

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

УДК 621.313

На правах рукописи

**РАХМАТУЛЛАЕВ НОДИРБЕК САЙДУЛЛАЕВИЧ**

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
СТАЦИОНАРНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА  
500 кВ ТАШ ТЭС**

**Специальность: 5А521311 – Электропривод и автоматизация  
промышленных установок и технологических комплексов**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**ДЛЯ ПРИСВОЕНИЯ СТЕПЕНИ МАГИСТРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**Работа рассмотрена и  
допущена защите  
Зав. кафедрой**

\_\_\_\_\_

**Научный руководитель  
к.т.н., доц. Имамназаров А.Т.**

\_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Ташкент – 2012**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	
<b>1. Силовые элементы подстанции с напряжением 500 кв Ташкентской ТЭС</b> .....	
1.1. Часть однолинейной схемы подстанции Ташкентской ТЭС с высоковольтными воздушными выключателями .....	
1.2. Конструктивные особенности высоковольтных воздушных выключателей .....	
1.3. Принцип работы пневматического привода выключателей высокого напряжения .....	
Выводы по главе .....	
<b>2. Воздушные компрессоры используемые для функционирования воздушных выключателей</b> .....	
2.1. Принцип работы и особенности эксплуатации воздушных компрессоров .....	
2.2. Рабочие процессы поршневого компрессора	
2.3. Основные причины снижения эффективности работы воздушных компрессоров и способы их устранения .....	
Выводы по главе .....	
<b>3. Электроприводы для поршневых компрессоров</b> .....	
3.1. Особенности работы привода поршневых компрессоров .....	
3.2. Номинальные технические параметры воздушных компрессоров эксплуатируемые на подстанциях .....	
3.3. Основные требования, предъявляемые к электропроводам воздушных компрессоров .....	
Выводы по главе .....	

<b>4. Разработка энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода ДЛЯ поршневого компрессора ВШВ 3/100</b> .....	
4.1. Энергосберегающие режимы работы частотно – регулируемых асинхронных двигателей .....	
4.2. Энергосберегающая автоматизированный частотно-регулируемый асинхронный электропривод воздушного компрессора .....	
Выводы по главе .....	
<b>5. Основные параметры частотно-регулируемого асинхронного двигателя компрессора ВШВ 3/100</b> .....	
5.1. Номинальные электрические, энергетические и механические параметры асинхронного двигателя .....	
5.2. Расчет основных параметров частотно-регулируемого асинхронного двигателя при различных значениях частоты по закону регулирования напряжения $\gamma = \alpha$ .....	
5.3. Расчет основных параметров частотно-регулируемого асинхронного двигателя при различных значениях частоты по закону регулирования напряжения $\gamma = \alpha \cdot \sqrt{\mu_c}$ .....	
5.4. Расчет основных параметров частотно-регулируемого асинхронного двигателя при различных значениях частоты по закону регулирования напряжения $\gamma = \text{var}(I_2 \leq I_{2H})$ .....	
Выводы по главе .....	
<b>Заключение</b> .....	
<b>Литература</b> .....	
<b>Приложения</b> .....	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования** является то, что магистерская диссертация посвящена оптимизации потребления электрической энергии механизмами собственных нужд Ташкентской ТЭС, в примере, электроприводов компрессорных установок и станций применяемых для включения и отключения высоковольтных воздушных выключателей. И это способствует уменьшению потребления электроэнергии в собственных нужд ТЭС, в результате чего уменьшается себестоимость вырабатываемой и передаваемой потребителям электроэнергии. Предлагается для управления компрессорной установки энергосберегающий частотно-регулируемый асинхронный электропривод с оптимизацией энергетических параметров асинхронного двигателя.

