуля// Горная механика, рудничный транспорт, техническое обслуживание и ремонт. Сб. научн.тр./ИГД им.А.А. Скочинского. - М.: 1988. - с. 75-83.
9. Иманкулов А.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К. Некоторые аспекты применения силовых гибких оболочек с возвратно-поступательным движением в приводах металлургических машин /Материалы международной научно-практической конференции «Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века», II том, С 354-358/ .2013.
10. Иманкулов А.А., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. «Исследования возможностей силовых гибких оболочек с возвратно-поступательным движением в приводах с вращательным движением рабочего органа

металлургических машин» Алматы, КазНТУ им. К.И.Сатпаева «Сатпаевские чтения».2014.

11. Иманкулов А.А., Бейсенов Б.С., Елемесов К.К., Курманалиев М.Б. «Некоторые аспекты применения силовых гибких оболочек с возвратно-поступательным движением в приводах металлургических машин» Алматы, КазНТУ им. К.И.Сатпаева «Сатпаевские чтения».2013 г.

12. Ярмоленко Г.З. Пневматический привод горных машин. Изд-во «Недра»,1967. 162с.

13. Курсовое проектирование Деталей машин. С.А. Чернавский, К.Н. Боков, М.:Машиностроение, 1987.416с.

14. Курсовое проектирование Деталей машин. Учебное пособие для учащихся машиностроительных специальностей (Чернавский С.А., Боков К.Н., Черпин И.М., Козинцов В.А.) – М.: Металлургия, 1987. – 414 с.

15. Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е., Курманалиев М.Б., Иманкулов А.А. Реверсивный храповой привод. Патент № 86618 Оpubл.21.02.14.

16. Бейсенов Б.С.,Сарыбаев Е.Е. Пневматический привод возвратно-поступательного действия. Патент № 99205. Оpubл.31.08.17 Бюл.№16.

17. Бейсенов Б.С., Сейіт С.Ж., Сарыбаев Е.Е. Тихоходный пневмо-камерный привод технологических машин. –Алматы Вестник КазНТУ им.К.И.Сатпаева №2 2018 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ И РАЗДВИЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЁХКАМЕРНЫХ СИЛЬФОННЫХ ПНЕВМОБАЛЛОНОВ

А.Кусаинов , Е.Е.Сарыбаев *, А.Санак, Б.С.Бейсенов 

Satbayev University, Қазақстан, г. Алматы

sarybaev.erjan@gmail.com

Аннотация: В данной статье представлены результаты исследований силовых и раздвижных параметров трехкамерных сильфонных пневмобаллонов. Построены графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне и времени раздвижки от давления, по которым могут выбраны параметры цеховой пневмомагистрали для обеспечения работоспособности пусковых устройств на базе трехкамерных сильфонных пневмобаллонов.

Ключевые слова: пусковое устройство, пневмобаллон, реечный, сильфон, трехкамерный, пусковой ток.

Проблемы пуска технологических машин с тяжелым ротором известны – это и большие пусковые токи, которые приводят к выходу из строя электродвигатели и перегрузки элементов привода и повышенный износ опорных узлов из-за необходимости преодоления сил трения покоя в момент пуска, при длительных остановках и т.д.

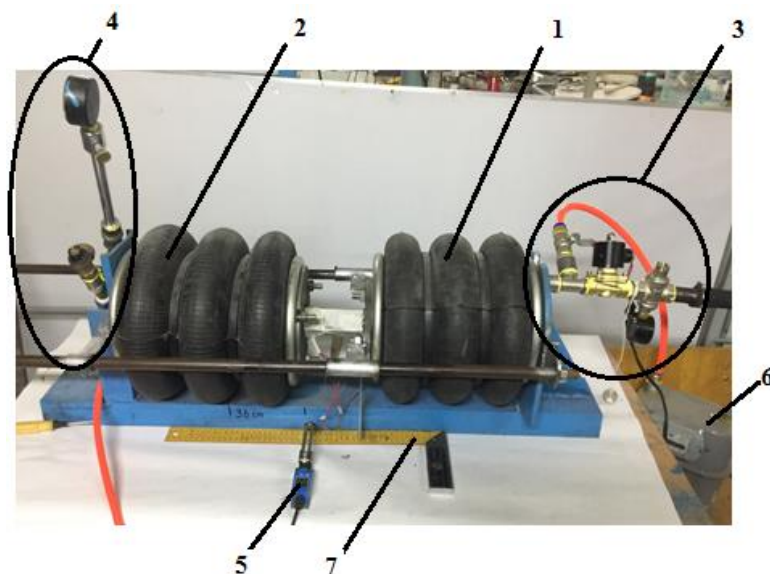
Для решения этой проблемы на кафедре ТМиТ СУ с 2000-х годов ведутся работы в этом направлении. Были разработаны варианты пуско-вспомогательных приводов на базе сильфонных и клиновых пневмокамер /1,2/, которые подтвердили свою эффективность при испытаниях на специально разработанных стендах. Пусковые токи удалось снизить 30% и 40% соответственно, но в конструктивном отношении они были достаточно сложны.

