

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р.Беруни

На правах рукописи

Люманова Регина

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ВОЗДУШНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НА ТАШТЭС  
НАПРЯЖЕНИЕМ 110 И 220 кВ НА ОСНОВЕ УЛУЧШЕНИЯ  
РЕЖИМОВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Специальность: 5А521301 - «Электромеханика»

**Диссертация**

на соискание академической степени магистра

Работа рассмотрена и  
допускается к защите.  
Зав.кафедрой «ЭЭЭ»

проф. А.А. Хашимов

Научный руководитель

проф. Н. Б. Пирматов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ташкент – 2012

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее двадцатилетие энергетика обеспечивала рост благосостояния в мире примерно в равных долях за счет увеличения производства энергоресурсов и улучшения их использования и в развитых странах меры по энергосбережению давала 60-65% экономического роста. В результате энергоемкость национального дохода уменьшилась за этот период в мире на 18% и в развитых странах - на 21-27%. Не случайно коренное повышение энергетической эффективности экономики (системных мер по энергосбережению) является центральной задачей Энергетической стратегии Узбекистана. Энергетическая стратегия предусматривает интенсивную реализацию организационных и технологических мер экономии топлива и энергии, т.е. проведения целенаправленной энергосберегающей политики. Для этого Узбекистан располагает большим потенциалом организационного и технологического энергосбережения. Реализация освоенных в отечественной и мировой практике организационных и технологических мер по экономии энергоресурсов способна к 2020 году уменьшить их расход в стране на 40-48%. Около трети потенциала энергосбережения имеют отрасли ТЭК, другая треть сосредоточена в остальных отраслях промышленности и в строительстве, свыше четверти - в сельском хозяйстве, 6-7% - на транспорте и 3% - в коммунально-бытовом секторе.

### *1. Актуальность энергосбережения на современном этапе*

Энергоресурсосбережение является одной из самых серьезных задач XXI века. От результатов решения этой проблемы зависит место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни граждан. Однако избыточность топливно-энергетических ресурсов в нашей стране совершенно не должна предусматривать энергорасточительность, т.к. только энергоэффективное хозяйствование при открытой рыночной экономике является важнейшим фактором конкурентоспособности отечественных товаров и услуг. Перед обществом

поставлена очень амбициозная задача - добиться удвоения валового внутреннего продукта (ВВП) за 10 лет, но решить эту задачу, не изменив радикально отношение к энергоресурсосбережению, не снизив энергоемкость производства, не удастся.

Энергосбережение должно быть отнесено к стратегическим задачам государства, являясь одновременно и основным методом обеспечения энергетической безопасности, и единственным реальным способом сохранения высоких доходов от экспорта углеводородного сырья.

Требуемые для внутреннего развития энергоресурсы можно получить не только за счет увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов но и, с меньшими затратами, за счет энергосбережения непосредственно в центрах потребления энергоресурсов.

Стратегическая цель энергосбережения одна и следует из его определения - это повышение энергоэффективности во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства и в стране в целом. И задача - определить, какими мерами и насколько можно осуществить это повышение.

Цели энергосбережения совпадают и с другими целями, таких как улучшение экологической ситуации, повышение экономичности систем энергоснабжения и др.

Решение задач повышения энергоэффективности на сегодняшнем этапе, когда существует большой резерв малозатратных мероприятий, также совпадает с большинством стратегических целей государства и хозяйствующих субъектов.

## ***2. Энергосберегающие технологии***

Одним из действенных способов уменьшить влияние человека на природу является увеличение эффективности использования энергии - энергосберегающие технологии. В самом деле, современная энергетика, основанная в первую очередь на использовании ископаемых видов топлива (нефть, газ, уголь), оказывает наиболее массивное воздействие на окружающую среду. Начиная от добычи, переработки и транспортировки

энергоресурсов и заканчивая их сжиганием для получения тепла и электроэнергии - все это весьма пагубно отражается на экологическом балансе планеты.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям. После энергетического кризиса 70-х годов XX века именно они стали приоритетными в развитии экономики Западной Европы, а после начала рыночных реформ - и в нашей стране. При этом их внедрение, помимо очевидных экологических плюсов, несет вполне реальные выгоды - уменьшение расходов, связанных с энергетическими затратами.

Энергосбережение сейчас становится одним из приоритетов политики любой компании, работающей в сфере производства или сервиса. И дело здесь даже не столько в экологических требованиях, сколько во вполне прагматическом экономическом факторе.

По данным специалистов, доля энергозатрат в себестоимости продукции в Узбекистане достигает 30-40%, что значительно выше, чем, например, в западноевропейских странах. Одной из основных причин такого положения являются устаревшие энергорасточительные технологии, оборудование и приборы. Очевидно, что снижение таких издержек и применение энергосберегающих технологий позволяет повысить конкурентоспособность бизнеса.

В Узбекистане до 75% всей потребляемой электроэнергии на производствах используется для приведения в действие всевозможных электроприводов. Как правило, на большинстве отечественных предприятий установлены электродвигатели с большим запасом по мощности в расчете на максимальную производительность оборудования, несмотря на то, что часы пиковой нагрузки составляют всего 15-20% общего времени его работы. В результате электродвигателям с постоянной скоростью вращения требуется значительно (до 60%) больше энергии, чем это необходимо.

По данным европейских экспертов, стоимость электроэнергии, потребляемой ежегодно средним двигателем в промышленности, почти в 5 раз превосходит его собственную стоимость. В связи с этим очевидна необходимость применения энергосберегающих технологий и оптимизации оборудования с использованием электроприводов.

В частности, хорошо себя зарекомендовали частотно-регулируемые электроприводы со встроенными функциями оптимизации энергопотребления. Суть заключается в гибком изменении частоты их вращения в зависимости от реальной нагрузки, что позволяет сэкономить до 30-50% потребляемой электроэнергии. При этом зачастую не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при модернизации производств.

Режим энергосбережения особенно актуален для механизмов, которые часть времени работают с пониженной нагрузкой - конвейеры, насосы, вентиляторы и т.п. Кроме снижения расхода электроэнергии, экономический эффект от применения частотно-регулируемых электроприводов достигается путем увеличения ресурса работы электротехнического и механического оборудования, что становится дополнительным плюсом.

Такие энергосберегающие электроприводы и средства автоматизации могут быть внедрены на большинстве промышленных предприятий и в сфере хозяйствования: от лифтов и вентиляционных установок до автоматизации предприятий, где нерациональный расход электроэнергии связан с наличием морально и физически устаревшего оборудования. По различным источникам, в европейских странах до 80% запускаемых в эксплуатацию электроприводов уже являются регулируемыми. В нашей стране пока их доля гораздо ниже, а необходимость использования энергосберегающих технологий все более актуальна.

Таким образом, энергосберегающие технологии позволяют решить сразу несколько задач: сэкономить существенную часть энергоресурсов,

решить проблемы отечественного энергетике, повысить эффективность производства и уменьшить нагрузку на окружающую среду.

**Актуальность темы.** В условиях независимости в Республике Узбекистан строятся и пускаются в эксплуатацию новые промышленные предприятия (ГЭС, ТЭС, заводы строительных материалов, текстильные фабрики и др.), а также идет интенсивно поэтапное переоснащение крупных производств (Навоийский горнометаллургический комбинат, Узметкомбинат и др.).

Тема магистерской диссертационной работы посвящена анализу работы компрессорных агрегатов на Ташкентской тепловой электрической станции (ТЭС), поиску решений которые способствуют, не только сбережению электрической энергии, но и увеличению срока службы компрессорных агрегатов.