**Целью** исследования являются разработка и исследования энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода компрессорной установки и для достижения этой цели необходимо решать следующие **задачи исследования**:

1. определения и анализ электрических, механических и энергетических параметров частотно-регулируемого асинхронного двигателя компрессорной установки для различных значений режимов работы и нагрузки;

2. научно обосновать закона оптимального управления энергетическими параметрами частотно-регулируемого асинхронного двигателя компрессорной установки;

3. разработка функциональной и структурной схемы автоматического управления энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электропривода компрессорной установки.

**Научной новизной исследования:** разработка и анализ работы системы автоматического управления энергосберегающего частотно-

регулируемого асинхронного электропривода для компрессорной установки Ташкентской ТЭС.

**Предметом исследования** является энергосберегающий частотно-регулируемый асинхронный электропривод компрессорных установок предназначенные для функционирования высоковольтных воздушных выключателей.

**Практическая значимость** заключается в том, что при использовании энергосберегающего частотно-регулируемого асинхронного электроприводов для компрессорных установок позволяет, уменьшит потребления электроэнергии собственных нужд ТЭС и это способствует уменьшению себестоимость вырабатываемой и передаваемой электроэнергии потребителям.

**Апробация.** Результаты научного исследования были доложены в научных семинарах кафедры «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» приводившийся, в 2010 – 2012 учебных годах и была подготовлена две статья для публикации в научно-техническом журнале «Техника юлдузлари»: «Энергосберегающий асинхронный электропривод компрессорных установок» и «Компрессорларнинг тезлиги ростланмайдиган асинхрон электр юритмаларини энергия тежамкор иш режимларида бошқариш»

. **Структура и объем диссертационной работы** состоит из введения, пяти глав, списка использованных литератур, заключение и приложения и основная часть составляет 71 машинописных страниц.

## **Часть однолинейной схемы подстанции Ташкентской ТЭС с высоковольтными воздушными выключателями**

Сжатый воздух представляет собой воздух, который хранится и используется под давлением, превышающим атмосферное. Системы сжатого воздуха принимают определенную массу атмосферного воздуха, занимающую определенный объем, и сжимают ее до меньшего объема. На системы сжатого воздуха приходится до 10% промышленного потребления электроэнергии, или около 80 ТВт·ч/год в 15 государствах – членах ЕС.

Сжатый воздух используется двумя основными способами:

- как компонент технологического процесса, например, для:
  - производства азота низкой степени чистоты с целью создания инертной атмосферы для технологического процесса;
  - производства кислорода низкой степени чистоты в качестве окислителя, например, при очистке сточных вод;
  - для организации чистых производственных помещений, защиты от загрязнения и т.п.;
  - перемешивания при высоких температурах, например, расплавленной стали или стекла;
  - выдувания стеклянных изделий или вытягивания волокон;
  - литья пластмасс;
  - пневматической сортировки;
  - в качестве энергоносителя, например, для:
    - приведения в действие инструментов, работающих на сжатом воздухе;
    - приведения в действие пневматических исполнительных устройств (например, цилиндров).

На предприятиях КПКЗ сжатый воздух используется, главным образом, в качестве компонента технологического процесса. Требуемое давление и

чистота воздуха, а также временной график его потребления определяются условиями конкретного технологического процесса.

По своей природе использование сжатого воздуха является чистой и безопасной технологией вследствие низкого риска воспламенения или взрыва, как самопроизвольного, так и при контакте с горячими деталями. Вследствие этого сжатый воздух широко применяется на предприятиях, характеризующихся повышенной опасностью, например, на химических и сходных производствах. В отличие от систем электроснабжения, системы сжатого воздуха не требуют возвратного трубопровода или кабеля. Пневматические системы, применяемые для приведения устройств в движение, характеризуются высокой плотностью энергии и, в случае применения устройств объемного (вытесняющего) типа обеспечивают постоянный крутящий момент при постоянном давлении даже при низких скоростях вращения. С точки зрения многих практических применений, это является преимуществом перед электрическими устройствами. Пневматические системы легко адаптируются к меняющимся потребностям технологического процесса (в т.ч. при высоком уровне потребностей), а для управления ими могут использоваться устройства пневматической логики. Системы пневматической логики легко устанавливаются (хотя в последнее время они вытесняются дешевыми электронными устройствами).