В настоящее время мы вышли на вариант пускового устройства с использованием реечного механизма, на который еще в 2021 году была оформлена заявка на предполагаемое изобретение, которая находится на стадии рассмотрения, по существу. Но для реализации этого проекта нам были нужны сильфонные пневмобаллоны с максимальной раздвижкой (ходом). Имеющиеся в нашем распоряжении 2-х камерные сильфонные пневмобаллоны давали максимум 100...110 мм. этого было явно недостаточно. В итоге мы вышли на трехкамерные сильфонные пневмобаллоны диаметром 300 мм по которым информация практически отсутствовала.

Вопреки мнению, что исследования должны начинаться с определения или подтверждения силовых параметров, мы, принимая во внимание результаты исследований в которых утверждается, что максимальное силовое воздействие для сильфонного пневмобаллона оказывает при использовании максимального полезного объема. Наши исследования мы построили на первом этапе с определения раздвижных и объемных параметров с последующим учетом полученных данных.

Для исследования раздвижных и объемных (расходных) характеристик последних нами был разработан стенд, представленный на рисунке 1.

Продолжение приложения А



1 – рабочий сильфонный пневмобаллон; 2 – пневмобаллон для имитации силового сопротивления; 3 – система подачи рабочего давления; 4 – система обеспечения параметров сопротивления (давления); 5 – конечный выключатель; 6 – газовый счетчик; 7 – линейка.

Рисунок 1 – Общий вид стенда для исследования возможностей пневмобаллонного вспомогательного привода.

В основу методики исследования свойств трехкамерных сильфонных пневмобаллонов взяли принцип создания сопротивления раздвижки путем использования такого же баллона, наддувом последнего контролируемым избыточным давлением.

Для наддува рабочего сильфонного пневмобаллона разработали систему подачи рабочего давления 3 (рис.1). В систему (рис.2) перед электроклапаном 2 установили редуктор давления 1 с манометром 3. Для определения объема воздуха используемого для наддува баллона после электроклапана предусмотрели отвод снабженный шаровым краном 4 соединенный с газовым счетчиком 5. Таким образом получили возможность контролировать давление и объем воздуха, использованного при наддуве под определенным давлением

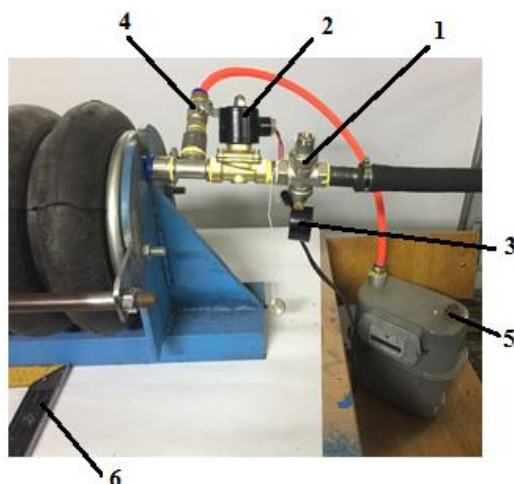


Рисунок 2 – Общий вид системы подачи рабочего давления.

Для поддержания давления в системе имитации сопротивления раздвижки (рис.3) использовали предохранительный клапан 1, настроенный на определенное давление.

Продолжение приложения А



1 – предохранительный клапан; 2 – рукав для поддержания давления сопротивления; 3 – манометр.

Рисунок 3 – Общий вид системы обеспечения параметров сопротивления (давления).

Для автоматической отсечки подачи воздуха по мере достижения максимального хода раздвижки на рабочем столе стенда предусмотрели конечный выключатель, управляющий работой клапана подачи воздуха. При этом засекали время цикла наддува.

