

\* A. Sh. Alimgazin<sup>1</sup>, A. N. Berguzinov<sup>2</sup>, I. A. Sultangazin<sup>3</sup>

МРНТИ 50.47.00

M. O. Serkayev<sup>4</sup>, I. G. Akhmetova<sup>5</sup>

I. N. Gumilyov Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>2</sup>National Research University «МРЭУ», Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Academy of military sciences of the Republic of Kazakhstan,

Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan;

<sup>4</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

<sup>5</sup>Material received on 13.06.22

<https://doi.org/10.48081/JNODD8902>

\*O. A. Андреева<sup>1</sup>, A. Тәуізова<sup>2</sup>, A. К. Нежимедінов<sup>3</sup>,  
Г. С. Балгабаева<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Торайғыров университет, Республика Қазақстан, г. Павлодар

## PROSPECTS OF APPLICATION OF HEAT TRANSFORMATION TECHNOLOGIES FOR DECARBONIZATION OF THE CARBON ECONOMY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

The article discusses the prospects for the use of heat transformation technologies for decarbonization of the carbon economy of Kazakhstan, as well as issues related to the use of absorption refrigeration technologies, which are very widespread in the energy sector, various industries, comfortable air conditioning systems of buildings for various purposes, etc. of the leading countries of the world. АВМ utilize waste heat for the production of cold (usually for the production of chilled water with a temperature of up to +50 °C). АВНР are highly efficient energy-saving equipment for heat supply and hot water supply of various facilities and are designed to produce heat of a higher temperature level (hot water or steam) up to 50–90 °C from low-potential energy at the expense of high-potential energy (heat transfer). The introduction of innovative energy-saving equipment, such as АВНР and АВМ, for most enterprises of the Republic of Kazakhstan can become a real way to increase the efficiency of using fuel and energy resources both in heat and cooling systems and in heat technology systems, which is even more promising and economically profitable. Modernization of industrial enterprises of the republic with the use of absorption heating and cooling technologies is a primary task for the energy-efficient and environmentally friendly development of the fuel and energy complex, metallurgy, petrochemical complex, agro-industrial enterprises, etc.

В данной работе рассмотрены основные аспекты разработки промышленных комплексов газопереработки попутного нефтяного газа и систем управления ими. Рассмотрение причин аварий, показала, что важной задачей при эксплуатации компрессорных станций является оптимизация режимов их работы. При выборе компрессорной установки необходимо учитывать возмущения окружающей среды и изменения эксплуатационных параметров. Важной задачей является минимизация потребности эжектирующей компрессорной оборуодования, позволяет выявить оптимальные параметры регулирования, позволяет выявить оптимальные эксплуатационные режимы работы компрессорных установок. Корректировать определения этих параметров отразится на таких характеристиках как: энергопотребление, надежность и межремонтный срок, которые в свою очередь являются одними из важнейших показателей при работе с компрессорным оборудованием. Рассмотренные способы регулирования расхода и давления сжатого газа в компрессорной машине, позволили выбрать в качестве основного воздействия на параметры регулируемого эжектирующего. Наличие современной автоматической системы управления технологическим процессом позволит оперативно контролировать технологические параметры и регулировать технологический процесс в автоматическом режиме. Также рассмотрены варианты доработки системы компримирования, чтобы обеспечить более высокие показатели надежности и долговечности компрессорного агрегата.

*Ключевые слова: компрессорная установка, система компримирования, эксплуатационные режимы, параметры регулирования, автоматизация управления.*

### **Введение**

Попутный нефтяной газ является ценным сырьем для газовой промышленности и дешевым видом топлива. Для повышения давления в газопроводе при транспортировке попутного нефтяного газа используются компрессорные станции [1]. В настоящее время актуальной задачей стало создание новых промышленных комплексов в области газопереработки, которые строятся непосредственно на месторождениях.

Компрессорная станция – это комплекс, включающий в себя большое количество аппаратов и агрегатов, целью которой является компримирование попутного нефтяного газа до установленного давления и транспортировка его к потребителю [2]. Данные комплексы работают непрерывно круглый год, поэтому одним из важных параметров при постройке и эксплуатации данных сооружений, является надежность. Надежное оборудование позволяет проводить технологические процессы максимально безопасно с эффективной экономической отдачей [3].