Повышение энергетической эффективности и надёжности электропривода компрессорных станций (КС) связано с оптимизацией систем автоматического регулирования производительности КС. Задачи автоматического регулирования асинхронных машин и оптимизации режимов узлов нагрузки систем электроснабжения отражены в работах многих авторов: Д.П. Петелина, И.Д. Сыромятникова, Б.Н. Абрамовича, И.Д. Лищенко, В.А. Веникова, Ф.Г. Гусейнова, Н.И. Воропая и других учёных. В работах Н.Д. Абдуллаева, В.Ф. Шумилова, Г.Р. Шварца и др. рассмотрены вопросы синтеза оптимальных систем при случайных изменениях нагрузки. Тем не менее повышения надёжности электромеханического оборудования, повышение энергетической эффективности асинхронных электроприводов остаются открытыми.

**Цель и задачи исследований.** Целью настоящей работы является модернизация компрессорной установки улучшение надёжности и энергетических показателей, разработка средств, методов, способов оптимальных воздействий на электромеханические системы механизмов и

агрегатов компрессорных станций, обеспечивающего повышенные энергетические и эксплуатационные возможности посредством современного цифрового и программного автоматизированного электропривода.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- проведение обзора и анализа существующих схем и систем низко и высоковольтных электроприводов и выбор оптимальной схемы управления технологическим процессом с учетом требований, предъявляемых к приводам данного класса;
- осуществить сравнительный анализ существующих систем для асинхронных электроприводов компрессорных станций;
- сформулировать требования, предъявляемые к структуре реализуемых систем электропривода компрессорных агрегатов;
- рассчитать управляющие воздействия с точки зрения повышения энергетической эффективности и надежности работы электроприводов компрессорных станций.

**Методы исследований.** В работе использованы методы теории электрических цепей, систем электроснабжения электротехнических комплексов, метод моделирования электромагнитных процессов с помощью ЭВМ.

Исследования базируются на теории математического моделирования электромеханического преобразователя энергии и теории цифрового управления.

В качестве математического аппарата используется современное программное обеспечение MATCAD, MATLAB. Главным инструментом в теоретических исследованиях энергоэффективных режимов работы электроприводов компрессорных станций является математическая модель,

описывающая переходные процессы в электромеханической в системе при эффективном цифровом управлении.

**Научная новизна.** Научная новизна настоящей работы заключается в следующем:

- предложена энергоэффективная цифровая система управления электроприводами компрессорных агрегатов на базе современных преобразователей частоты.
- определены координаты и управляющие воздействия на преобразователи частоты с целью повышения энергетической эффективности работы механизмов и агрегатов компрессорных станций
- исследованы процессы пуска, работы и торможения исследуемых машин и механизмов;
- энергоэффективные режимы работы электротехнической и электромеханической систем;
- обобщены результаты исследований путем расчета энергоэффективности оборудования, анализа и синтеза.



## ГЛАВА 1.

### АНАЛИЗ СИСТЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

#### 1.1. Анализ систем сжатого воздуха

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.

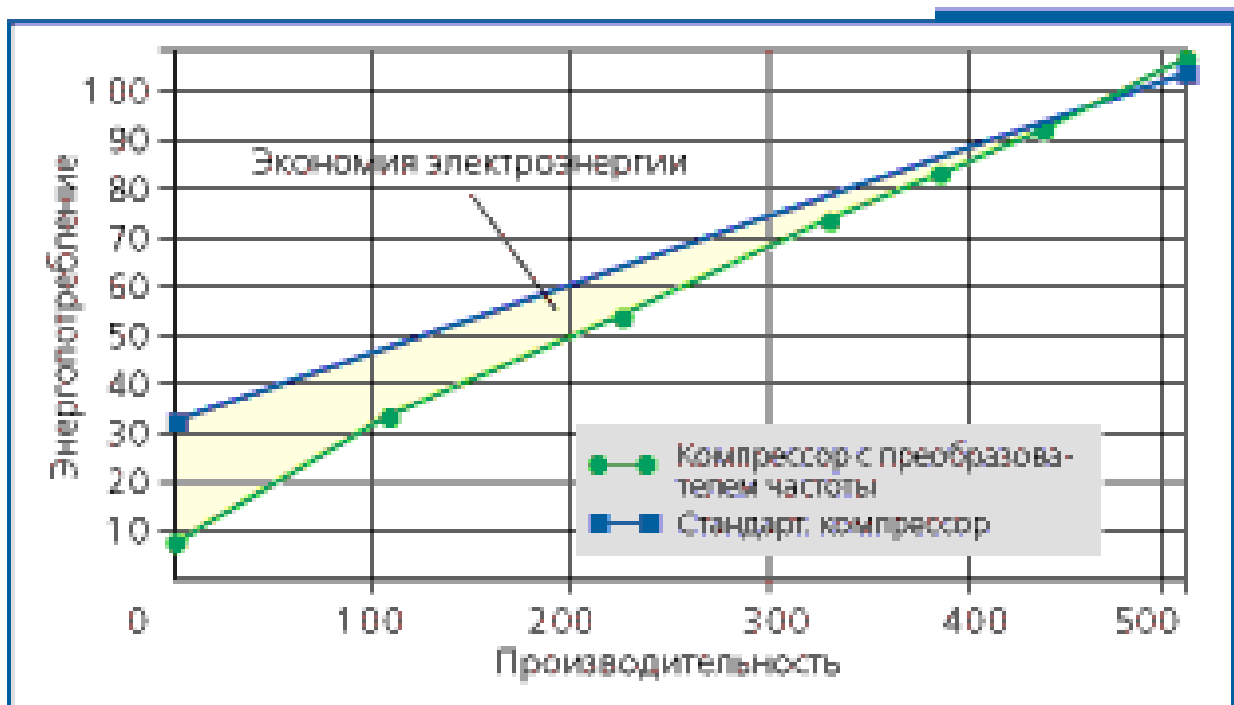
В свою очередь, энергоэффективность производства, подготовки и транспортировки сжатого воздуха определяется качеством проектирования, реализации, эксплуатации и технического обслуживания соответствующей системы. Конструкция системы должна обеспечивать эффективное удовлетворение потребностей производства 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. Применение приводов с переменной скоростью**

### *Общая характеристика*

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 производительности и т.п. Однако если использование подобных методов

приводит к частым включениям и отключениям, а также длительным периодам холостого хода, результатом может быть снижение энергоэффективности. При использовании привода с переменной скоростью частота вращения электропривода компрессора плавно регулируется в зависимости от изменения потребности в сжатом воздухе, обеспечивая высокий уровень энергоэффективности. По данным исследований, большинство систем сжатого воздуха характеризуется средними или значительными вариациями потребления. Поэтому существует значительный потенциал энергосбережения за счет оснащения компрессоров приводами переменной скорости.



*Энергопотребление компрессора с преобразователем частоты по сравнению со стандартными компрессорами*

Воздействие на различные компоненты окружающей среды. Отсутствует производственная информация. Испытания, проведенные в независимой лаборатории, продемонстрировали высокий уровень энергосбережения в условиях, моделирующих типичные колебания потребления сжатого воздуха на производстве. Оснащение компрессоров приводами с переменной

скоростью может обеспечить и ряд других положительных эффектов, помимо энергосбережения:

- достигается высокая стабильность давления воздуха, что является существенным для некоторых технологических процессов, чувствительных к этому параметру;
- коэффициент мощности значительно выше, чем при использовании традиционных приводов, что способствует снижению реактивной мощности;
- пусковой ток двигателя никогда не превышает ток его полной нагрузки. Как следствие, в электрических цепях можно использовать элементы, рассчитанные на меньший номинальный ток. Кроме того, пользователи могут избежать штрафов за пиковые уровни тока во время запуска двигателей, если такие штрафы взимаются энергетической компанией. Наконец, отсутствие резких пиков тока при пуске двигателя автоматически ведет к снижению потребления энергии;
- плавный пуск на низких скоростях, обеспечиваемый приводом с переменной скоростью, позволяет избежать пиков тока и крутящего момента, что ведет к снижению механического износа оборудования и электрической нагрузки, способствуя продлению срока службы компрессора;
- снижаются уровни шума, поскольку компрессор работает лишь тогда, когда это необходимо, с необходимой производительностью.