Методика исследований включала следующие пункты:

- на первом этапе настроили давление в рабочем сильфонном пневмобаллоне 0,1 МПа, при этом фиксировали максимальный ход раздвижки с установкой в этом положении конечного выключателя;

- посредством шарового крана опорожняли рабочий (исследуемый) пневмобаллон, а при подаче в баллон для имитации сопротивления раздвижки давления в 0,05 МПа последний приводил рабочий, в исходное состояние. После этого шаровый клапан должен быть закрыт, а показания газового счетчика зарегистрировано;

- кнопкой пуск открываем электроклапан в системе подачи рабочего давления и начинаем осчет цикла раздвижки до достижения максимального хода, при этом электроклапан отключит подачу избыточного давления. Время раздвижки фиксировали. Плавным открыванием шарового клапана опрожняли рабочий пневмобаллон через газовый счетчик и также фиксировали показания;

- настраивая давления в системе подачи в рабочий пневмобаллон с шагом 0,05 МПа начиная с 0,15 МПа фиксировали время раздвижки и объем выхлопа. Каждый цикл повторяли три раза;

- на втором этапе поднимали давление в системе имитации сопротивления перемещению на 0,05 МПа до 0,1 МПа, и повторяли циклы наддува рабочего пневобаллона, но уже с 0,15 МПа. Все данные фиксировали в рабочем журнале.

Удалось провести серию опытов с наддувом рабочего пневмобаллона до 0,5 МПа, а баллона для имитации сопротивления до 0,1 МПа. По результатам экспериментов построили графики зависимости расхода воздуха от давления в рабочем пневмобаллоне $V(p)$ рис.4 и времени раздвижки от давления $t(p)$ рис.5.

Продолжение приложения А

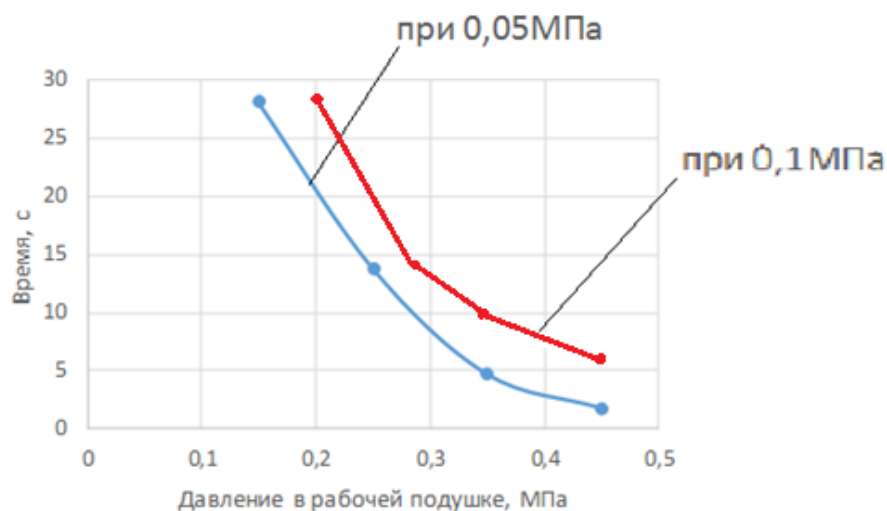


Рисунок 4 – График зависимости времени хода раздвижки от рабочего давления и давления в системе имитации сопротивления.

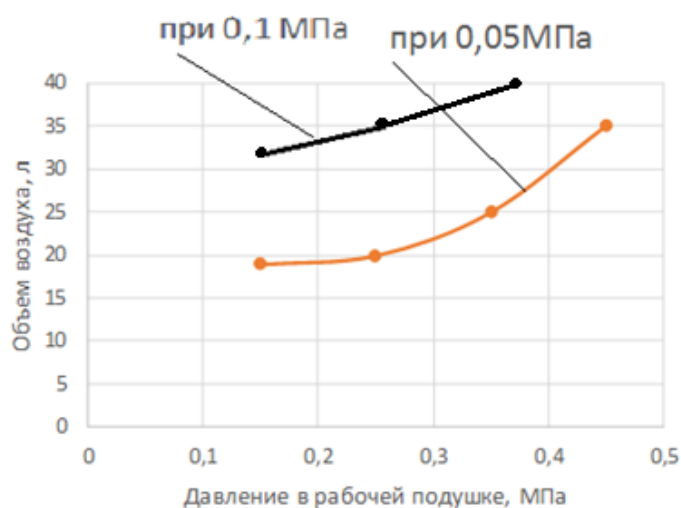


Рисунок 5 – График зависимости расхода воздуха от давления в рабочем сильфоне и давления в сильфоне для имитации сопротивления.