Механические устройства с пневмоприводом, часто используются там, где необходимы короткие и быстрые движения с небольшим усилием или, напротив, для создания значительного усилия при небольшой скорости. В частности, они могут использоваться в сборочных устройствах и процессах (как с ручным, так и с автоматизированным управлением). Доступны и электрические устройства для тех же целей, например, ударные магниты для коротких быстрых движений или приводы с резьбовым штоком, способные развивать значительное усилие. Однако преимуществом пневматических устройств является малая величина отношения массы к мощности, что

позволяет использовать их на протяжении длительных периодов времени без перегрева и с незначительными затратами на техническое обслуживание.

Тем не менее, при наличии каких-либо ограничений для использования сжатого воздуха должны быть рассмотрены альтернативные варианты привода.

Во многих случаях системы снабжения сжатым воздухом представляют собой неотъемлемую часть производственного предприятия и должны анализироваться параллельно с общими потребностями производства в сжатом воздухе. На предприятиях КПКЗ системы сжатого воздуха являются значительным потребителем энергии; на них может приходиться 5–25 % общего энергопотребления предприятия. В силу возрастающего значения энергетической эффективности, производители компрессорного и другого пневматического оборудования разрабатывают технологии и инструменты для оптимизации существующих систем сжатого воздуха, а также внедрения новых, более эффективных систем

В настоящее время важнейшим фактором инвестиционных решений, в особенности, при внедрении новой системы сжатого воздуха, является анализ затрат на протяжении жизненного цикла системы. Энергоэффективность рассматривается в качестве важного критерия при проектировании новых систем сжатого воздуха, и существует значительный потенциал для оптимизации существующих систем. Срок службы крупного компрессора составляет 15-20 лет. За это время характер потребностей производства в сжатом воздухе может измениться, что приводит к необходимости пересмотра общего устройства системы. Кроме того, появляются новые технологии, которые могут использоваться для повышения энергоэффективности существующих систем.

В целом, выбор энергоносителя для технологического процесса (например, сжатого воздуха), зависит от многих характеристик самого процесса и предприятия, вследствие чего соответствующее решение должно приниматься в каждом отдельном случае на основе анализа конкретных

условий. Энергоэффективность в системах сжатого воздуха в большинстве существенных применений сжатого воздуха в обрабатывающей промышленности этот ресурс является неотъемлемым компонентом технологического процесса. При этом многих случаях использование сжатого воздуха или конкретный метод его применения не могут быть заменены какой-либо другой технологией без существенной реорганизации процесса в целом. В этих условиях энергоэффективность системы сжатого воздуха полностью или преимущественно определяется эффективностью производства, подготовки и распределения сжатого воздуха.

В свою очередь, энергоэффективность производства, подготовки и транспортировки сжатого воздуха определяется качеством проектирования, реализации, эксплуатации и технического обслуживания соответствующей системы. Конструкция системы должна обеспечивать эффективное удовлетворение потребностей производства в сжатом воздухе. До реализации мер по оптимизации энергоэффективности системы сжатого воздуха необходимо проанализировать технологические процессы, потребляющие сжатый воздух, и потребности этих процессов. Целесообразно интегрировать деятельность по обеспечению эффективности системы сжатого воздуха в общую систему менеджмента энергоэффективности, поддержав эту деятельность такими средствами, как достоверный аудит системы и база данных по ее характеристикам

## **1.2. Конструктивные особенности высоковольтных воздушных выключателей**

Компрессоры оборудуются приводами с переменной скоростью, главным образом, в условиях, когда потребности в сжатом воздухе существенно варьируют в течение дня и от одного дня к другому. Для управления работой компрессоров могут использоваться такие традиционные подходы, как включение/отключение, модуляция, регулирование

Многие системы сжатого воздуха уже оборудованы приводами с переменной скоростью, так что потенциал для внедрения этой технологии в промышленности составляет около 25% существующих систем. Объем энергосбережения может достигать 30%, хотя средний эффект, достигаемый при добавлении к системе одного компрессора с приводом переменной скорости, составляет около 15%. Весьма вероятно, что установка компрессора с приводом переменной скорости оказалась бы полезным мероприятием для многих систем сжатого воздуха, в настоящее время не имеющих такого компрессора.