### *Применимость*

Компрессоры, оснащенные приводом с переменной скоростью, могут применяться в различных отраслях, включая, например, металлургию, а также пищевую, текстильную и химическую промышленность, в тех случаях, когда имеют место значительные колебания уровня потребления сжатого воздуха. В ситуации, когда компрессоры непрерывно работают при полной или близкой к полной нагрузке, использование привода с переменной

скоростью не приводит к значимому энергосбережению и не является оправданным.

Компрессоры с приводом переменной скорости могут быть установлены в существующей системе сжатого воздуха. Более того, регулятором частоты может быть оборудован уже имеющийся привод компрессора, рассчитанный на эксплуатацию с постоянной скоростью.

Однако при совместной поставке двигателя и регулятора достигается больший эффект, поскольку эти устройства специально подбираются для максимально эффективной работы в определенном диапазоне скоростей. Целесообразно ограничить применение технологии приводов с переменной скоростью с более современными компрессорами, поскольку при ее использовании со старыми компрессорами возможны проблемы. При наличии сомнений следует проконсультироваться с производителем или специалистом по системам сжатого воздуха.

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.

#### *Экономические аспекты*

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**

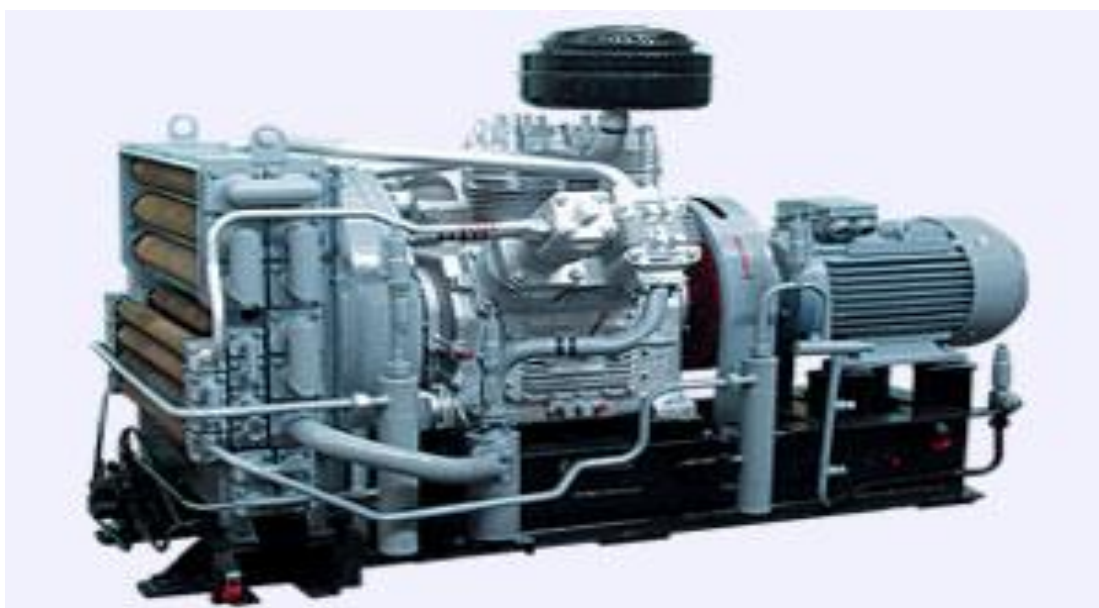
#### ***Назначение компрессорного агрегата ВШ-3/40 и ВШВ-3/100***

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.

Внешний вид компрессора ВШ-3/40 показан на рисунке 1.3.1.





*Рис. 1.3.1. Внешний вид компрессора ВШ-3/40*



*Рис. 1.3.2. Внешний вид компрессора ВШВ-3/100*

Охлаждение компрессоров – воздушное, для чего в агрегате предусмотрен вентилятор. Данное техническое решение не требует дополнительных коммуникаций для подвода охлаждающей жидкости, как в компрессорах с водяным охлаждением.

**Таблица1.**

Технические данные компрессорного агрегата ВШ-3/40

Производительность, приведенная к начальным условиям, (м <sup>3</sup> /мин)	3 ± 0,15
Давление начальное номинальное, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	атмосферное
Давление конечное избыточное номинальное, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	4,1 (41)
Давление нагнетания по ступеням сжатия, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	
первая ступень, в пределах	0,22-0,24 (2,2-2,4)
вторая ступень, в пределах	0,1-0,12 (10-12)

третья ступень, в пределах	4 (40)
Частота вращения вала компрессора , с-1 (об/мин)	975
Мощность на валу компрессора при номинальной производительности и давлении, кВт	37
Масса масла, заливаемого в картер компрессора, кг	22±2
Для смазки компрессора применяется масло компрессорное	МС-20,КС-19по ГОСТ 1861-73
Давление масла в системе смазки компрессора, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	0,8-0,5 (8-5)
Охлаждение компрессора	воздушное
Масса компрессора, кг	650
Ход поршня компрессора,мм	110
Количество цилиндров компрессора	3

В качестве привода компрессора используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, А2-82-6, 50Hz с номинальной мощностью 40 кВт, напряжением 220/380, cosφ 0.89, синхронной частотой вращения 1000 об/мин. Основные технические характеристики электродвигателя приведены в таблице 2.

Таблица 3.

Марка двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	Коэф. мощности	М <sub>макс</sub> /М <sub>н</sub>	М <sub>п</sub> /М <sub>н</sub>	М <sub>мин</sub> /М <sub>н</sub>	In/I <sub>h</sub>
4А2-82-6	40	3	91,0	0,89	1,8	1,1	1,0	7

Таблица 4.

Технические данные компрессорного агрегата ВШВ-3/100

Производительность, приведенная к начальным условиям, (м <sup>3</sup> /мин)	3±0,15
Давление начальное номинальное, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	атмосферное
Давление конечное избыточное номинальное, МПа	4,1 (41)

(кг/см <sup>2</sup> )	
Давление нагнетания по ступеням сжатия, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	
первая ступень, в пределах	0,2-0,25 (2,0-2,5)
вторая ступень, в пределах	0,6-0,75 (6-7,5)
третья ступень, в пределах	2,1-2,3 (21-23)
четвертая ступень, в пределах	6,0-6,7 (60-67)
пятая ступень, номинальная	9,7-10,9 (97-103)
Частота вращения вала компрессора , с-1 (об/мин)	1470
Мощность на валу компрессора при номинальной производительности и давлении, кВт	43 <sup>+3</sup>
Масса масла, заливаемого в картер компрессора, кг	22 ± 2
Для смазки компрессора применяется масло компрессорное	МС-20, КС-19 ГОСТ 1861-73
Давление масла в системе смазки компрессора, МПа (кг/см <sup>2</sup> )	0,1-0,5 (1-5)
Охлаждение компрессора	воздушное
Масса компрессора, кг	1520
Ход поршня компрессора, мм	60
Количество цилиндров компрессора	5

В качестве привода компрессора используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, 4А225М4УЗ, 50Hz с номинальной мощностью 55 кВт, напряжением 220/380, cosφ 0.9, синхронной частотой вращения 1500 об/мин. Основные технические характеристики электродвигателя приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Марка двигателя	Мощность, кВт	Скольжение, %	КПД, %	Кэф. мощности	М <sub>макс</sub> /М <sub>н</sub>	М <sub>п</sub> /М <sub>н</sub>	М <sub>мин</sub> /М <sub>н</sub>	In/I <sub>h</sub>
4А225М4УЗ	55	2	99	0,9	2,2	1,2	1,0	7

## ГЛАВА 2.

### НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ ТАШКЕНТСКОЙ ТЭС

#### 2.1. Назначение компрессорных агрегатов

Назначение компрессоров состоит в сжатии газов и перемещении их к потребителям по трубопроводным системам. Основными параметрами, характеризующими работу компрессора, является объёмная подача  $Q$ , начальное  $p_1$  и конечное  $p_2$  давление или степень повышения давления  $e=p_2/p_1$ , частота вращения и мощность на валу компрессора.