Общий итог проведенных исследований мы вышли на расходные (по воздуху) и раздвижные характеристики. В дальнейшем по этим графикам мы сможем определиться какими параметрами должна обладать цеховая пневмомагистраль для обеспечения работоспособности реечного пускового устройства. При необходимости может быть задействована рампа с баллонами для сжатого воздуха.

Принимая во внимание данные полученные в процессе исследования параметров раздвижки и то, что сильфонный пневмобаллон развивает максимальное толкающее усилие при использовании его максимального полезного объема мы разработали методику установления зависимости между толкающим усилием и избыточным давлением с использованием ручного гидравлического пресса на 100 кН.

На первом этапе мы оттарировали пресс. Для этого пресс был переделан для исследования на разрыв, т.е на штоке пресса была установлена специальная приставка и между поперечиной и нижней опорой приставки закреплен динамометр растяжения на 5 кН (рис.6). Последовательно повышая давление в надпоршневом пространстве рабочего цилиндра пресса и фиксируя показания динамометра установили связь между этими параметрами.

Продолжение приложения А



Рисунок 6 – Общий вид пресса с приставкой для его тарировки.

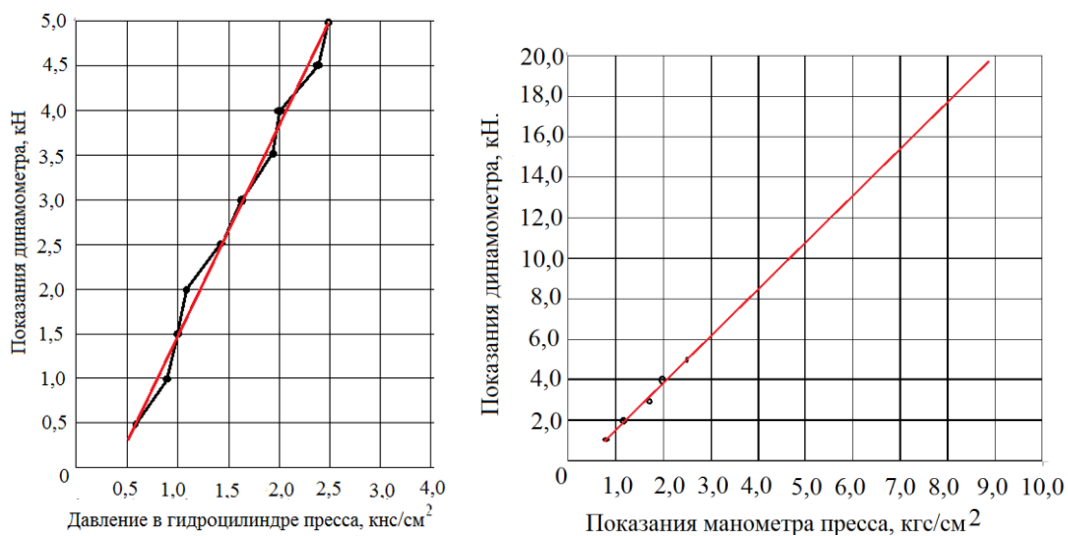


Рисунок 7 – Тарировочные графики манометра пресса.

После обработки данных получили то, что в среднем на каждые 0,1 МПа давления манометра пресса приходится 1,5 кН. Для построения графика зависимости между рабочим давлением в полости сильфонного пневмобаллона и его толкающего усилия последний разместили в рабочем пространстве пресса согласно рис.7, а в сильфон на первом шаге подали сжатый воздух под давлением 0,1 МПа. Под давлением сильфон раздвинулся, затем, подкачивая плунжерной парой пресса его рабочим штоком, поджали сильфон до размера 360 мм (180 мм – высота сильфона сжатом состоянии + 180 мм – максимальный ход раздвижки). Давление в рабочей полости пресса, отображенное на манометре пресса, определило первую точку на графике F(p).

Продолжение приложения А



Рисунок 7 – Схема расположения сиффона в рабочей зоне пресса.

Последовательно повышая давление в полости сиффона с шагом 0,1 МПа и фиксируя давление в рабочем цилиндре по манометру пресса после компенсации раздвижки т.е. возврата к общей высоте сиффонного пневобаллона в 350 мм, построили график $F(p)$ (рис.8). Эти же эксперименты повторили для ходов раздвижки 160 мм (340мм.), 140 мм (320 мм.), а полученные данные использовали для построения графиков на том же графике $F(p)$ (рис.8).