Компрессорные установки (КУ) являются неотъемлемой составной частью большинства промышленных и общественных комплексов (химических, нефтеперерабатывающих, газовых, автомобильных, научно-исследовательских). Основная задача КУ – бесперебойное обеспечение объекта газовой смесью с заранее установленными параметрами. Следовательно, отказ КУ приводит к простоям всего комплекса или как минимум, его большую часть, а это значит – значительные убытки. Снижение расходов на обслуживание и продление межремонтного срока, а также упрощение диагностики неполадок в совокупности с повышением надежности, позволяет говорить о значительной выгоде связанной с применением новой системы управления вместо традиционной при модернизации существующих станций.

Неудовлетворительная эксплуатация КУ может вызывать взрывы и аварии отдельных их частей с возможными тяжелыми последствиями. Практика эксплуатации показывает, что непосредственными причинами аварий и взрывов компрессорных установок могут быть следующие: чрезмерное повышение температуры сжатого воздуха и перегревание частей компрессорной установки; заплыленность и влажность засасываемого воздуха; разряды статического электричества; быстрое повышение давления воздуха в компрессорной установке выше допустимого; неправильный монтаж компрессорной установки; неправильная эксплуатация установки и неудовлетворительный уход за ней. Поэтому встает вопрос о повышении

эффективности эксплуатации компрессорных станций и оптимизации режимов работы [4].

Большая часть парка компрессорного и холодильного оборудования в Казахстане и СНГ уже морально и физически изношена, требует в значительной части замены или модернизации. Поэтому в настоящее время более актуальной становится задача по ремонту и модернизации компрессорного и холодильного оборудования, в особенности крупного эксплуатируемого оборудования. При этом вводятся новые требования, как правило, это изменение параметров компрессора или установки в целом, с одновременным повышением критериев по надежности, безопасности, экономичности и экологичности.

Компрессорные станции в сумме потребляют не менее 20 % электроэнергии, которая расходуется промышленными предприятиями. При таком большом расходе электроэнергии на рынке особенно востребованы решения, которые связаны с минимизацией потребления электричества компрессорным оборудованием.

Эффективная эксплуатация компрессорных станций возможна только при наличии современной автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), главная функция которой состоит в оперативном контроле технологических параметров и регулировании технологического процесса в автоматическом режиме [5].

### **Материалы и методы**

Рассмотрим критерии выбора компрессорной установки. Наиболее важным аспектом при выборе компрессора является характеристика его производительности (л/мин, либо м<sup>3</sup>/мин), если он обладает достаточными мощностными характеристиками. Рассчитывать этот показатель следует при учете всех технических параметров пневматических устройств.

Большое значение при выборе компрессорной установки имеет определённость с источником питания. Обычно используется однофазная сеть, однако крупным производствам необходимы три фазы. Если режим работы удалённый, то есть установка расположена далеко от энергосетей, то необходима компрессорная установка, оснащённая автономным бензиновым или дизельным двигателем.

Есть определённые исходные данные, которые необходимо рассматривать при выборе компрессора:

Объёмный расход входящего газа.  
Необходимое конечное давление установки.  
Температура, давление на всасывании, относительная влажность входящего газа.

Молярный состав, загрязненность перекачиваемого газа, его вредность, способность к полимеризации;

Приводы (тип, требования);

Специальный перечень требований (не должно быть смазки в газовом тракте, ограниченный вес оборудования, требования к размерам, к вибрациям, уровню шума, уплотнениям для обеспечения герметичности).

Основными показателями изготовленного компрессора являются конечное давление (Рк) и объемный расход входящего газа (Vh). Они и определяют тип и марку компрессора.