Процесс сжатия воздуха обуславливает возможность увеличения электрической прочности сжатого воздуха и приобретением свойств источника энергии для совершения механической работы. 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. Пневматические системы, применяемые для приведения устройств в движение, характеризуются высокой плотностью энергии и, в случае использования устройств объёмного (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.

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.

Эти обстоятельства определили широкое применения сжатого воздуха в воздушных выключателях высокого напряжения, в которых сжатый воздух используется в качестве дугогасительных и изоляционной сред (в дугогасительных камерах) и источника энергии для совершения механической работы (в пневмоприводах и других элементах аппаратов).

## **2.2. Обслуживание компрессорной установки.**

- Компрессорная установка полностью автоматизирована, не требует постоянного наблюдения.
- Контроль работы всей компрессорной установки и системы автоматики производится не реже одного раза за смену.
- Машинный зал компрессора и вся аппаратура должны содержаться в чистоте.
- Заливка масла компрессора производится только маслом марки КС-19 или МС-20.
- Масло перед заливкой в компрессор должно быть профильтровано. Объем заливаемого масла в картер должен быть в пределах (12...14)л. Уровень масла при заливки должен соответствовать верхней черте на указателе масломерного щупа.

- Производить доливку масла в картер компрессора не реже чем через 40...50 часов работы компрессора. Замену масла производит ремонтный персонал участка ОРУ.
- Воздушный фильтр заливается компрессорным маслом марки КС-19 или МС-20.
- Необходимо в процессе эксплуатации установки следить за смазкой электродвигателя.

### **2.3. Воздушные выключатели высокого напряжения**

В воздушных выключателях сжатый воздух выполняет две функции – гашения дуги и управления механизмом самого выключателя. Изоляция токоведущих частей от земли осуществляется фарфором.

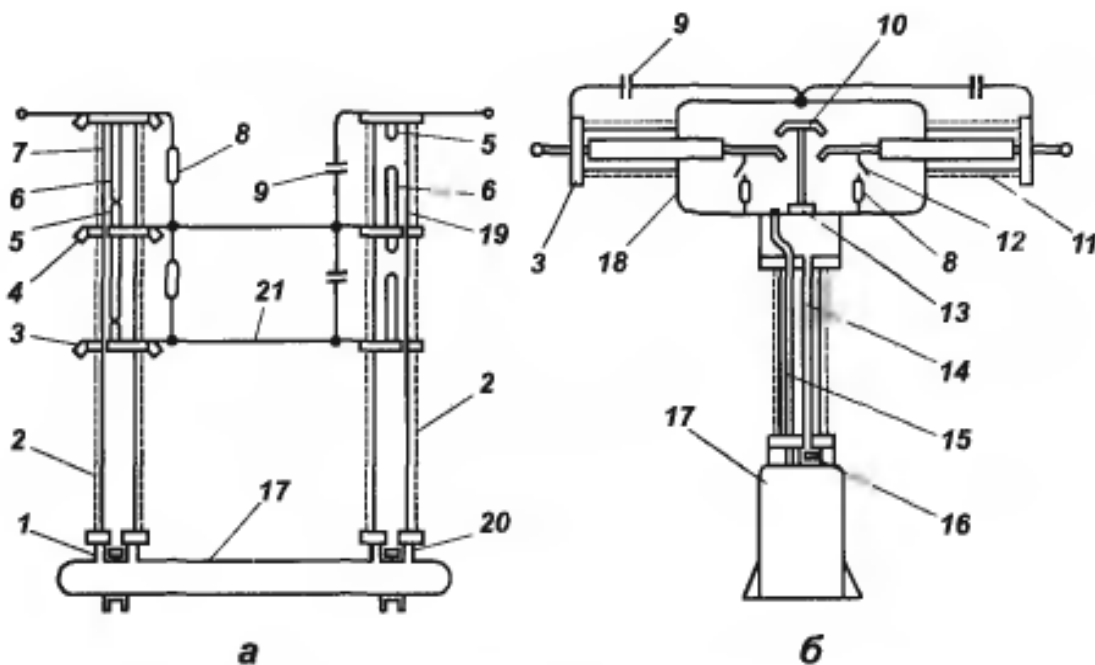
Конструкционные схемы воздушных выключателей, применяемых на подстанциях, в основном определяется способом создания изоляционного промежутка между контактами выключателя, находящегося в отключённом положении, способом подачи сжатого воздуха в дугогасительные устройства, системой управления выключателем, наличием шунтирующих резисторов и делителей напряжения и некоторым другими особенностями.

На рис 2.1. представлены две принципиально отличные конструкционные схемы воздушных выключателей напряжением 110 кВ и выше. По схеме рис. 2.1,а выполнялись выключатели с воздушнонаполненными отделителями серии ВВН и их модификации (обе серии сняты с производства, но ещё в эксплуатации) а по схеме рис. 2.1,б выполняются выключатели бакового типа серии ВВБ. Этой серии выключателей присущи особенности, существенно отличающие их от воздушных выключателей серии ВВН и ВВД:

- унификация узлов на все классы напряжения;
- возможность опорного и подвесного исполнения (для сверхвысоких напряжений);
- отсутствие фарфоровых изоляторов, находящихся под давлением сжатого воздуха, что обеспечивает их взрывобезопасность;

- независимое дутьё в каждом разрыве, т. е. устранение взаимного влияния соседних разрывов в момент гашение дуги;
- большая разрывная мощность.

Выключатели серии ВВШ (рис 2.1, а). Основанием каждого полюса служит резервуар со сжатым воздухом 17. Выключатели имеют две контактные системы соединённые последовательно. Первая – контактная система дугогасительных камер 1, контакторы которой лишь кратковременно расходятся на время гашения дуги. Вторая – контактная система отделителей 19, отключающая ток ограниченный шунтирующими резисторами, и образующая надёжный изоляционный промежуток при отключенном положении выключателя, когда контакты дугогасительных камер замкнутся. Камеры и дугогасители связаны между собой трубчатыми шинами 21, к которым подключены резисторы 8, шунтирующие камеры и ёмкостные делители напряжения 9, предназначенные для выравнивания распределения в отключенном положении отделителей.



1. Рис.2.1. Принципиальные конструктивные схемы воздушных выключателей на 110 кВ: а - серия ВВШ (ВВН); б - серия ВВБ

1 и 13 – дутьевые клапаны дугогасительной камеры; 2 – фарфоровый опорный изолятор; 3 - фланец; 4 – выхлопной клапан; 5 – неподвижный

контакт; 6 – подвижный контакт; 7 - дугогасительная камера; 8 – резистор; 9 – ёмкостной делитель напряжения; 10 – траверса с подвижными контактами; 11 – фарфоровая рубашка; 12 – дополнительный контакт; 14 – импульсный воздухопровод; 15 – основной воздухопровод; 16 – клапаны отключения и включения; 17 – резервуар сжатого воздуха; 18 – металлическая камера; 19 – отделитель; 20 – дутьевой клапан отделителя; 21 – трубчатая шина.

В связи с этим основным назначением компрессоров ВШ-3/40 и ВШВ-3/100 является выработка сжатого воздуха и снабжение им воздушных выключателей и пневмоприводов других коммутационных аппаратов, эксплуатируемых на электростанциях и в электрических сетях энергосистем.

Специфические особенности работы эксплуатируемых высоковольтных выключателей и другой аппаратуры определяют следующие требования к сжатому воздуху:

1. Поддержание рабочего давления сжатого воздуха, аккумулируемого в элементах воздушных выключателей (резервуарах, гасительных камерах и т. п.), в определённых пределах.

2. Для большинства эксплуатируемых воздушных выключателей с номинальным давлением 20 кгс/см<sup>2</sup> изменение рабочего давления сжатого воздуха в резервуарах допускается в пределах 19-21 кгс/см<sup>2</sup> и для некоторых исполнений выключателей – в пределах 20-210 кгс/см<sup>2</sup>.

3. Обеспечение относительной влажности сжатого воздуха рабочего давления аппаратов не более 50%.

Эти требования определяются необходимостью исключения возможности конденсации влаги во внутренних полостях опорной изоляции воздушных выключателей и удовлетворяется путём осушки сжатого воздуха термодинамическим способом, заключающимся в сжатии воздуха компрессорами до величины давления, в два раза превышающим величину номинального давления выключателей, с последующим расширением сжатого воздуха путём редуцирования его до рабочего давления аппаратов.



В эксплуатационных условиях характер расхода сжатого воздуха воздушными выключателями:

а) постоянным расходом на утечки через не плотности элементов воздухораспределителей сети и пневматической системы выключателей;

б) постоянным расходом на вентилирование внутренних полостей опорной изоляции и других элементов воздушных выключателей;

в) эпизодическим расходом на операции воздушных выключателей. При этом учитывается вероятность одновременного срабатывания максимально возможного числа аппаратов.

С учётом перечисленных видов расхода воздуха и необходимости обеспечения непрерывного воздухоснабжения аппаратов к компрессорным установкам предъявляются следующие требования:

1. Компрессорные установки должны состоять, как минимум, из двух компрессоров одинаковой производительности. Один из двух компрессоров является рабочим, а другой – резервным (в основном находящимся в горячем резерве, кроме случаев проведения ремонтных работ);

2. Производительность рабочего компрессора должна быть достаточной для обеспечения снабжения сжатым воздухом всех эксплуатируемых выключателей распределительного устройства обслуживаемого данной установкой, как в нормальном, так и в аварийном режимах работы;

3. В случаях, когда производительности одного рабочего компрессора оказывается недостаточно для обеспечения требуемой степени надёжности воздухоснабжения аппаратов, число рабочих компрессоров в одной компрессорной установке может быть соответственно увеличено. При этом независимо от числа рабочих компрессоров, в каждой компрессорной установке должна быть предусмотрена установка (сверх числа рабочих агрегатов) одного резервного компрессора;

4. Нормальный режим работы рабочих компрессоров в эксплуатационных условиях должен быть периодическим, то есть он

должен состоять из запуска, времени работы, останова и нерабочей паузы компрессора. Управление рабочими и резервными компрессорами должно быть автоматическим, без вмешательства оперативного персонала;

5. Запуск рабочих компрессоров должен осуществляться элементами автоматического управления при снижении давления в аккумулирующих воздухоборниках высокого давления до минимально допустимой величины, определяемой требуемой степенью осушки сжатого воздуха рабочего давления и режимом работы компрессора;

6. Останов рабочих и резервного компрессора должна осуществляться при достижении давления в аккумулирующих воздухоборниках максимального рабочего давления воздухоборников и компрессоров;

7. Запуск резервного компрессора должен осуществляться либо при выходе рабочего компрессора из строя, либо когда производительность рабочих компрессоров недостаточна для восстановления давления в воздухоборниках, т.е. когда имеет место превышение расхода воздуха в сети (на утечки и вентиляцию) над производительностью рабочих компрессоров. Запуск резервного компрессора должен производиться в случаях, когда имеет место снижение высокого давления в аккумулирующих воздухоборниках на одну атм ниже давления запуска рабочих компрессоров;

8. Время непрерывной работы рабочих компрессоров в нормальном режиме соответственно должно быть равно не более 20 мин и не менее .

Исходя из этих требований, должен осуществляться выбор производительности и числа компрессоров для каждой отдельной компрессорной установки.

В эксплуатационных условиях допускается с учётом возможного увеличения расхода воздуха на утечки сокращения нерабочей паузы до одного часа.

## 2.4. Причины снижения эффективности работы воздушных компрессоров и способы их устранения

На эффективность работы воздушных компрессоров оказывает влияние, состояние основных элементов поршневого компрессора, рассмотрим их.

**Состояние фильтра, клапанов и поршневых колец.** Каждый компрессор оборудуется воздушным фильтром. Ячейки фильтра представляет собой металлические сваренные или штампованные коробки, закрытые с двух сторон перфорированным листовым железом или сеткой. Ячейки заполняют металлическими кольцами или набивкой из тонкой проволоки и набором тканых сеток различных размеров, смоченных висциновым маслом.

Сопротивление чистой пылездерживающей перегородки при нормальной нагрузке  $4000 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  составляет 80 Па, степень очистки воздуха от пыли при этом достигает 85%.

Как показывают результаты испытаний компрессоров, металлические фильтры очищаются нерегулярно и имеют значительное сопротивление, что приводит к снижению подачи компрессора и увеличению расхода электроэнергии.

Немаловажную роль в работе компрессора играют **всасывающие клапаны**. Если высота подъема пластин клапана мала, а жесткость пружин велика, то при проходе воздуха через узкую щель под пластиной клапана происходит дросселирование воздуха.

В настоящее время серийно выпускаются прямоточные клапаны типа ПИК. Они надежно работают при всасывании чистого атмосферного воздуха, если фильтры исправны и регулярно очищаются от пыли.

Применение прямоточных клапанов помимо уменьшения затрат энергии способствует увеличению подачи компрессоров из-за большой плотности клапана, малой потери давления к концу всасывания и меньшего объема вредного пространства.

По средним данным, полученным по большому числу серийных компрессоров, переведенных в эксплуатации на прямоточные клапаны, снижение удельного расхода электроэнергии составило 10-12%, а увеличение подачи 6-8%.

В поршневых компрессорах могут быть *неплотности между стенками цилиндров и поршневыми кольцами, в клапанах и сальниках*. Через имеющиеся зазоры воздух протекает из полости высокого давления в полость низкого давления, что приводит к снижению подачи и увеличению удельного расхода электроэнергии. Поэтому следует периодически контролировать состояние поршневых колец, клапанов и сальников.

*Температура и пульсации давления всасываемого воздуха.* Поступая в цилиндр, воздух соприкасается с его горячими стенками и нагревается, вследствие чего плотность его уменьшается, что приводит к снижению массовой подачи и увеличению удельной расходу электроэнергии компрессора.

Для противодействия росту температуры всасываемого воздуха следует подавать в рубашки цилиндров достаточное количество холодной воды, всасывающие устройства располагать с теневой стороны, а всасывающие трубопроводы, а если они проходят по горячему цеху, теплоизолировать.

Иногда становится целесообразным искусственно тем или иным способом охлаждать всасываемый воздух перед поступлением в цилиндр.

Во всасывающем трубопроводе поршневого компрессора наблюдается связанное с пульсацией давления *волновое движение воздуха*. В технической литературе имеются материалы о возможности использования всасывающего трубопровода для улучшения условий всасывания при настройке на резонанс и можно увеличить на 10% при неизменной мощности компрессора.

Объем вредного пространства. Обусловленный конструктивными особенностями объем вредного пространства, указывается в паспорте компрессора. Он складывается из пространства между крышкой цилиндра и

поршнем при его крайнем положении, а также вредных пространств во всасывающих и нагнетательных клапанах.

Объем вредного пространства обычно составляет 4-10% объема цилиндра. Эта величина характеризует степень совершенства конструкции компрессора.

Вредное пространство почти не влияет на работу, затрачиваемую на сжатие воздуха, т.е. на удельный расход электроэнергии.

## ГЛАВА 3.

### Эксплуатация воздухораспределительной сети давлением 20 кг/см<sup>2</sup>.

- 3.1.** На компрессорной станции напряжением 110 кВ установлено четыре компрессорных агрегатов типа ВШВ-3/100 (1,2,3) и ВШ-3/40 (4). При запуске компрессорные агрегаты запускаются с небольшим интервалом. На компрессорной станции напряжением 220 кВ установлено четыре компрессорных агрегатов типа ВШ-3/40 (5,6,8) и ВШВ-3/100 (7).
- 3.2.** Для хранения сжатого воздуха, установлено 5 ресиверов на ОРУ 110 кВ и 7 на ОРУ 220 кВ. Каждый ресивер имеет объем 5 м<sup>3</sup> и рассчитан на рабочее давление 40 кг/см<sup>2</sup>. Сжатый воздух с давлением 40 кг/см<sup>2</sup> дросселируется на 20 кг/см<sup>2</sup> регулятором давления, которые установлены на компрессорных установках ОРУ 110 и 220 кВ.
- 3.3.** Воздухопровод, служащий для подвода сжатого воздуха давлением 20 кг/см<sup>2</sup> к воздушным выключателям от ресиверов через редукционный клапан, выполнен закольцованным, что позволяет при помощи системы вентилей быстро перекрыть поврежденный участок магистрали при сохранении подвода воздуха к другим выключателям, а также осуществить подключение к магистрали вновь вводимых выключателей и выполнение на ней ремонтных работ.
- 3.4.** Для надежной работы воздухораспределительной магистрали необходимо:

  - периодически проверять отсутствие утечек в отдельных участках сети (в особенности на вентилях и в местах аварии);
  - не менее двух раз в месяц следует сливать конденсаторную воду из линейных водомаслоотделителей и ресиверов.

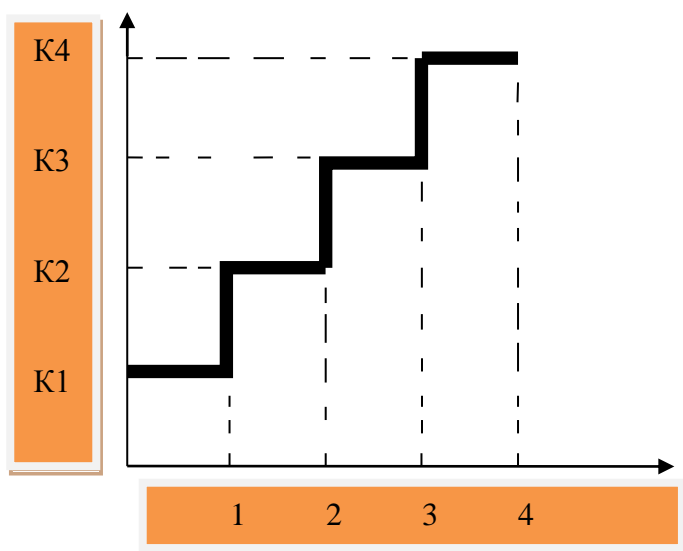
- 3.5.** Следует помнить, что наличие больших утечек воздуха в магистрали приводит к перегрузу компрессоров и снижает давление в баках выключателей, наиболее удаленных от компрессоров.
- 3.6.** При обнаружении утечки воздуха или повреждении участка магистрали воздухопровода необходимо немедленно отключить поврежденный участок для сохранения работоспособности остальной части магистрали.

## ГЛАВА 4.

### АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА ТАШКЕНТСКОЙ ТЭС.

#### 4.1. Анализ рабочих режимов компрессорных агрегатов

На компрессорной станции установлено четыре компрессорных агрегатов. При запуске компрессорные агрегаты запускаются по очереди с интервалом в одну минуту. Диаграмма запуска компрессоров показана на рисунке 4.1. (К1 – К4 – номера компрессорных агрегатов).



**Рис. 4.1. Диаграмма запуска компрессоров**

Исследование рабочих режимов компрессорных агрегатов проводилось в штатном рабочем режиме.

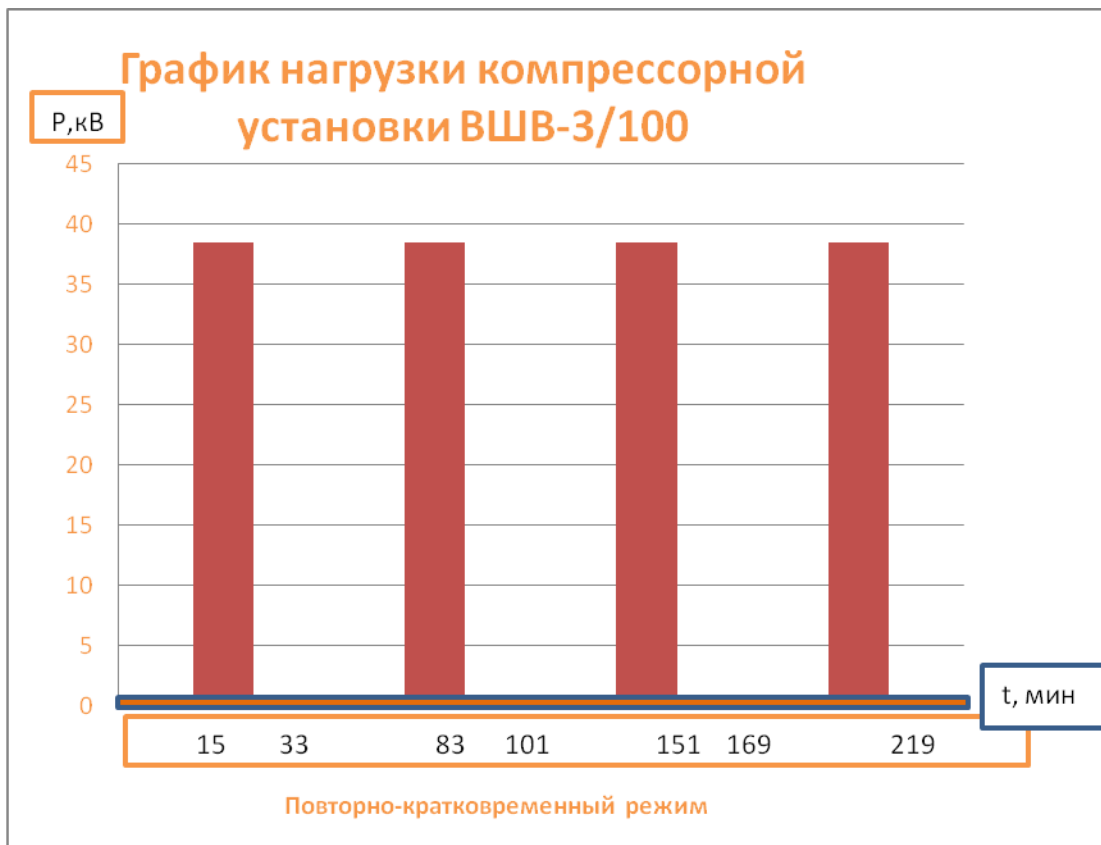
Время работы компрессора в среднем составляет 15 минут, время простоя в среднем 45 минут. Надо отметить, что пуск агрегатов прямой, т.е. непосредственное подключение к сети осуществляется через релейно-контакторную аппаратуру.



Фактический режим работы компрессоров типа ВШ-3/40 ОРУ-220 кВ .

Дата	Время включен	Время отключен	Время работы
<b>18.10.2011</b>	8 <sup>00</sup>	8 <sup>15</sup>	15
	9 <sup>00</sup>	9 <sup>16</sup>	16
	10 <sup>01</sup>	10 <sup>16</sup>	15
	11 <sup>01</sup>	11 <sup>16</sup>	16
	12 <sup>01</sup>	12 <sup>16</sup>	15
	13 <sup>01</sup>	13 <sup>16</sup>	15
	14 <sup>01</sup>	14 <sup>16</sup>	15
	15 <sup>01</sup>	15 <sup>17</sup>	16
<b>19.10.2011</b>	16 <sup>02</sup>	16 <sup>17</sup>	15
	8 <sup>00</sup>	8 <sup>15</sup>	15
	9 <sup>00</sup>	9 <sup>15</sup>	15
	10 <sup>00</sup>	10 <sup>16</sup>	16
	11 <sup>01</sup>	11 <sup>16</sup>	15
	12 <sup>01</sup>	12 <sup>16</sup>	15
	13 <sup>01</sup>	13 <sup>17</sup>	16
	14 <sup>02</sup>	14 <sup>17</sup>	15
	15 <sup>02</sup>	15 <sup>18</sup>	16
	16 <sup>03</sup>	16 <sup>18</sup>	15
17 <sup>03</sup>	17 <sup>18</sup>	15	





#### 4.2. Определение основных режимных параметров электропривода компрессорного агрегата

##### *Паспортные данные двигателя компрессорного агрегата*

##### *ВШВ-3/100 :*

Тип электродвигателя 4А225 М4 У3

Номинальная мощность, Вт

$P_{ном} := 55000$

Синхронная скорость, об/мин

$n_0 := 1500$

Коэффициент полезного действия

$\eta_{ном} := 0.925$

Пусковой ток асинхронного двигателя  $I_{max}/I_{ном}$

$I_{п} := 7.0$

Коэффициент мощности

$\cos\phi_{ном} := 0.88$

Номинальное напряжение фазное, В

$$U_{\text{ном}} := \frac{380}{\sqrt{3}}$$

Скольжение номинальное

$$s_{\text{ном}} := 0.02$$

Номинальная скорость, рад/с

$$\omega_{\text{ном}} := \frac{\pi \cdot n_0}{30} \cdot (1 - s_{\text{ном}})$$

$$\omega_{\text{ном}} = 153.938$$

Номинальный момент двигателя, Нм

$$M_{\text{ном}} := \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}$$

$$M_{\text{ном}} = 357.287$$

Перегрузочная способность

$$\lambda := 2.2$$

Пусковой момент

$$\mu := 1.2$$

Расчет механических характеристик электропривода

Скорость вращения ротора асинхронного двигателя:

$$\omega_{\text{ротора}} := \frac{2 \cdot n_0 \cdot \pi}{60} \cdot (1 - s_{\text{ном}})$$

$$\omega_{\text{ротора}} = 153.938 \text{ рад/с}$$

Механическую характеристику асинхронного двигателя рассчитаем по формуле Клосса, применяя программу МАТКАД:

$$s_k := 0.0832$$

$$s := 0.001, 0.005 \dots 1$$

$$M(s) := 2 \cdot \lambda \cdot \frac{M_{\text{ном}}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

Результаты сводим в таблицу

Таблица 3

## Механическая характеристика асинхронного двигателя

$s$	0,0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,083	1,0
$M, \acute{I} \cdot \grave{i}$	0	361	621	754	793	794	433,2
$\omega, 1/S$	157	152,8	150,7	147,5	144,4	143,9	0

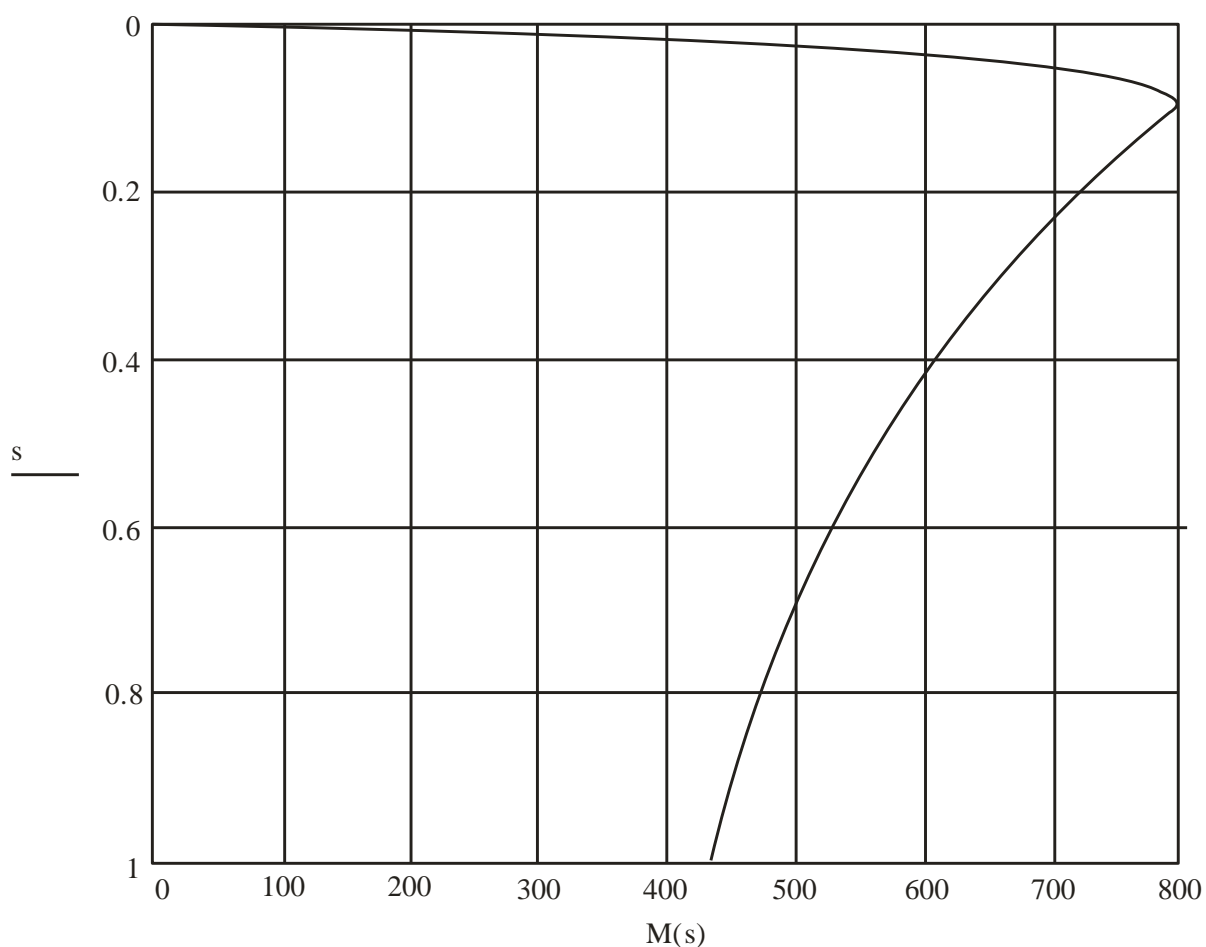


Рис 3.2.1. Механическая характеристика асинхронного двигателя

Момент сопротивления механизма обычно характеризуется своим начальным значением, соответствующим нулевой угловой скорости при трогании с места, и характером зависимости последующих его значений от угловой скорости ротора.

В общем виде для механизма вентилятора зависимость момента сопротивления и скорости ротора можно выразить как

$$M_c(\omega) := M_{xx} + (M_{сном} - M_{xx}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2$$

где  $M_{xx}$  - начальный момент сопротивления вращающего механизма (без учета момента трения покоя);

$M_{сном}$  - номинальный момент сопротивления механизма;

$\omega_{ном}$  - номинальная угловая скорость, при которой момент сопротивления равен номинальному;

Для того чтобы сдвинуть механизм с места, нужно преодолеть момент трения покоя в подшипниках (начальный статический момент  $M_{xx}$ ), который превышает момент трения, существующий после того, как агрегат тронулся. Этот начальный момент сопротивления при трогании агрегата необходимо знать для правильного выбора двигателя, особенно в тех случаях, когда для привода выбирается двигатель с короткозамкнутым ротором. Начальный момент двигателя должен быть выше начального статического момента сопротивления, иначе двигатель не сможет тронуться с места.