Как правило, на энергию приходится 80% затрат за весь жизненный цикл компрессора, тогда как оставшиеся 20% приходятся на капитальные затраты и техническое обслуживание. Предприятие, где энергопотребление компрессора снижается на 15%, экономит 12% затрат за его жизненный цикл, в то время как дополнительные затраты на приобретение компрессора с приводом переменной скорости увеличивает затраты за жизненный цикл всего на 2–5%.

#### *Мотивы внедрения*

Основными мотивами являются экономические и экологические соображения.

### **1.3. Компрессорный агрегат Ташкентской ТЭС ВШ-3/40 и ВШВ-3/100**

#### ***Назначение компрессорного агрегата ВШ-3/40 и ВШВ-3/100***

Основное назначение компрессорного агрегата ВШ-3/40 (ВШВ-3/100)– сжатие воздуха до давления 40 кгс/см<sup>2</sup> и обеспечение сжатым воздухом воздушных высоковольтных выключателей, которые эксплуатируются в составе распределительных устройств электрических станций и подстанций.

Типы компрессоров – воздушный, W-образный, угол между рядами 60°, шестирядный поршневой, трехступенчатый простого действия.

В частности, они применяются для пневматических испытаний сосудов и трубопроводов, ВШ-3/40 и ВШВ-3/100 может быть применены в различных технологических процессах и производствах, где требуется сжатый воздух

высокого давления. работающих под давлением. Если в комплексе с компрессором ВШВ-3/100 применить систему фильтров и осушителей, то использование данного агрегата может быть очень широкое

Известно, что коэффициент преобразования основной частоты в удвоенную зависит от температуры и ориентации кристалла. Поэтому были проведены специальные опыты для выбора оптимальной температуры синхронизма преобразователя. С этой целью кристалл СДА подогревали, используя ультратермостат. Излучение удвоенной частоты отделялось от основной цветным светофильтром СЗС-21, в каждой серии импульсов изменялась энергия лазерного излучения, было обнаружено, что максимальный коэффициент преобразования основной частоты во вторую гармонику соответствовал 25% при температуре синхронизма  $t^{\circ}=45,6$  С. Для проведения экспериментов была зафиксирована ориентация кристалла СДА в пространстве, а оптимальная температура синхронизма поддерживалась постоянной. При этом погрешность поддержания температуры синхронизма не превышала нормы.

Параметры используемого излучения второй гармоники были следующие: энергия в импульсе  $\sim 3 \cdot 10^{-3}$  Дж, длительность импульса на полувысоте  $\sim 1,2 \cdot 10^{-2}$  с абсолютной величиной частоты излучения, измеренной с помощью автоколлимационной трубы УФ-90  $-18790 \text{ см}^{-1}$ . Регистрация спектра осуществлялась в четвертом дифракционном порядке (использовалась отражательная реплика с 300 шт /мм).

Дисперсия составляла величину  $\sim 3 \text{ \AA/мм}$ , что более чем на порядок превышает значение инструментального контура данной оптической системы. Калибровка спектрографа осуществлялась по линиям ртутной и натриевой ламп. Ошибка абсолютной калибровки не превышала 1  $\text{ \AA}$ . Напряженность электромагнитного излучения в фокусе, определенная по энергетическим и пространственно-временным характеристикам, составляла  $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ В см}^{-1}$ .