Правильность выбора того или иного типа компрессора определяет срок его службы. При покупке компрессора необходимо предусматривать запас по производительности и интенсивности работы. Срок службы любого компрессора связан с различными факторами:

окружающая температура: большинство типов компрессоров эксплуатируются в диапазоне температур воздуха от плюс 5 до плюс 45°С. Температура ниже этих значений вызывает повышение вязкости компрессорного масла, что увеличивает нагрузку на компрессор; температура выше указанных значений способствует разжижению масла, что ведет к износу рабочих плоскостей;

помещение, компрессор и поступающий воздух должны быть чистыми, что способствует лучшему охлаждению. В чистоте легче контролировать и находить неисправности и утечки;

перепады в напряжении, попадание или перекос фаз отрицательно влияют на состояние компрессора, понижают его ресурс;

своевременное и качественное обслуживание необходимо любому компрессору, нерегулярное и некачественное профилактическое обслуживание сокращает срок службы компрессора [6].

Также большое влияние на срок службы компрессорного оборудования оказывает способ его эксплуатации. Если компрессорная установка не обладает автоматической системой управления, то, как правило, она работает в режиме избыточного расхода воздуха. Это означает, что система работает с производительностью значительно большей, чем это необходимо потребителю, а излишки скомпримированного воздуха или газа сбрасываются на байпасную линию или же закидываются внутри компрессора. В связи с этим встает острая необходимость внедрения системы автоматического управления выходным давлением и расходом. Но достаточно просто регулировать расход, также можно обеспечить стабильность реализуемого давления и объема расхода на выходе компрессорного агрегата. Кроме этого, важна скорость выхода установкой на номинальный режим работы. При этом необходимый объемный расход может изменяться с течением

времени, так как потребителю не всегда необходимо одно и то же количество сжатого воздуха или газа.

Компрессорная установка – это сложный промышленный объект, который состоит не только из самого компрессора, но и из многих сопутствующих агрегатов, которые гарантируют правильное и надежное функционирование компрессора. Также имеются устройства, которые обеспечивают поступление газовой среды, а также перенаправление газа в случае каких-то неисправностей или же при проведении технического обслуживания. Установки, входящие в группу винтовых компрессоров, могут быть различны, но при этом они имеют оснащение, общее для всех видов оборудования данного типа. Входящие в состав винтовых компрессоров устройства выполняют определенные функции, обеспечивая при этом эффективную и бесперебойную работу установок. Внутреннее устройство компрессора винтового типа представлено на рисунке 1.

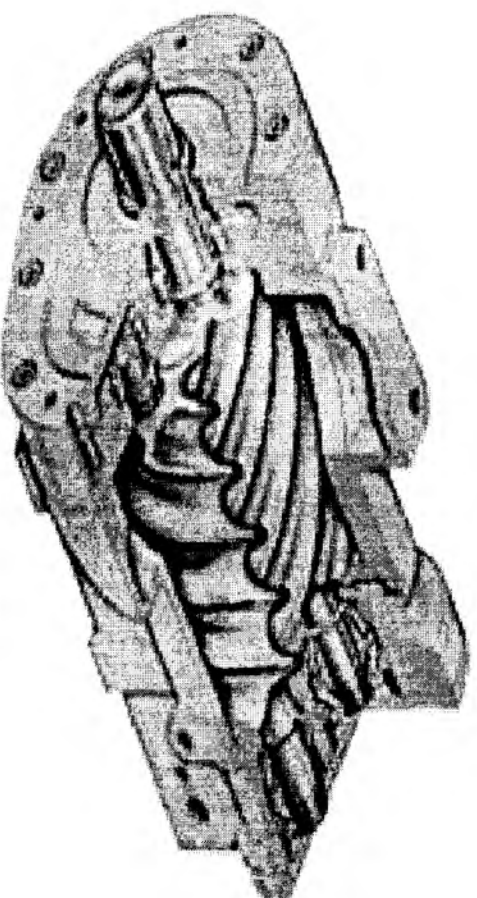


Рисунок 1 – Сжимающий элемент винтового компрессора

Рассмотрим основные составляющие винтовых компрессоров.

Воздушный фильтр всасывающий выполняет функцию очистки воздуха, который попадает в компрессорную установку. Зачастую состоит из двух элементов – предварительного фильтра, находящегося в том месте, где происходит забор воздуха, а также фильтра, расположенного перед входным клапаном.

Входной клапан обеспечивает регулировку производительности всего компрессора и оснащен пневматическим управлением. Регулирование работы установки обеспечивается переходом клапана на холостой ход.

Винтовой блок представляет собой один из главных рабочих элементов установки винтового типа. В состав винтового блока входят два,

расположенных параллельно по отношению друг к другу ротора, один из которых имеет вогнутый винтовой профиль, а другой – выпуклый. Именно наличие роторов отличает устройство винтовых компрессоров и принцип их действия от установок других типов.

Ременная передача представляет собой два шкива, задающих необходимую скорость вращения роторов. Один из шкивов расположен на винтовой паре, а другой находится на двигателе.

Электродвигатель обеспечивает вращение винтовой пары посредством муфты, редуктора или же ременного привода.

Масляный фильтр проводит очистку масла, прежде чем оно возвращается в блок с винтами.

Отделитель масла – бак, изготовленный из металла, в середине которого расположена перегородка с отверстиями. Сила инерции, возникающая при закрутке потока, приводит к очистке воздуха от масла специальным фильтром.

Термостат обеспечивает наиболее оптимальный температурный режим. При низких значениях температуры масла, термостат пропускает его, не затрагивая при этом охлаждающий радиатор, что позволяет ускорить получение наиболее оптимальной температуры в установке.

Охлаждитель масла выполняет функции охлаждения масла, после того, как оно отделилось от сжатого воздуха.

Концевой охлаждитель воздуха охлаждает до необходимого уровня сжатый воздух перед тем, как он подается потребителю.

Предохранительный клапан обеспечивает безопасную работу устройства и предотвращает его поломку. Данный клапан срабатывает при значительном повышении уровня давления в маслоотделительном баке, которое может вывести из строя все оборудование.

Система трубопроводов имеет различные трубопроводы для воздушно-масляной смеси, воздуха и масла.

Реле давления устанавливает параметры и режим работы установки в зависимости от показателей уровня давления. Так, при достижении максимального значения давления, работа винтовых компрессоров переходит на холостой ход. При снижении давления установка вновь начинает работать.

Вентилятор предназначен для забора воздуха в компрессор с одновременным охлаждением рабочих деталей и элементов оборудования.

Блок управления необходим для электронного управления и контроля работы оборудования, а также позволяет передавать на дисплей все необходимые рабочие параметры и характеристики компрессора.

Систему можно разделить на две составляющие: гидравлическую и газовую [7].

Гидравлическая – обеспечивает смазку и охлаждение компрессора и представлена на рисунке 2. Газовая – среда, которую необходимо компримировать для дальнейшей транспортировки или переработки.

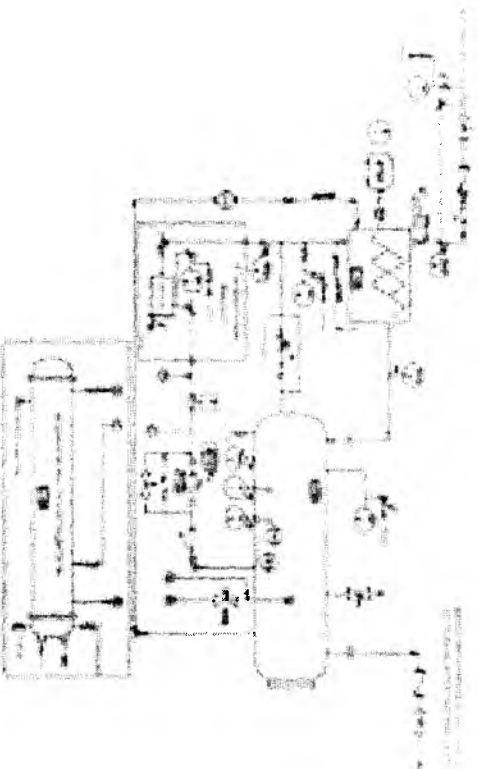


Рисунок 2 – Гидравлическая схема компрессорной установки

Гидравлическая система состоит из следующих элементов:

- одновинтового компрессора «Vilter VS SGMVSG» (С1000);
- маслоотделителя У100, который отделяет скомпримированный газ от масла, которое подается для смазки компрессора;
- водяного маслоохладителя Е100;
- масляного фильтра;
- маслонасоса Р100 с двигателем М200.