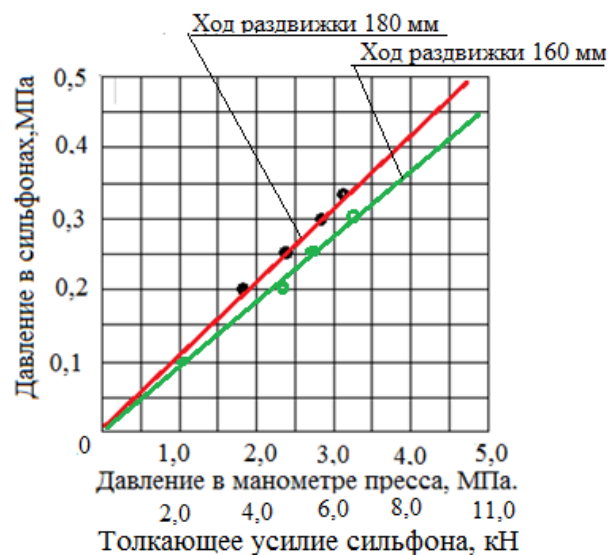


Рисунок 8 – График зависимости толкающего усилия от давления в полости сиффона при различных ходах раздвижки.

Таким образом мы получили возможность контролировать толкающее усилие по давлению и определять ход раздвижки, обладающий максимальным толкающим усилием. Т.е.

Продолжение приложения А

нет необходимости в установке момента пуска в точке максимальной раздвижки, толкающее усилие может повысится на 10%, при уменьшении на 20 мм.

Литература:

1. Тихоходный привод на базе пневмобаллонов. Л.А.Крупник, К. К. Елемесов, Б.С.Бейсенов, Е.Е.Сарыбаев. Горный журнал №10, 2018г. Язык: русский. Номер: 10. Год: 2018 Страницы: 40-43.МРНТИ: 55.03.43
2. Разработка и исследование параметров пневмобаллонного привода с прерывистым (пошаговым) циклом движения в качестве вспомогательного привода барабанных мельниц. Хайруллаев Д.Х., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2021», т.1, стр.1230-1233.

Үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу

А. Құсайынов, Е. Е. Сарыбаев , А. Санақ, Б. С. Бейсенов 

Түйіндеме: Бұл мақалада үш камералы сильфонды пневмобаллондардың күштік және жылжымалы параметрлерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Үш камералы сильфонды пневмобаллондар базасында іске қосу құрылғыларының жұмысқа қабілеттілігін қамтамасыз ету үшін цехтық пневмомагистралдың параметрлері таңдалуы мүмкін ауа ағынының жұмыс істеп тұрған пневмобаллондағы қысымға және сырғыма уақытының қысымға тәуелділігінің графиктері салынды.

Кілт сөздер: іске қосу құрылғысы, пневмобаллон, тірек, сильфон, үш камералы, іске қосу тогы.

Investigation of power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders

A. Kusainov, E. E. Sarybayev , A. A. Sanak, B. S. Beisenov 

Summary. This article presents the results of studies of power and sliding parameters of three-chamber bellows pneumatic cylinders. Graphs of the dependence of the air flow on the pressure in the working pneumatic cylinder and the sliding time on the pressure are constructed, according to which the parameters of the shop pneumatic equipment can be selected to ensure the operability of starting devices based on three-chamber bellows pneumatic cylinders.

Keywords: starting device, pneumoballon, rack, bellows, three-chamber, starting current.

Сарыбаев Ержан Ергалыевич, лектор кафедр ТМиТ, 70-53, sarybaev.erjan@gmail.com

Құсайынов Арай, магистрант, Aray.Kussainov@stud.satbayev.university

Санақ Адильхан, магистрант, Adilkhan.Sanak@stud.satbayev.university

Бейсенов Бауржан Саккоулы, ассоц.профессор кафедр ТМиТ, 70-53, beysenov_1961@mail.ru

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кусаинов Арай Арманович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Исследование влияния параметров раздвижки тороидального пневмобаллона на характер импульса пуско-вспомогательного привода лабораторной мельницы

Научный руководитель: Бауржан Бейсенов

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 150

Интервалы: 0

Белые знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

09.06.23

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кусаинов Арай Арманович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Исследование влияния параметров раздвижки тороидального пневмобаллона на характер импульса пуско-вспомогательного привода лабораторной мельницы

Научный руководитель: Бауржан Бейсенов

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 150

Интервалы: 0

Белые знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт