

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН



SATBAYEV  
UNIVERSITY

Институт энергетики и машиностроения

УДК 691.342

На правах рукописи

**Санақ Әділхан Аймұратұлы**

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра технических наук

Название диссертации «**Разработка и исследование пневмоподпора для  
барабанной мельницы**»

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая инженерия машин и  
оборудования

Научный руководитель,  
канд. техн. наук., асоц.профессор

\_\_\_\_\_ Бейсенов Б.С.  
"\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2022 г.

Рецензент

\_\_\_\_\_

"\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2021 г.

Нормоконтроль  
магистр техн. наук., ассист.проф.

\_\_\_\_\_ Д.Балгаев  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Выполнил: Санақ Ә.А.

\_\_\_\_\_

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

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

\_\_\_\_\_ С.А.Бортебаев  
"\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2022 г

Алматы 2022 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
Satbayev University

Институт энергетики и машиностроения  
Кафедра "Технологические машины и транспорт"  
7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

**УТВЕРЖДАЮ**

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

\_\_\_\_\_ С.А.Бортебаев  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Санак Әділхан Аймұратұлы

Тема: «Разработка и исследование пневмоподпора для барабанной мельницы»

Утверждена приказом руководителя университета №2026-м  
"03" 11 "2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 г.

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

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации  
вопросов:

- a. Аналитический обзор проблем связанных с применением синхронных двигателей в составе привода барабанных мельниц;
- b. Аналитический обзор материалов связанных с применением пневмоподпора в качестве пускового устройства барабанных мельниц;
- c. Анализ конструктивных особенностей устройств с применением сильфонных баллонов;
- d. Обоснование и компоновка стенда для исследования возможностей пневмоподпора на базе сильфонов в качестве пускового устройства;
- e. разработка методики корректного проведение стендовых испытаний

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 КазННТУ,2018. -№2с
6. Желоманов Р.М., Бейсенов Б.С., Сарыбаев Е.Е. Особенности применения пневматических камерных подушек для тихоходных приводов технологических машин. - Вестник КазННТУ,2018. -№2.5с.

### ГРАФИК

#### подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Аналитическая часть	1.03.2021	
2. Расчетно-конструкторская часть	1.04.2021	
3. Стенд для исследования параметров пневмоподпора на базе сильфонов	10.04.2021	
4. Стендовые испытания	1.05.2021	
5. Перспективы применения пневмоподпора в качестве пускового устройства.	10.05.2021	

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.	1.03.2022	
2. Расчетно-конструкторская часть	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.04.2022	

3. Стенд для исследования параметров пневмоподпора на базе сильфонов	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	10.04.2022	
4. Стендовые испытания	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.05.2022	
5. Перспективы применения пневмоподпора в качестве пускового устройства.	к.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	10.05.2022	
Нормоконтролер	м.т.н., лектор. Балгаев Д.		

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Бейсенов Б.С.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант \_\_\_\_\_ Санақ Ә. А.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Дата " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 г

## АННОТАЦИЯ

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

- 1) Проведен аналитический обзор проблем связанных с применением синхронных электродвигателей в составе привода барабанных мельниц и пневмоподпора в качестве пускового устройство.
- 2) Разработан стенд для исследования технических параметров сильфонных баллонов и пневмоподпора в качестве пускового устройства.
- 3) Разработана структура аппаратурного оформления стенда.
- 4) Разработана методика проведения стендовых испытаний и оценки параметров.
- 5) Корректно проведены стендовые испытания.

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 60 страницах, иллюстрирована 34 рисунками.

## АҢДАТПА

Бұл жұмыста магистрлік жұмысты орындау барысында шешілген бірқатар міндеттер қарастырылды:

- 1) Іске қосу құрылғысы ретінде барабан диірмендері мен пневматикалық подпордың жетегінде синхронды электр қозғалтқыштарын қолдануға байланысты мәселелерге аналитикалық шолу.
- 2) Іске қосу құрылғысы ретінде сильфонды баллондар мен пневмоподпордың техникалық параметрлерін зерттеуге арналған стенд әзірленді.
- 3) Стендтің аппараттық дизайнының құрылымы жасалды.
- 4) Стендтік сынақтар жүргізу және параметрлерді бағалау әдістемесі әзірленді.
- 5) Стендтік сынақтар дұрыс жүргізілді.

Жұмыс кіріспеден, аналитикалық бөлімнен, есептік-конструкторлық бөлімнен, эксперименттік бөлімнен, стендтік сынақтардың нәтижелерін талқылаудан, қорытындыдан, 17 атаудан пайдаланылған көздер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыс 60 беттен тұрады, 34 суретпен суреттелген.

## **ABSTRACT**

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

- 1) Analytical review of the problems associated with the use of synchronous electric motors as part of the drive of drum mills and pneumatic support as a starting device.
- 2) A stand has been developed to study the technical parameters of bellows cylinders and a pneumatic support as a starting device.
- 3) The structure of the hardware design of the stand has been developed.
- 4) A methodology for conducting bench tests and evaluating parameters has been developed.
- 5) Bench tests were carried out correctly.

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 60 pages, illustrated with 34 drawings.

## Термины и определения

**Пневмоподпор** - 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.

**Сильфонный баллон** – баллон типа «бублик».

**Панель управления** — устройство предназначенное для управления всеми процессами даноого пневмотического привода.

**Резинокорд**- текстильный корд, обрезиненный сырой резиновой смесью.

**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 сильфонного 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.;

$\eta$  – коэффициент полезного действия.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 Раздел	13
Аналитическая часть	14
1.1 Описание объекта для разработки	14
1.2 Электропривод барабанных мельниц	14
1.3 Пусковые характеристики синхронных двигателей мельниц	16
1.4 Особенности пуска синхронных двигателей барабанных мельниц	18
1.5 Основные причины выбора пневмопривода в качестве альтернативы дополнительному электродвигателю	22
2 Раздел расчетно-конструкторская часть	24
2.1 Описание предлагаемого варианта пневмоподпора	24
2.2 Описание системы управления	27
2.3 Расчёт параметров и конструктивных элементов пневмоподпора	29
2.3.1 Расчет толкающего усилия сильфонного баллона	29
2.3.2 Расчет толкающего усилия необходимого для работы пневмоподпора	29
2.3.3 Расчет параметров ресивера пневмосистемы	31
3 Раздел	33
Стенд для исследования параметров пневмобаллонного привода	33
3.1 Описание стенда	33
4 Раздел	34
Экспериментальная часть	34
4.1 Методика проведения экспериментальных исследований параметров сильфонных баллонов	34
4.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению динамических характеристик пневмоподпора	40
4.3 Аппаратурное оформление замеров пускового тока	41
4.4 Результаты стендовых исследований (токовые диаграммы с комментариями)	44
5 Раздел	46
Перспективы применения пневмобаллонного привода в качестве пуско-вспомогательного устройства барабанных мельниц	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ, ТЕРМИНОВ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	52

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В народном хозяйстве любой страны используют большое количество измельченных материалов. Значительное количество руд и других полезных ископаемых подвергается дроблению и измельчению перед их обогащением. В связи с постоянным усложнением состава и уменьшением размера вкрапленности руд технологически необходимая крупность измельчения уменьшается. Это приводит к постоянно нарастающим затратам электроэнергии, футеровочной стали, стальных мелющих тел. Значительное энерго- и материало-потребление опосредствованно приводит к росту потребления угля и газа, увеличению массы золы и газообразных выбросов. Добыча, обогащение и производство материалов, расходуемых для осуществления процессов рудоподготовки, влечет за собой ухудшение и без того сложной в ведущих экономических районах экологической обстановки. Все это требует всестороннего изучения и совершенствования технологии измельчительного процесса.

Наибольший интерес представляет изучение работы барабанных измельчителей, в которых осуществляется переработка более 90% всех измельчаемых материалов. Вопреки прогнозам, барабанные измельчительные агрегаты не только не исчезли к концу 20 века, но значительно увеличились их объемы, мощности приводов, что вызвало новые проблемы, связанные с увеличением типоразмеров, также нуждающиеся в детальном изучении. 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 пневмобаллонным приводом /1-8,12/ так называемым пневмоподпором 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 только одного вида энергии.

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

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

**Объектом разработки** является пневмоподпор барабанных мельниц на базе пневмобаллонов сильфонного типа и реечного механизма с использованием энергии сжатого воздуха.

**Предмет исследования** – конструктивные и технические параметры пневмоподпора барабанных мельниц.

**Задачи исследования:**

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

1. Реализовать концепцию пневмоподпора в макете.
2. Разработать стенд для исследования технических параметров пневмоподпора барабанных мельниц.
3. Разработать методику исследования и оценки параметров пневмоподпора.
4. Разработать структуру аппаратного оформления стенда.
5. Корректно провести стендовые испытания.

**Научная новизна работы** заключается в том, что доказана актуальность пневмоподпора в качестве пускового устройства, установлены зависимости между параметрами пневмоподпора 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 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.

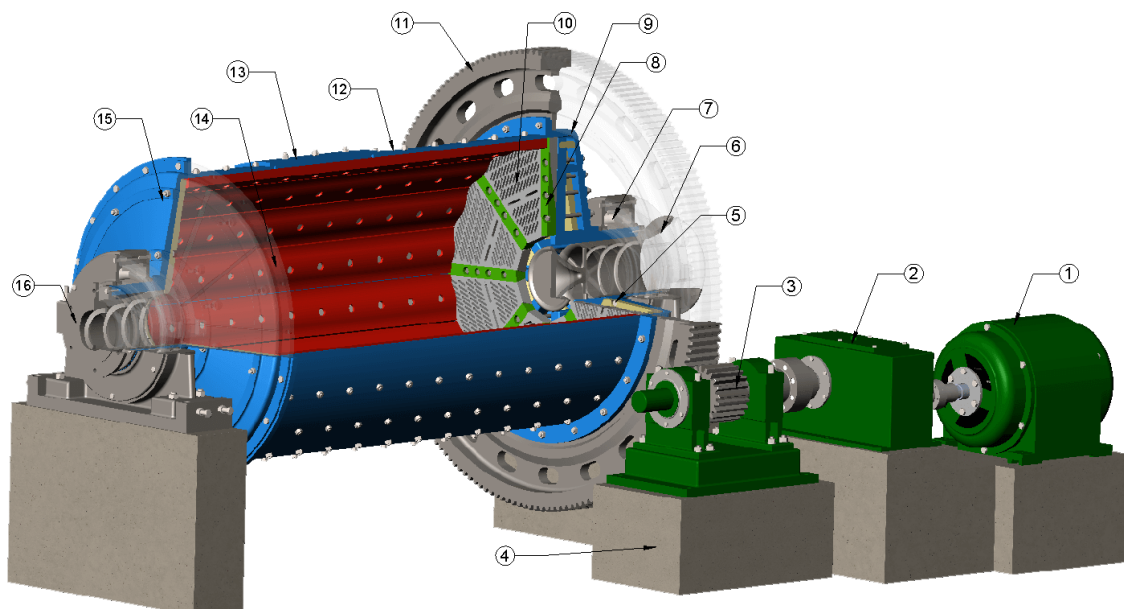


Рисунок 1 – Барабанная мельница

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.

В зависимости от формы барабана и отношения его длины  $L$  к диаметру  $D$  различают короткие ( $L/D = 1.5-2$ ), трубные ( $L/D = 3-6$ ), цилиндрико-конические мельницы (барабан имеет форму двух усеченных конусов, широкие основания которых соединены цилиндрической частью) и др.

## 1.2 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;

$\psi$  – коэффициент относительной скорости:

$$\psi = \frac{n}{n_{кр}}.$$

где  $n$  – скорость вращения барабана, об/мин;  
 $n_{кр}$  – скорость вращения барабана, соответствующая критической скорости, об/мин:

$$n_{кр} = \frac{42,2}{\sqrt{D}}.$$

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:  $\gamma_0$  – 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:

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

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

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

### 1.3 Пусковые характеристики синхронных двигателей мельниц

Механическая характеристика синхронного двигателя имеет вид горизонтальной прямой, т. е. частота вращения его не зависит от нагрузки (рис. 3, а). С увеличением нагрузки возрастает угол  $\theta$  — угол между векторами напряжения сети  $U_c$  и ЭДС обмотки статора  $E_0$  (рис. 3,б).

Из векторной диаграммы можно вывести формулу электромагнитного момента

$$M = (m_1 / \omega_1) (U_1 E_0 / x_1) \sin \theta ,$$

где  $m_1$  — число фаз статора;

$\omega_1$  — угловая скорость поля статора;

$U_1$  — напряжение на статоре;

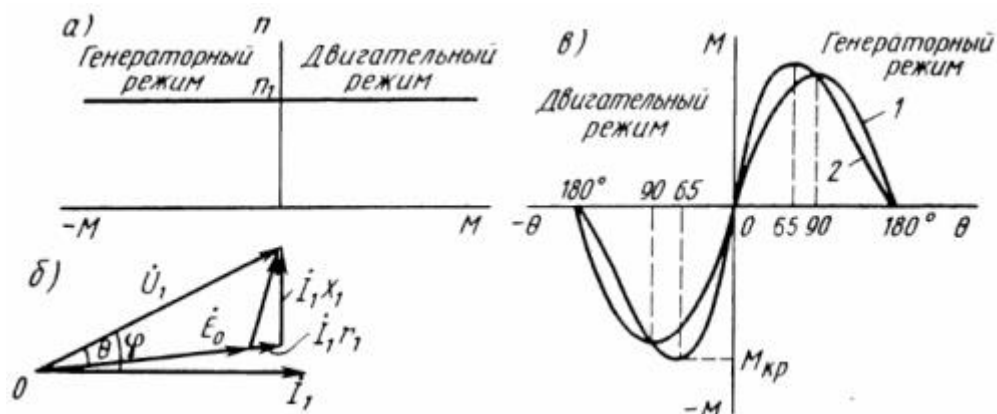
$E_0$  — ЭДС, наведенная в обмотке статора;



$x_1$  — индуктивное сопротивление обмотки статора;

$\theta$  — угол между векторами намагничивающих сил статора и ротора.

Из этой формулы следует, что момент изменяется в зависимости от нагрузки по синусоидальному закону (рис.3,в). При отсутствии нагрузки угол  $\theta = 0$ , т. е. напряжение и ЭДС совпадают по фазе. Это означает, что поле статора и поле ротора совпадают по направлению, т. е. пространственный угол между ними равен нулю.



$I$  — ток статора;  $r_1$  — активное сопротивление обмотки статора;  $x_1$  — индуктивное сопротивление, созданное потоком рассеяния и потоком якоря

Рисунок 3 - Характеристики (а, в) и векторная диаграмма (б) синхронного двигателя

С увеличением нагрузки момент возрастает и достигает критического максимального значения при  $\theta = 80^\circ$  (кривая 1), который двигатель в состоянии создать при заданном сетевом напряжении и токе возбуждения.

Обычно номинальное значение угла  $\theta_{ном}$  ( $25 \approx 30^\circ$ ), что ниже критического значения в три раза, поэтому перегрузочная способность двигателя  $M_{макс}/M_{ном} = 1,5 + 3$ . Большее значение относится к двигателям с неявно выраженными полюсами на роторе, а меньшее — с явно выраженными. Во втором случае характеристика (кривая 2) имеет критический

Чтобы двигатель не вышел из синхронизма при перегрузках или снижении сетевого напряжения, временно можно увеличить ток возбуждения, т. е. использовать форсированный режим.

При равномерном вращении пусковая обмотка на работу двигателя не влияет. При изменении нагрузки происходит изменение угла  $\theta$ , что сопровождается увеличением или уменьшением скорости. Тогда пусковая обмотка начинает играть роль стабилизирующей. Возникающий в ней асинхронный момент сглаживает колебания скорости ротора.

Синхронный двигатель характеризуется следующими пусковыми свойствами:

- $n_{I^*} = I_{п} / I_{ном}$  — кратностью пускового тока, протекающего по статору в начальный момент пуска;

- $n_{M^*} = M_{\Pi} / M_{\text{НОМ}}$  — кратностью пускового момента, зависящего от количества стержней пусковой обмотки и от их активного сопротивления;
- $n_{M^*_{\text{ВХ}}} = M_{\text{ВХ}} / M_{\text{НОМ}}$  — кратностью входного момента, развиваемого двигателем в асинхронном режиме перед втягиванием в синхронизм при скольжении  $s = 0,05$ ;
- $n_{M^*_{\text{МАКС}}} = M_{\text{МАКС}} / M_{\text{НОМ}}$  — кратностью максимального момента в синхронном режиме двигателя;
- $U_{\Pi}^* = U_{\Pi} \cdot 100 / U_1$  — наименьшим допустимым напряжением на статоре при пуске, %.

Синхронный электропривод применяют в установках, не требующих частых пусков и регулировки скорости, например, для вентиляторов, насосов, компрессоров. Синхронный электродвигатель имеет более высокий КПД, чем асинхронный, может работать с перевозбуждением, т. е. с отрицательным углом  $\varphi$ , тем самым компенсируя индуктивную мощность других потребителей.

Хотя синхронный двигатель более сложен по конструкции, требует источника постоянного тока, имеет контактные кольца, тем не менее он оказывается экономически более эффективным, чем асинхронный, особенно для привода мощных механизмов.

#### **1.4 Особенности пуска синхронных двигателей барабанных мельниц**

Для обеспечения работы мощных электроприводов применяются синхронные электродвигатели. Помимо барабанных мельниц они нашли применение в компрессорных установках, насосах, в системах, прокатных станах, вентиляторах. Применяются в металлургической, цементной, нефтегазовой и других отраслях промышленности, где необходимо использовать оборудование большой мощности.

Преимущества и недостатки

Конструктивно синхронные двигатели сложнее асинхронных, но они имеют ряд преимуществ:

- Работа синхронных электродвигателей в меньшей степени зависит от колебания напряжения питающей сети.
- По сравнению с асинхронными, они имеют больший КПД и лучшие механические характеристики при меньших габаритах.
- Скорость вращения не зависит от нагрузки. То есть колебания нагрузки в рабочем диапазоне не влияют на обороты.
- Могут работать со значительными перегрузками на валу. Если возникают кратковременные пиковые перегрузки, повышением тока в обмотке возбуждения компенсируют эти перегрузки.
- При оптимально подобранном режиме тока возбуждения, электродвигатели не потребляют и не отдают в сеть реактивную

энергию, т.е.  $\cos\phi$  равен единице. Двигатели, работая с перевозбуждением, способны вырабатывать реактивную энергию. Что позволяет их использовать не только в качестве двигателей, но и компенсаторов. Если необходима выработка реактивной энергии, на обмотку возбуждения подается повышенное напряжение.

При всех положительных качествах синхронных электродвигателей у них имеется существенный недостаток – сложность пуска в работу. Они не имеют пускового момента. Для запуска требуется специальное оборудование. Это долгое время ограничивало использование таких двигателей.

#### Способы пуска синхронных двигателей

Пуск синхронных электродвигателей можно осуществить тремя способами – с помощью дополнительного двигателя, асинхронный и частотный запуск. При выборе способа учитывается конструкция ротора. Он выполняется с постоянными магнитами, с электромагнитным возбуждением или комбинированным. Наряду с обмоткой возбуждения на роторе смонтирована короткозамкнутая обмотка – беличья клетка. Её также называют демпфирующей обмоткой.

##### а) Запуск с помощью разгонного двигателя

Этот метод пуска редко применяется на практике, потому что его сложно реализовать технически. Требуется дополнительный электродвигатель, который механически соединен с ротором синхронного двигателя.

С помощью разгонного двигателя раскручивается ротор до значений близких к скорости вращения поля статора (к синхронной скорости). После чего на обмотку возбуждения ротора подают постоянное напряжение.

Контроль осуществляется по лампочкам, которые включены параллельно рубильнику, подающему напряжение на обмотки статора. Рубильник должен быть отключен.

В первоначальный момент лампы мигают, но при достижении номинальных оборотов они перестают гореть. В этот момент подают напряжение на обмотки статора. После чего синхронный электродвигатель может работать самостоятельно.

Затем дополнительный мотор отключается от сети, а в некоторых случаях его отсоединяют механически. В этом состоят особенности пуска с разгонным электродвигателем.

##### б) Асинхронный запуск

Метод асинхронного пуска на сегодня самый распространенный. Такой запуск стал возможен после изменения конструкции ротора. Его преимущество в том, что не нужен дополнительный разгонный двигатель, так как дополнительно к обмотке возбуждения в ротор вмонтировали короткозамкнутые стержни беличьей клетки, что дало возможность запускать его в асинхронном режиме. При такой условии этот способ пуска и получили широкое распространение.

При подаче напряжения на обмотку статора происходит разгон двигателя в асинхронном режиме. После достижения оборотов близких к номинальным, включается обмотка возбуждения.

Электрическая машина входит в режим синхронизма. Но не все так просто. Во время пуска в обмотке возбуждения возникает напряжение, которое возрастает с ростом оборотов. Оно создает магнитный поток, который воздействует на токи статора.

При этом возникает тормозящий момент, который может приостановить разгон ротора. Для уменьшения вредного воздействия обмотки возбуждения подключают к разрядному или компенсационному резистору. На практике эти резисторы представляют собой большие тяжелые ящики, где в качестве резистивного элемента используются стальные спирали. Если этого не сделать, то из-за возрастающего напряжения может произойти пробой изоляции. Что повлечет выход оборудования из строя.

После достижения подсинхронной частоты вращения, от обмотки возбуждения отключаются резисторы, и на нее подается постоянное напряжение от генератора (в системе генератор-двигатель) или от тиристорного возбудителя (такие устройства называются ВТЕ, ТВУ и так далее, в зависимости от серии). В результате чего двигатель переходит в синхронный режим.

Недостатками этого метода являются большие пусковые токи, что вызывает значительную просадку напряжения питающей сети. Это может повлечь за собой остановку других синхронных машин, работающих на этой линии, в результате срабатывания защит по низкому напряжению. Для уменьшения этого воздействия цепи обмоток статора подключают к компенсационным устройствам, которые ограничивают пусковые токи.

Это могут быть:

1. Добавочные резисторы или реакторы, которые ограничивают пусковые токи. После разгона они шунтируются, и на обмотки статора подается сетевое напряжение.
2. Применение автотрансформаторов. С их помощью происходит понижение входного напряжения. При достижении скорости вращения 95-97% от рабочей, происходит переключение. Автотрансформаторы отключаются, а на обмотки подается напряжение сети переменного тока. В результате электродвигатель входит в режим синхронизации. Этот метод технически более сложный и дорогостоящий. А автотрансформаторы часто выходят из строя. Поэтому на практике этот метод редко применяют.

в) Частотный пуск

Частотный пуск синхронных двигателей применяется для запуска устройств большой мощности (от 1 до 10 МВт) с рабочим напряжением 6, 10 кВ, как в режиме легкого запуска (с вентиляторным характером нагрузки), так и с тяжелым пуском (приводов шаровых мельниц). Для этих целей выпускаются устройства мягкого частотного пуска.

Принцип работы аналогичен высоковольтным и низковольтным устройствам, работающим по схеме преобразователя частоты. Они обеспечивают пусковой момент до 100% от номинала, а также обеспечивают запуск нескольких двигателей от одного устройства. Пример схемы с устройством плавного пуска вы видите ниже, оно включается на время запуска двигателя, а затем выводится из схемы, после чего двигатель включается в сеть напрямую.

#### Системы возбуждения

До недавнего времени, для возбуждения применялся генератор независимого возбуждения. Он располагался на одном валу с синхронным электродвигателем. Такая схема еще применяется на некоторых предприятиях, но она устарела и теперь не применяется. Сейчас для регулировки возбуждения используются тиристорные возбудители ВТЕ.

Они обеспечивают:

- оптимальный режим пуска синхронного двигателя;
- поддержание заданного тока возбуждения в заданных пределах;
- автоматическое регулирование напряжения возбуждения в зависимости от нагрузки;
- ограничение максимального и минимального тока возбуждения;
- мгновенное увеличение тока возбуждения при понижении питающего напряжения;
- гашение поля ротора при отключении от питающей сети;
- контроль состояния изоляции, с оповещением о неисправности;
- обеспечивают проверку состояния обмотки возбуждения при неработающем электродвигателе;
- работают с высоковольтным преобразователем частоты, обеспечивая асинхронный и синхронный запуск.

Эти устройства отличаются высокой надежностью. Основным недостатком является высокая цена.

В заключение отметим, что самый распространенный способ пуска синхронных двигателей из числа вышеперечисленных — это асинхронный запуск. Практически не нашел применения запуск с помощью дополнительного электродвигателя. В то же время частотный запуск, который позволяет в автоматическом режиме решить проблемы пуска, довольно дорогостоящий.

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

Главную задачу которую должен решить пневмоподпор раскрутить ротор до значений близких к скорости вращения поля статора (к синхронной скорости). После чего на обмотку возбуждения ротора подать постоянное напряжение.

## 1.5 Основные причины выбора пневмопривода 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 обрабатывает 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 продолжают . Это касается как вопросов торможения и позиционирования, так и вопросов повышения быстродействия и адаптации приводов к изменяющейся в широком диапазоне динамической нагрузке.

## 2 Расчетно-конструкторская часть

### 2.1 Описание предлагаемого варианта пневмоподпора

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 сильфонных 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 пневмоподпора (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.

Для проверки возможностей пневмоподпора 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.4)

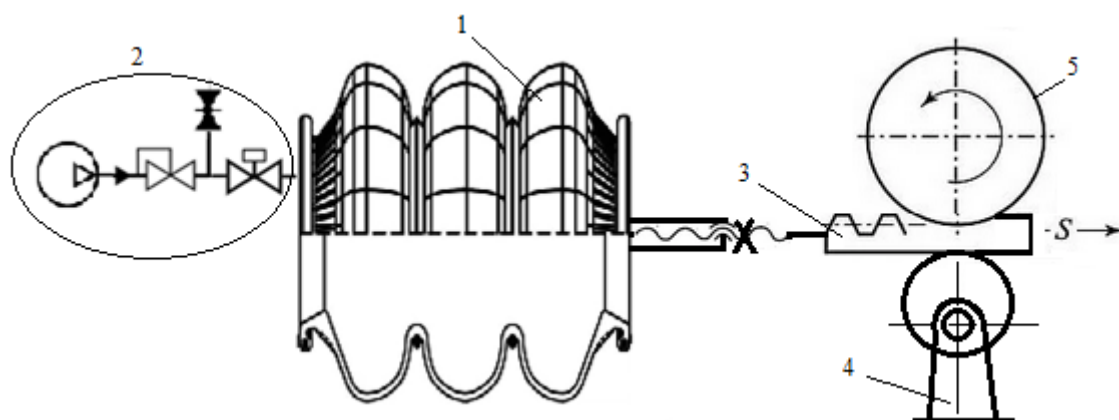


Рисунок 4 – Общий вид пневмоподпора



## Конструкция пневмоподпора

Пневмоподпор состоит из рамы в торце которой установлен 3-секционный сифонный баллон 1 с пневматическим блоком управления 2 (рис.5), который мы назвали блоком перемещения рейки (рис.6).



1 – 3-х камерный сифонный пневмобаллон; 2 – пневматический блок управления;  
3 – реечный блок; 4 – блок подъема и опускания рейки; 5 – приводная полумуфта с зубчатым венцом.

Рисунок 5 – Кинематическа схема пневмоподпора

На передней крышке сифона закреплен кронштейн с приваренным к нему регулируемым реечным блоком 3 и опорная втулка возвратного механизма. В средней части рамы в зоне размещения зубчатого венца (на приводной полумуфте) установлен блок подъема рейки 4 (рис.7) для ввода в зацепление с зубьями венца 5 при раздвижке сифона и опускания при возврате в исходное положение (рис.5).



1 – рукав от воздушного компрессора; 2 - пневматический редуктор давления;  
3 – электромагнитный клапан; 4 – нормально закрытый отводной клапан.

Рисунок 6 – Блок перемещения рейки.



Рисунок 7– 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 пневмоподпора (пускового устройства) предлагается использовать пневматические баллоны (3-х камерные сильфоны) Тип 340-250 (диаметр опорной части  $\varnothing=300$  мм, раздвижностью  $\delta=0...290$  мм.) и толкающим усилием до 20,0 кН. (рис.8)



Рисунок 8 – 3-х секционный сильфонный пневмобаллон

Для того, чтобы преобразовывать возвратно-поступательное движение во вращательное, имеющее одно направление было принято использовать реечный механизм. (рис.9)

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.

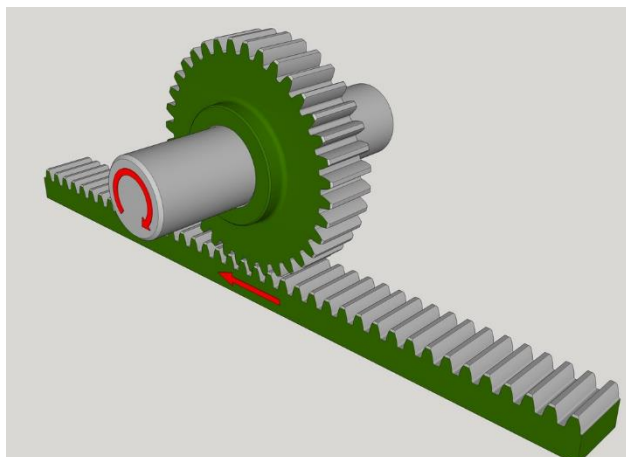
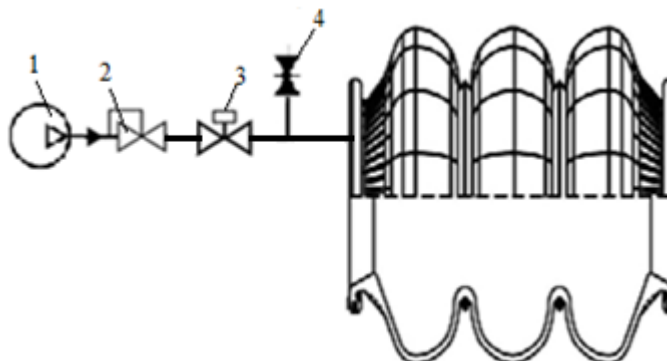


Рисунок 9 - Реечный механизм

## 2.2 Описание системы управления

Для управления пневмоподпором была разработана блок управления, позволяющая работать в автоматическом режиме (рис. 10).



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

Рисунок 10 - 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  $180^{\circ}$ . После этого воздух из сильфоны может быть выпущен посредством клапана 4, при этом газовая стойка вернет сильфон в исходное состояние.



а)



б)



в)



г)

- (а) Пневматический переключатель; (б) Редуктор пневматический РДП-4;  
(в) Электромагнитный пневмоклапан; (г) Конечный выключатель

Рисунок 11 - Элементная база панели управления

## 2.3 Расчёт параметров и конструктивных элементов пневмоподпора

### 2.3.1 Расчет толкающего усилия сильфонного баллона

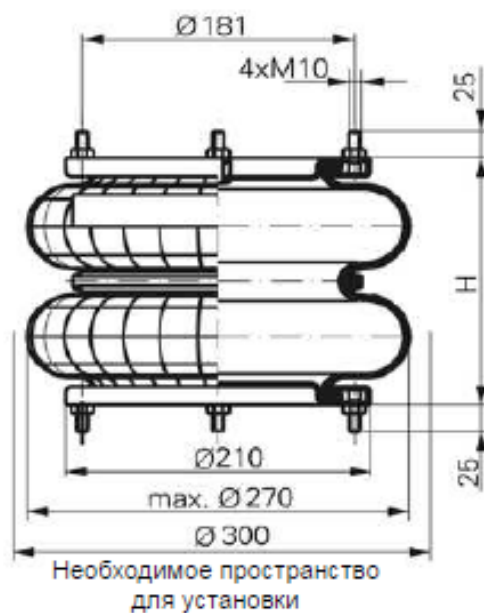


Рисунок 12 – Схема сильфонного пневмобаллона

$$P = S \cdot p = 0,077 \cdot 5 \cdot 10^5 = 38500 \cdot H \approx 38,5kH,$$

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,  $0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

### 2.3.2 Расчет толкающего усилия необходимого для работы пневмоподпора

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

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

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

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

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

Примечания:

- 1 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).
- 2 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)

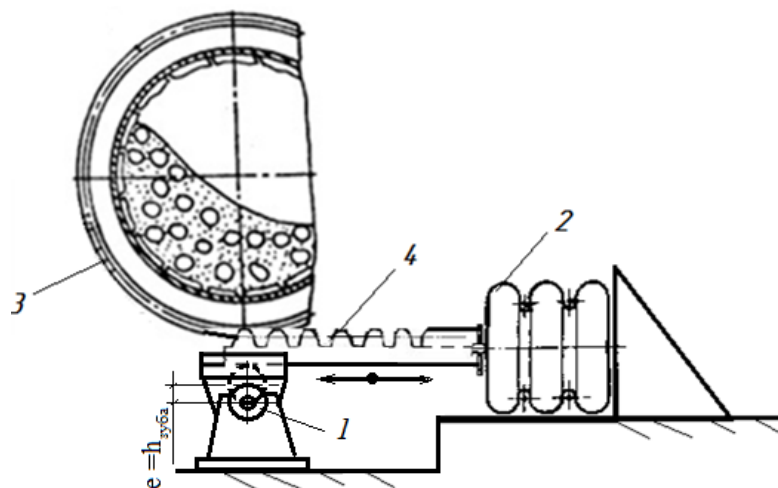
Принимая во внимание диаметр диаметр зубчатого венца типовой барабанной мельницы МШЦ2700х3600 -  $D = m \cdot z = 16 \cdot 274 = 4384$  мм. = 4,38 м.

$F$  - толкающее усилие на зубчатой рейке, которую установим под ним, должно составлять

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

Импульса от 3-х камерного сильфонного пневмобаллона будет достаточно для проворота барабана типовой мельницы МШЦ 2700х3600

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



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

Рисунок 13 – Кинематическая схема пневмоподпора (реечного пускового устройства) в составе барабанной мельницы

### 2.3.3 Расчет параметров ресивера пневмосистемы

Основная функция ресивера (рис.13) обеспечение постоянства расходных параметров машин. Принимая во внимание объемные параметры пневмосистемы, выбираем ресивер В-2,0 ГОСТ9028-76 вместимостью 2 м<sup>3</sup> рассчитанного на избыточное давление не более 0,8 МПа.



Рисунок 14 - Ресивер пневмосистемы

Для проверки работоспособности системы с встроенным ресивером воспользуемся уравнением Бойля-Мариота

$$V_p \cdot P_p = V_p \cdot P'_p + (V + S \cdot l) \frac{P'_p + P_{\max}}{2}$$

Система работоспособна если давление в ресивере после заполнения оболочки не будет меньше, чем в системе, т.е.  $P'_p \geq P_{\max}$

$$P'_p = \frac{V_p \cdot P_p - \frac{V + Sl}{2} P_{\max}}{V_p + \frac{V + Sl}{2}}$$

где  $P_p$  – давление в ресивере 0,6 МПа;

$V_p$  – объем ресивера, 2 м<sup>3</sup>;

$S$  – живое сечение магистралей подвода, 0,003 м<sup>2</sup> - для  $d=0,02$  м;

$l$  – длина магистрали от ресивера до оболочек, 2 м;

$V$  – объем камеры оболочки.

$$P'_p = \frac{2 \cdot 0,6 - \frac{0,064 + 0,04 \cdot 2}{2} \cdot 0,5}{2 + \frac{0,064 + 0,04 \cdot 2}{2}} = 0,56 \text{ МПа.} > 0,5 \text{ Мпа}$$

Таким образом, ресивер и давление в ресивере удовлетворяют условия работы.



### 3 Стенд для исследования параметров пневмобаллонного привода

#### 3.1 Описание стенда

Для проверки идеи был разработан стенд, на базе барабанной лабораторной мельницы (рис.14). Мельница представляет собой литой барабан разделённый перегородкой на две камеры опирающийся на подшипниковые опоры. В качестве приводного устройства (центрального) использован электромеханический редукторный привод с трёхфазный асинхронным электродвигателем переменного тока мощность 3 кВт.,  $n=1500$  мин-1 и т.д. В полости барабана можно загружать дополнительное утяжеление в виде сыпучих материалов, стальных шаров, свинцовых грузов увеличивающих инерционность и добавляющие вибрационные составляющие. Устройство (пневмоподпор) установлено между выходным валом редуктора и осью барабана, для этого на полумуфте установленной на шейке оси барабана закреплён зубчатый венец.



Рисунок 15 – Стенд на базе лабораторной барабанной мельницы



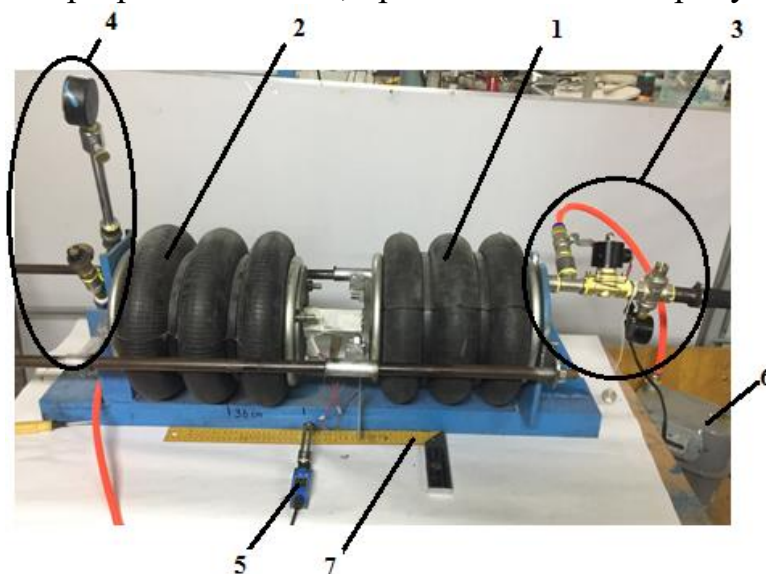
Рисунок 16 – Общий вид стенда

## 4 Экспериментальная часть

Принимая во внимание результаты предварительных исследований пневмоподпора для барабанных мельниц мы разбили работы на два этапа. На первом этапе наших исследований с пневмоподпором мы проверили предположение, что максимальное силовое воздействие сильфонный пневмобаллон оказывает при использовании максимального полезного объема. И только на втором этапе – исследования динамических характеристик пневмоподпора.

### 4.1 Методика проведения экспериментальных исследований параметров сильфонных баллонов

Для исследования раздвижных и объемных (расходных) характеристик последних нами был разработан стенд, представленный на рисунке 16.



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 17 – 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.17). В систему 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

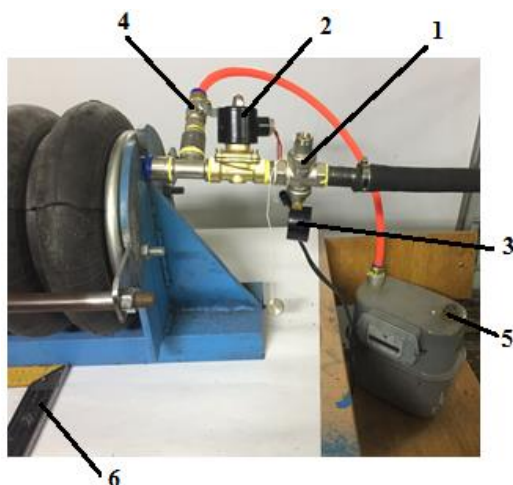


Рисунок 18 – Общий вид системы подачи рабочего давления.

Для поддержания давления в системе имитации сопротивления раздвижки (рис.18) использовали предохранительный клапан 1, настроенный на определенное давление.



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

Рисунок 19 – Общий вид системы обеспечения параметров сопротивления (давления).

Для автоматической отсечки подачи воздуха по мере достижения максимального хода раздвижки на рабочем столе станда 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 опорожняли 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 пневмобаллона, 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.19 и времени раздвижки от давления  $t(p)$  рис.20.

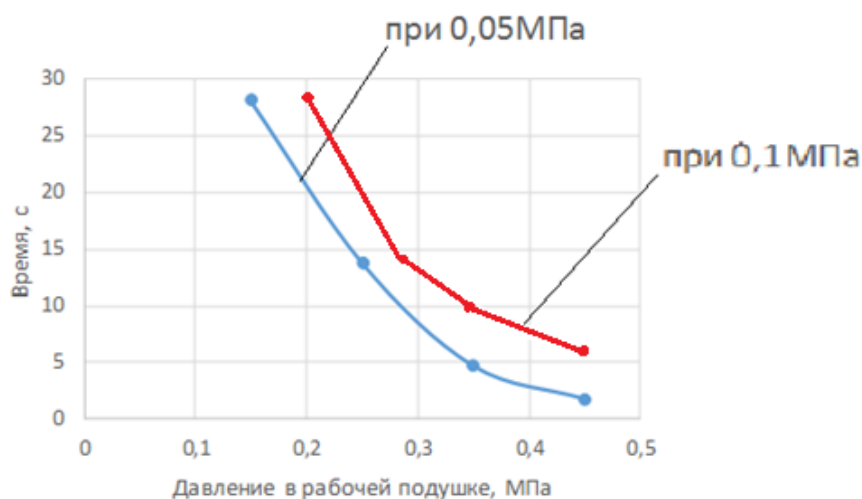


Рисунок 20 – График зависимости времени хода раздвижки от рабочего давления и давления в системе имитации сопротивления.

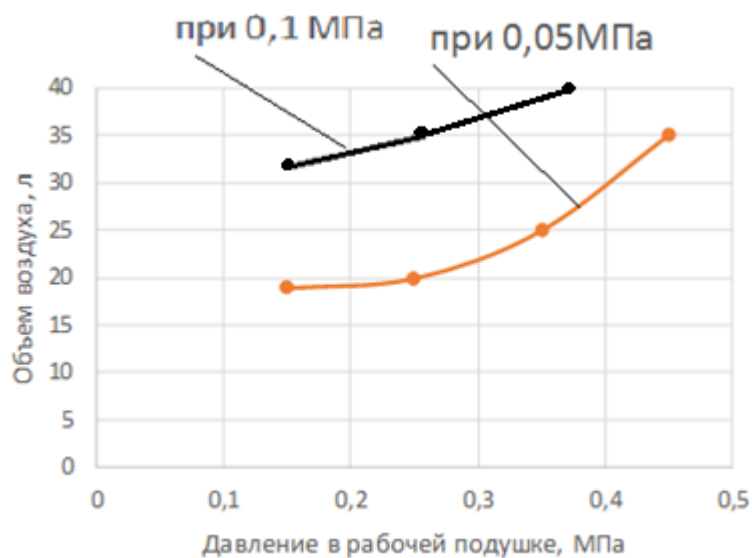


Рисунок 21 – График зависимости расхода воздуха от давления в рабочем сильфоне и давления в сильфоне для имитации сопротивления.

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.21). Последовательно повышая давление в надпоршневом пространстве рабочего цилиндра пресса и фиксируя показания динамометра установили связь между этими параметрами.



Рисунок 22 – Общий вид пресса с приставкой для его тарировки.

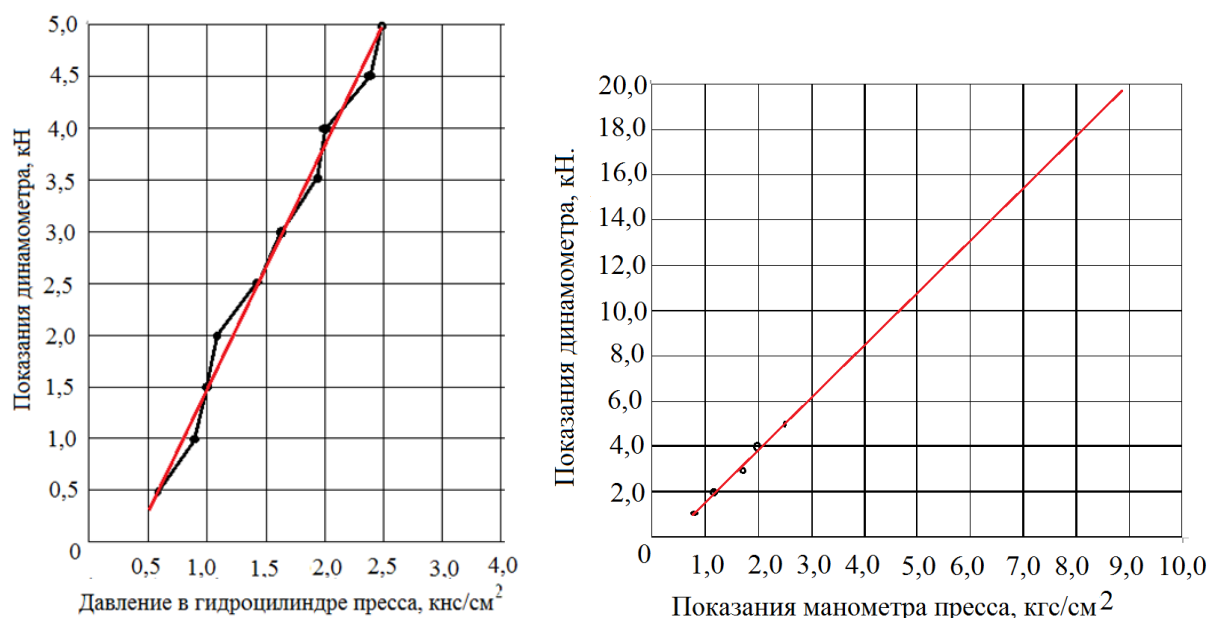


Рисунок 23 – Тарировочные графики манометра пресса.

После обработки данных получили то, что в среднем на каждые 0,1МПа 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.23, 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  $F(p)$ .



Рисунок 24 – Схема расположения сильфона в рабочей зоне пресса.

Последовательно повышая давление в полости сильфона с шагом 0,1 МПа и фиксируя давление в рабочем цилиндре по манометру пресса после компенсации раздвижки т.е. возврата к общей высоте сильфонного пневобаллона в 350 мм, построили график  $F(p)$  (рис.28). 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.29).

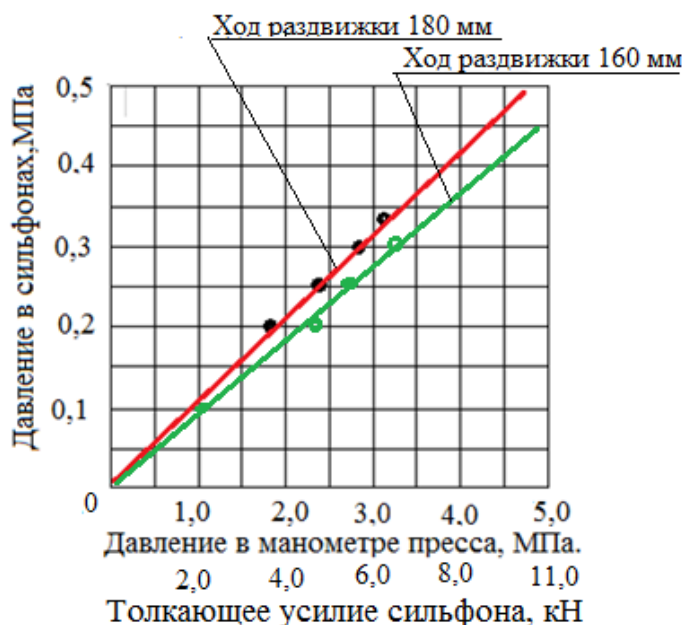


Рисунок 25 – График зависимости толкающего усилия от давления в полости сиффона при различных ходах раздвижки.

Таким образом мы получили возможность контролировать толкающее усилие по давлению и определять ход раздвижки, обладающий максимальным толкающим усилием. Т.е нет необходимости в установке момента пуска в точке максимальной раздвижки, толкающее усилие может повысится на 10%, при уменьшении на 20 мм.

#### 4.2 Методика проведения экспериментальных исследований по определению динамических характеристик пневмоподпора

Программа испытаний:

1. Запустив компрессор закачали в ресивер воздух до  $p = 1,0 \text{ МПа}$ .
2. Нажатием кнопки «пуск» открываем клапан блока управления подачей воздуха в сиффон. Воздух предварительно отрегулированный в пневматическом редукторе начинает нагнетаться в 3-х камерный сиффонный пневмобаллон. Сиффонный 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 с определенным шагом после  $\frac{1}{2}$  максимального хода раздвижки, последний замыкает контакты в пусковом реле электродвигателя главного привода. 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 на каждом шаге раздвижки после  $\frac{1}{2}$  хода максимальной раздвижки строим совмещенный график изменения пусковых токов от давления в пневмосистеме
5. На предварительном этапе стендовых испытаний для регистрации силы пускового тока в одну из фаз тракта питания электродвигателя главного привода врезали амперметр переменного тока (рис.26). Было выполнено несколько пусков главного привода без подключения пуско-вспомогательных устройств. Среднее значение пускового тока составило 9А при рабочем токе 4,5 А.



Рисунок 26 – Показания амперметра пуска главного привода без вспомогательного привода

Примечание - 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 Аппаратурное оформление замеров пускового тока

Для более точных исследований и контроля параметров было принято решение использовать регистратор электрических параметров РПМ-416 (рис.27). 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 27 – 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.27), подключаемый к регистратору РПМ-416.



Рисунок 28 – Измерительный трансформатор тока ИПТ-01

#### 4.4 Результаты стендовых исследований (токовые диаграммы с комментариями)

В программу стендовых испытаний включили два этапа: на первом – исследовали влияние точки размещения конечного выключателя на величину пускового тока, на втором зависимость его от давления в системе.

Для реализации экспериментов по первому этапу на панели управления импульсного толкателя предусмотрели возможность смещения конечного выключателя с шагом 24 мм., от середины хода раздвижки. Серию экспериментов провели при давлении 0,3 МПа. Было установлено, что максимальное снижение пускового тока происходило при установке конечного выключателя во второй половине хода раздвижки – между 145 и 290 мм.

Второй этап испытаний провели, варьируя давлением с шагом 0,1 МПа и ходом раздвижки.

Данные замеров пускового тока:

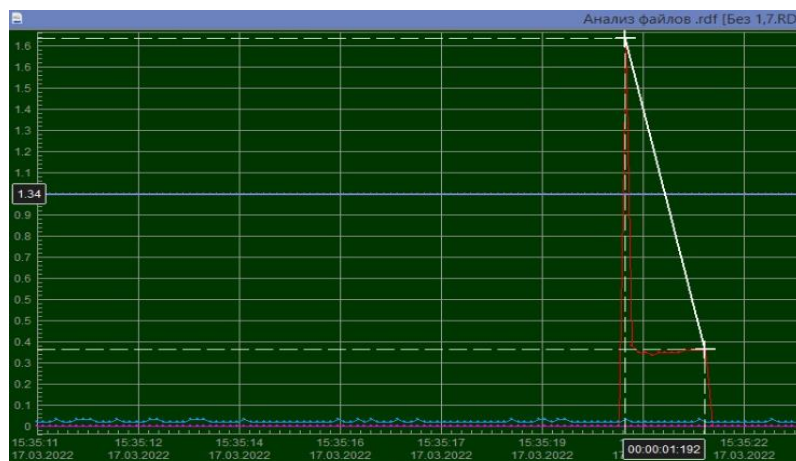


Рисунок 29 - Без включения пускового устройства (максимальный пусковой ток  $I_{п}=9\text{А}$ , номинальный ток  $I_{н}=3\text{А}$ )

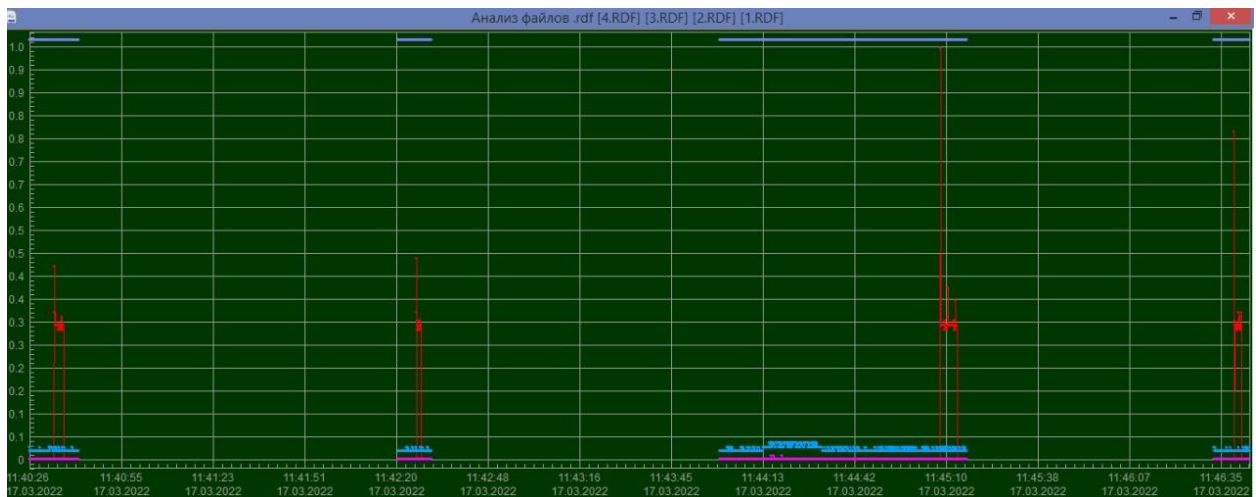


Рисунок 30 – Пусковые токи при ходе раздвижки 145 мм и давлении от 0,1...0,4 МПа.

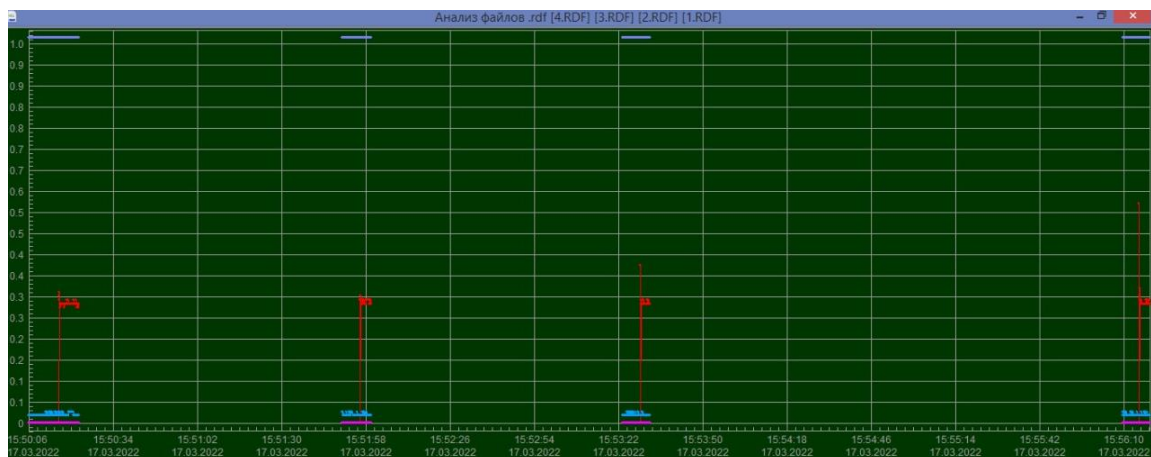


Рисунок 31 – Пусковые токи при ходе раздвижки 169 мм и давление 0,1...0,4, но здесь давление с наоборот. то есть слева начинается с 0,4 МПа потом 0,3 МПа и так далее

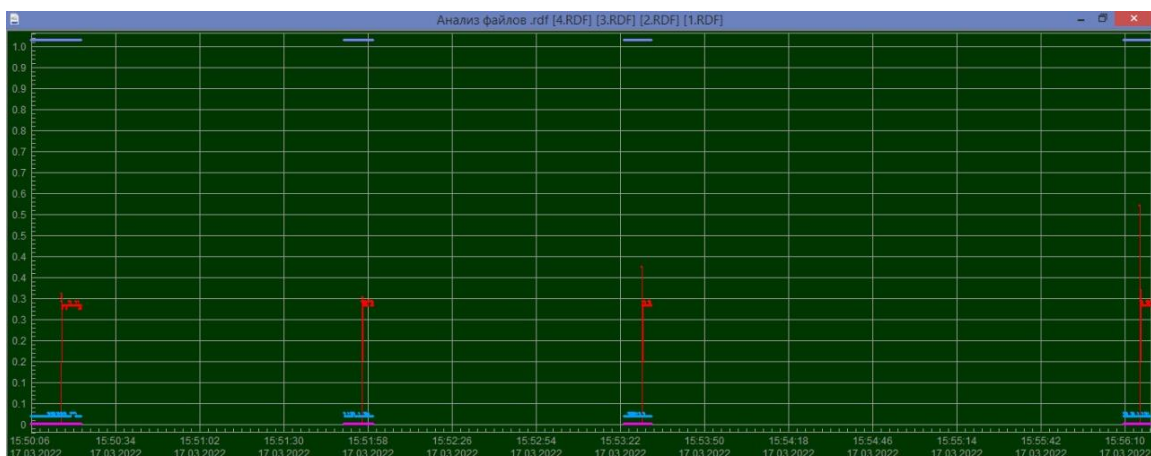


Рисунок 32 – Пусковые токи при ходе раздвижки 193 мм, давление 0,1...0,4Мпа



Рисунок 33 – Пусковые токи при ходе раздвижки 217 мм давление 0,1...0,4Мпа



Рисунок 34 – Пусковые токи при ходе раздвижки 241 мм давление 0,1...0,4МПа

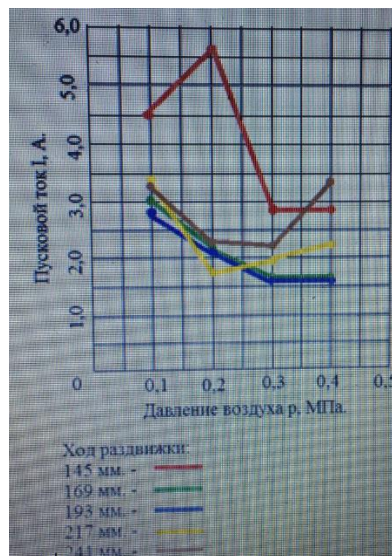


Рисунок 35 – Совмещенный график изменения пусковых токов от давления в пневмосистеме пневмобаллонного привода.

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- наиболее оптимальным ходом раздвижки сильфона для обеспечения максимального снижения пускового тока можно считать середину интервала между максимальным и средним ходами раздвижки;
- 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.

## **5 Перспективы применения пневмобаллонного привода в качестве пуско-вспомогательного устройства 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 рудоразмельной мельницы (к примеру- МШР, мощностью электропривода от 400 кВт и более) или мельниц самоизмельчения (ММС, мощностью электродвигателя 2000 кВт и более) с низкими оборотами ( $13 \text{ мин}^{-1}$  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 поворота барабана с малым числом оборотов при проведении ремонтных работ и перефутеровках. Предстартовое включение таких вспомогательных устройств позволит компенсировать люфт и снизить ударные нагрузки в зацеплениях механических передач тяжелых машин для старта их основного пускового электропривода, что также повысит их 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 пусковое 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 ППР кафедры, направленные на внедрение в практику модернизации горно-металлургического оборудования пневматических баллонов и резинокордовых оболочек в качестве приводного органа (получено 4 патента на различные варианты пневматического привода с храповым



механизмом и обгонной муфтой). Результаты исследований этих приводов показали их высокие силовые возможности 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 пневмомагистрали  $0,35 \text{ МПа}$  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  $2800 \times 4400$  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 транспортерной 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 резинорезинкордовым 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 используемых в департаменте ЧС достигает сотен тысяч тг. Потребность в резинорезинкордовым 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 приводы технологических машин ориентированных формирование больших крутящих моментов и весьма тихоходных. Для реализации этих параметров на базе стандартных зубчатых передач потребуются несколько редукторов и различного вида передач, при этом общий к.п.д. существенно уменьшится. Мы понимаем, что стоимость сжатого 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 КазНИТУ им.К.И.Сатпаева в области использования резинорезинкордовым 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 ПО Балхашцветем медно-молибденовой обогатительной фабрике 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.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эксперименты на стенде с макетом барабанной мельницы при различных давлениях в пневмосистеме доказали актуальность использования пневмоподпора в составе барабанных мельниц.
2. Показано, что предложенный пневматический привод с использованием пневматических сильфонных 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 привода 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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 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; -ИINV.№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; - Инв.№ 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.И.Денина, - 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 пневмокамерный привод технологических машин. –Алматы Вестник КазНТУ им.К.И.Сатпаева №2 2018 г.