Начальный статический момент по данным измерения с помощью динамометра составил

$$M_{xx} := 0.43 \cdot M_{ном}$$

$$M_{ном} = 357.287$$

а статический номинальный момент

$$M_{сном} := 0.94 \cdot M_{ном}$$

$$M_{сном} = 335.849$$

$$M_{stk} := M_{сном} - M_{xx}$$

тогда

$$\omega := 0.1, 10..160$$

$$M_c(\omega) := M_{xx} + (M_{сном} - M_{xx}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2$$

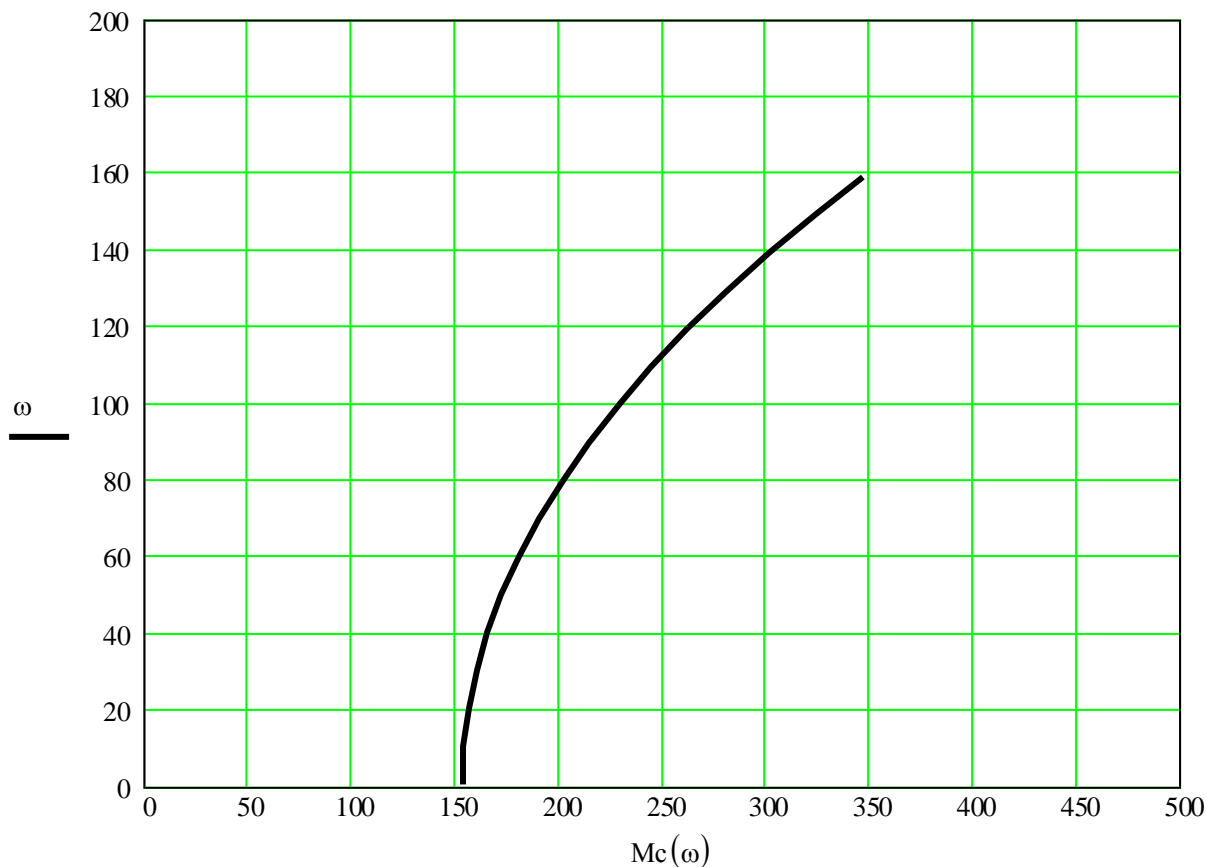
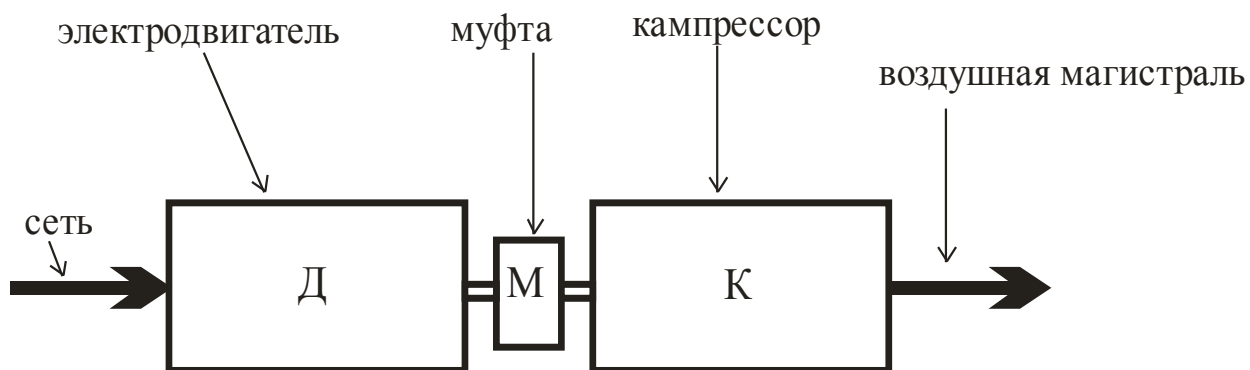


Рис 3.2.2. Характеристика момента сопротивления

Рис. 3.2.3. Механические характеристики асинхронного двигателя и механизма



КПД двигателя  $\eta=0,925$

КПД муфты  $\eta=0,98$

КПД компрессора  $\eta=0,51$

Эквивалентное КПД электромеханической системы компрессорного агрегата при номинальном режиме работы составит

$$\eta_{\text{ЭКВ}} = \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{муфты}} \eta_{\text{комп}}$$

$$\eta_{\text{ЭКВ}} = 0,925 \times 0,98 \times 0,51 = 0,462$$

***Паспортные данные двигателя компрессорного агрегата***

***ВШ-3/40 :***

Тип электродвигателя А2-82-6

Номинальная мощность, Вт

$$P_{\text{н}} = 40000$$

Синхронная скорость, об/мин

$$n_0 = 1000$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta_{\text{ном}} := 0.91$$

Пусковой ток асинхронного двигателя  $I_{\text{max}}/I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{п}} := 7.0$$

Коэффициент мощности

$$\cos\phi_{\text{ном}} := 0.89$$

Номинальное напряжение фазное, В

$$U_{\text{ном}} := \frac{380}{\sqrt{3}}$$

Скольжение номинальное

$$s_{\text{ном}} := 0.025$$

Номинальная скорость, рад/с

$$\omega_{\text{ном}} := \frac{\pi \cdot n_0}{30} \cdot (1 - s_{\text{ном}})$$

$$\omega_{\text{ном}} = 103.625$$

Номинальный момент двигателя, Нм

$$M_{\text{ном}} := \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}$$

$$M_{\text{ном}} = 391,9 \text{ Н м}$$

Перегрузочная способность

$$\lambda := 2,2$$

Пусковой момент

$$\mu := 1,1$$

Расчет механических характеристик электропривода

Скорость вращения ротора асинхронного двигателя:

$$\omega_{\text{ротора}} := \frac{2 \cdot n_0 \cdot \pi}{60} \cdot (1 - s_{\text{ном}})$$

$$\omega_{\text{ротора}} = 102,05$$

рад/с

Механическую характеристику асинхронного двигателя рассчитаем по формуле Клосса, применяя программу МАТКАД:

$$s_k := 0,082$$

$$s := 0,001, 0,005 \dots 1$$

$$M(s) := 2 \cdot \lambda \cdot \frac{M_{\text{ном}}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

Результаты сводим в таблицу

Таблица 3

Механическая характеристика асинхронного двигателя

$s$	0,025	0,082	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$M$	394,07	705,4	694,9	496,7	277,9	189,6	143,2	114,9