Для проведения экспериментов по исследованию процессов трехфотонной резонансной ионизации щелочноземельных атомов (гл.5) была создана лазерная установка с перестройкой частоты. Два лазера на красителе, накачивались соответственно третьей и второй гармоникой излучения лазера

на иттрий-алюминиевом гранате. Конструктивно лазер на гранате состоял из трех модулей: задающего генератора, излучающего в основной поперечной моде, выделяемой диафрагмой, помещенной в резонатор, и двух каскадов усиления. Выходные параметры излучения лазера на гранате после двух каскадов усиления были следующие: энергия в импульсе  $Q \sim 0,15$  Дж, длительность импульса на полувысоте  $\tau \sim 15$  нс, что соответствует мощности  $P \sim 10$  МВт. Преобразование излучения основной частоты во вторую и - третью гармонику осуществлялось в нелинейных крист.таллах  $KDP_{1,2}$  с углами синхронизма  $41^\circ$  (ооо-синхронизм) и  $57^\circ$  (еое-синхронизм). Перестройка в желто-зеленой области спектра (570-540 нм) на красителе родамин незамещенный, осуществлялась лазером ЛЖИ-504 с накачкой второй гармоникой ИАГ-лазера. Импульсная мощность излучения составляла 50 кВт, длительность импульса излучения на полувысоте 12 нс, спектральная ширина линии генерации 0,08 нм. Для перестройки в зелено-синей области спектра (540-420 нм) на красителях кумарин 7,30, 47, 120 использовался самодельный лазер, прототипом которого послужила схема, предложенная в работе [70]. В нашей схеме использовалась реплика дифракционной решетки шириной 50 мм с 1800 шт/мм. Дифракционная эффективность этой решетки в диапазоне длин волн 440-520 нм близка к максимальной и составляла 40-45%.

Сканирование длины волны осуществлялось поворотом зеркала вокруг вертикальной оси.

В ряде экспериментов (гл.6,7) в качестве источника оптического излучения использовались два лазера на красителях с синхронной накачкой твердотельным импульсным лазером. Лазерная система, употребляемая в экспериментах, включала в себя следующие основные модули: блок накачивающего излучения, внешний усилитель и два лазера на красителе. Блок накачивающего излучения представляет собой серийный твердотельный импульсный лазер ЛТИ-401 на крист.таллах ИАГ: $Nd^{3+}$  с модуляцией добротности и преобразования частоты во вторую гармонику (532 нм.), с помощью нелинейного крист.талла  $KDP$ . Разделение пучков лазерного излучения основной частоты и второй гармоники осуществлялось с помощью дихроичного зеркала. Энергия лазерного импульса на выходе блока накачивающего излучения составляла:

- на длине волны 1064 нм  $Q \sim 0,2$  Дж, длительность на полувысоте  $\sim 25$  нс;

- на длине волны 532 нм  $Q \sim 0,02$  Дж,  $\tau \sim 20$  нс, соответствующая импульсная мощность  $P \sim 1$  МВт. Энергетическая расходимость лазерного излучения - не более 0,002 рад.

Нелинейный преобразователь на основе элемента KDP с угловой перестройкой синхронизма преобразовывал излучение лазера на красителе во вторую гармонику (ультрафиолетовое излучение), длину волны которого можно было изменять в диапазоне 275-330 нм. Разделение основного излучения и второй гармоники осуществлялось дисперсионным элементом, представляющим из себя  $60^\circ$  кварцевую призму.

При этом одновременно увеличивается и степень полезного использования тепла, так как все тепло, введенное в слой через поверхности нагрева, полностью воспринимается материалом. Особенно эффективным является дополнительный подвод тепла в слой через поверхность нагрева при тепловой и теплотехнической обработке термолабильных материалов.

При проведении процессов, связанных с протеканием экзотермических реакций, возникает необходимость в отводе из слоя избыточного тепла. В отличие от псевдооживленного слоя, где во всем его объеме сохраняется один механизм теплообмена, в фонтанирующем слое в каждой из зон действует свой механизм теплообмена, который определяется гидродинамической обстановкой в этой зоне. К тому же между зонами существует непрерывный обмен частицами и дисперсионной средой. Надо учитывать и тот факт, что в зависимости от конкретных условий (угол раскрытия конуса, начальная высота слоя, расход газа, свойства материалов) в одном и том же аппарате может иметь место как режим чистого фонтанирования. Высказывается мнение, что закономерности теплообмена в фонтанирующем слое, по крайней мере в ядре фонтана, такие же, как и в псевдооживленном слое. Если для фонтанирующего слоя из мелких частиц, где нет четко выраженного фонтана и структура слоя близка к структуре псевдооживленного слоя, с

этим можно было бы согласиться, то для слоев из крупных частиц это совершенно неправильно.

По теплообмену между фонтанирующим слоем и стенками имеется ограниченное число работ. В первой работе по теплообмену фонтанирующего слоя с поверхностью [3] авторы изучали теплообмен фонтанирующего слоя из мелкозернистого глинозема ( $\delta = 0,005 \div 0,3$  мм), продуваемого воздухом, с одиночными зондами в виде спирали из тонкой проволоки, обогреваемой электрическим током, и латунным цилиндром ( $d = 8$  мм,  $l = 40$  мм) в двухмерной модели конического аппарата сечением  $45 \times 550$  мм. В опытах с проволочным зондом значения  $a_3$  в ядре фонтана при перемещении зонда от оси аппарата несколько увеличивались и достигали максимума на границе с периферийной зоной. В периферийной зоне значения  $a_3$  резко упали. С увеличением расхода воздуха  $a_3$  сначала росли до определенного максимума, а затем приняли постоянное значение, не зависящее от расхода воздуха.

В опытах с цилиндрическим зондом максимум  $u_L$  находился на оси фонтана. Коэффициент теплообмена определялся по интенсивности изменения температуры центра шара в регулярном режиме. По характеру расположения максимумов  $a_3$  в отдельных сечениях слоя при различных числах фонтанирования авторы пришли к выводу, что при небольших  $N$  (высота выброса частиц  $h_0 < 1,5 H_0$ ) ядро фонтана имеет цилиндрический профиль, а при больших числах  $N$  ( $h_0 > 1,5 H_0$ ) — конический с углом раскрытия  $20—30^\circ$ . Продольный профиль  $a_3$  характеризуется экстремумом, соответствующим  $h = 0,3 H_0$ . Результаты работ не являются достаточно показательными для теплообмена фонтанирующего слоя с поверхностью, поскольку, как указывалось нормальное фонтанирование имеет место в слоях из более крупных частиц. Поэтому полученные результаты, особенно при больших  $N$ , больше характеризуют

теплообмен поверхности с псевдооживленным слоем, чем с фонтанирующим.

Теплообмен с поверхностью зонда, погруженного в фонтанирующий слой из крупных частиц (силикагель  $\delta = 2 \div 7$  мм, пшено  $\delta = 2$  мм, полистирол  $\delta = 34 \div 5$  мм) в цилиндроконическом аппарате ( $D = 94$  мм,  $d_n = 15$  мм,  $\gamma = 45^\circ$ ,  $H_0 = 100$  мм) изучали С. С. Забродский и В. Д. Михайлик [5]. Зонд представлял собой керамический цилиндр диаметром 4,2—12,75 мм и длиной 13,5—40 мм, на боковую поверхность которого плотно, виток к витку, на длину 85—35 мм намотана спираль из медной проволоки диаметром 0,06 мм, обогреваемая постоянным током. Спираль одновременно служила термометром сопротивления и включалась в измерительный мост. Зонды устанавливались в слое как вертикально, так и горизонтально в различных точках по его сечению и высоте. В результате выполненных опытов авторы пришли к следующим выводам.

Значения  $a_3$  в ядре фонтана в среднем на 30% выше, чем в периферийной части слоя; основное падение  $a_3$  происходит в узком кольце из частиц вокруг центрального канала. Максимум  $a_3$  находится на границе между ядром фонтана и периферийной зоной; у оси аппарата значения  $a_3$  на 4—8% ниже, чем на его границе. В пределах центрального ядра значения  $a_3$  быстро уменьшаются по высоте; у входного отверстия значения  $a_3$  были примерно такие же, как и при продувке зонда, чистым воздухом при отсутствии в аппарате твердых частиц. Это указывает на преобладающую роль конвективной составляющей в общем переносе тепла от поверхности зонда к фонтанирующему слою из крупных частиц. С увеличением расхода газа  $a_3$  в ядре фонтана вырастали до определенного максимума, после чего несколько снижались. Для определения на границе между ядром фонтана и периферийной областью предложена зависимость вида  $Nu = cRe^n$ , где  $n = 0,667$ , а  $c$  в

зависимости от крупности частиц изменяется в пределах от 0,883 ( $\delta = 2$  мм) до 1,371 ( $\delta = 5 \div 7$  мм). Так как в опытах  $H_0 \sim H_n$ , то полученные результаты характеризуют в основном теплообмен между поверхностью и фонтанирующим слоем в коническом аппарате.

газом тепла может оказаться существенным.

Время пребывания материала в периферийной области, как указывалось выше, на один-два порядка больше, чем в ядре фонтанирующего слоя. Поэтому за время пребывания в этой части слоя температурное поле внутри частицы успевает выровняться и температура на ее поверхности становится равной средней калориметрической температуре слоя.

В работе изучался массообмен при сушке пастообразных материалов в фонтанирующем слое из гранул инертного материала. Паста, оседающая на гранулах в виде тонкой пленки, по мере подсыхания стирается с их поверхности и выносится из аппарата в виде тонкодисперсного порошка с отработанным сушильным агентом. Сушка на поверхности гранул происходит очень быстро и практически полностью заканчивается в первом периоде. Результаты опытов авторы обработали в виде зависимости между критериями подобия.

Условия восстановления оксидов при вельцевании существенно отличаются от условий восстановления в шахтных (доменных, свинцово-плавильных) или электротермических печах. В этих печах обычно ведут восстановительную плавку богатого свинцом и цинком сырья, содержащего 45-50% основного металла. В вельц-печах перерабатывают, как уже отмечалось, в основном про продукты — цинковые кеки, шлаки, раймовку, т.е. отходы основных процессов, содержащие, например, не более 20% Zn (кеки), а обычно 10-12% Zn, 0,5-0,6% Pb. Однако более существенное отличие процесса вельцевания заключается в тесном контакте твердого восстановителя с оксидами металлов, поскольку вельц-печь непрерывно

вращается, и материал шихты энергично перемешивается, осуществляя постоянное соприкосновение оксидов с углеродом

Основным восстанавливающим реагентом, при вельцевании является оксид углерода, образующийся при окислении коксика кислородом воздуха, поступающего в печь и проходящего над слоем шихты, которая непрерывно пересыпается при вращении печи и находится в постоянном контакте с газовой фазой. Образующийся при восстановлении оксидов СО, взаимодействует с углеродом по известной реакции.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При выполнении магистерской диссертации по теме **«МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАЦИОНАРНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА 500 кВ ТАШ ТЭС»** были получены следующие результаты:

1. Анализированы назначения высоковольтных воздушных выключателей установленных в Ташкентской ТЭС и рассмотрены их принцип работы.

2. Анализированы функционирования электрической схемы управления пневмопривода высоковольтных воздушных выключателей, принцип работы поршневых компрессоров и компрессорных станций предназначенные для совместной работы с высоковольтными воздушными выключателями.

3. Выявлены основные причины неэкономичной работы воздушных компрессоров и определены пути повышения эффективности их работы.

4. Сформулированы основные требования, предъявляемые к электроприводам воздушных поршневых компрессоров предназначенные для совместной работы высоковольтными воздушными выключателями.

6. Обоснован выбор частотно-регулируемого асинхронного электропривода для управления воздушными поршневыми компрессорами и анализированы возможные энергосберегающие режимы работы асинхронного двигателя, обеспечивающие минимум потерь и тока статора, минимум потребления реактивной мощности из сети.

7. Представлена разработанная блочно-структурная схема энергосберегающего автоматизированного частотно-регулируемого асинхронного электропривода и описывается принцип реализации энергосберегающего режима работы асинхронного двигателя.

8. Разработана методика расчета основных параметров асинхронного двигателя при различных значениях частоты и момента нагрузки частотно-регулируемого электропривода компрессорной установки.

9. Предлагается закон регулирования напряжения частотно-регулируемого асинхронного двигателя  $\gamma = \text{var}(I_2 \leq I_{2H})$ , который позволяет экономить электроэнергию в год по компрессорной станции на 70956 кВт.ч.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

1. Анчарова Т.В., Гамазин С.И., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Высшая школа, 1990.
2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Энергоиздат, 1982, 216 с.
3. Зимин Е.Н. и др. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. М.: Энергоиздат, 1981.
4. Копытов Ю.В., Чуланов Г.А. Экономия электроэнергии в промышленности. М.: Энергия, 1978.
5. Миронов Ю.М., Миронова А.Н. Электрооборудование и электроснабжение электротермических, плазменных и лучевых установок. М.: Энергоатомиздат, 1991. 376 с.
6. Крычков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Л.: Машиностроение, 1972.
7. Курчавин В.М., Мезенцев А.П. Экономия тепловой и электрической энергии в поршневых компрессорах. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Назаренко У.П., Межеричкий Н.А. Эксплуатация и повышение экономичности воздушных компрессорных установок. М.: Энергия, 1977.
9. Рыбин А.И., Закиров Д.Г. Экономия электроэнергии при эксплуатации воздушных компрессорных установок. М.: Энергоатомиздат, 1988. 72 с.
10. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1984.
11. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974.

12. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. М.: Энергоатомиздат, 1983.
13. Ҳошимов О.О., Имомназаров А.Т. Электромеханик қурилма ва мажмуаларнинг элементлари. Тошкент: «ЎАЖБНТ» Маркази, 2003.
14. Ҳошимов О.О., Имомназаров А.Т. Электромеханик тизимларда энергия тежамкорлик. Олий ўқув юртлари учун дарслик. Тошкент, «ЎАЖБНТ» Маркази, 2004, 96 б.
15. Хашимов А.А. Режимы работы энергосберегающего асинхронного электропривода. В мат. 3 – Международного симпозиума по электрическим моторам и системам управления. PATRAL, Греция, 1999.
16. Хашимов А.А. Энергосберегающие системы автоматизированного электропривода переменного тока // Электротехника, № 11, 1995. С. 34 – 39.
17. Имамназаров А.Т., Хашимов А.А., Сабилов Ш.М. Частотно – регулируемый асинхронный электропривод с экстремальным управлением. Патент Российской Федерации № 2069034, 10.11.1996 г.
18. Imomnazarov A.T. Sanoat korxonalaridagi elektr jihozlariga xizmat ko`rsatish va tamirlash. Kasb–hunar kollejlari uchun o`quv qo`llanma. Toshkent: «TURON IQBOLI», 2006. 175 b.
19. Imomnazarov A.T. Kon korxonalarining elektr jihozlari va elektr ta`minoti. Kasb-hunar kollejlari uchun darslik. Toshkent: MOLIYA, 2010.165 b.
20. Электротехнический справочник.Т - 1, 2, 3. М.: Энергия, 1976.
21. Imomnazarov A.T. Sanoat kprxonalarini va fuqarolik binolarining elektr jihozlari. Toshkent: ILM ZIYO, 2006 y.
22. Imomnazarov A.T. Elektromexanik tizimlarning elementlari. Toshkent: Talqin, 2009 y.
23. Материалы из Интернета.