Маслонасос Р100 перекачивает масло в компрессор. Предварительно масло проходит через масляный фильтр, очищаясь от водяного конденсата и возможных механических примесей. Масло в компрессоре необходимо не только для смазки движущихся частей, таких как винт компрессора и шестерни, но также оно служит неким масляным клином между вращающимися частями камеры нагнетания и тем самым предотвращает просачивание газа. Так как масло находится и непосредственно в самой камере нагнетания, то оно частично попадает в газ, и на выходе компрессор передает среду с неким содержанием масла. Для того чтобы очистить газ от наличия в нем масла, следующим этапом газ проходит через маслоотделитель У100, в котором скомпримированный газ очищается от масла. Дальше газ уходит на потребителя, а масло с маслоотделителя повторно перекачивается маслонасосом и подается в компрессор, предварительно очищаясь, проходя через масляный фильтр.

Газовая среда представляет собой всю запорную арматуру, которая направляет газ на компрессор, либо по байпасной линии напрямую на потребителя, если компрессор не в работе по тем или иным причинам (от каких-либо поломок до технического обслуживания). Так же есть вариант сброса газа на факельную установку, этот вариант создан для того, если по технологическим аспектам, потребитель не может работать с некампримированным газом, а компрессор находится не в работе, либо если потребитель вовсе не может в данный момент осуществить присоединение к газовой среде.

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим основные способы регулирования расхода и давления сжатого газа в компрессорной машине [8].

Перепуск газа из нагнетательной линии во всасывающую или в атмосферу приемлемый на компрессорах, заключается в переводе компрессора на холостой режим работы посредством байпаса-трубопровода, снабженного вентилем (клапаном, задвижкой), управление которым может осуществляться вручную или автоматически. Этот способ по характеру регулирования ступенчатый: он обычно применяется при пуске и останове компрессора. Использовать его для регулирования производительности компрессора при работе нецелесообразно вследствие неэкономичности.

Дросселирование на всасывании или на нагнетании предусматривает установку во всасывающем трубопроводе регулируемого дросселирующего устройства (заслонки) [9]. Уменьшая проходное сечение дросселя, увеличивают его сопротивление и снижают давление воздуха, поступающего в первую ступень компрессора. При плавном изменении давления воздуха также плавно изменяется производительность компрессора. Такой способ регулирования производительности является основным для турбокомпрессоров. Он прост в реализации, но неэкономичен.

Перепуск газа из камеры нагнетания в камеру всасывания с помощью золотников компрессора, этот способ регулирования может быть очень эффективен в плане регулирования выходного давления при изменении необходимого показателя, при этом не изменяя частоту вращения электропривода. Данный способ подходит при небольшой амплитуде изменений, если же перепад давления значителен, то лучше управлять электроприводом, так как это более экономично с точки зрения энергопотребления.

Наиболее эффективно и перспективно регулирование производительности компрессоров воздействием на их привод.

Анализ конструкции и требований к эксплуатации компрессорной установки показал, что разрабатываемая система автоматического управления должна обеспечивать:

- подготовку к пуску, осуществлению пуска, перевод работы компрессора в сеть;
- автоматическое регулирование параметров компрессорной установки;
- защиту компрессора от помпажа;
- контроль основных параметров;
- предупредительную сигнализацию с подачей светового и звукового сигнала при выходе контролируемого параметра за предельное значение;
- подачу светового и звукового сигнала при выходе контролируемого параметра за аварийное значение с подачей сигнала на отключение главного привода и запоминанием первопричины аварии;
- подготовку к нормальному останову, осуществление нормального останова и перевода элементов компрессорной установки в безопасное состояние после останова;
- обеспечение связи с верхним иерархическим уровнем управления.

Плавное и экономичное регулирование производительности компрессора в широких пределах может быть обеспечено изменением частоты вращения с помощью регулируемого электропривода. При этом производительность изменяется пропорционально угловой скорости. Этот способ регулирования является перспективным для турбокомпрессоров. Для нормальных компрессоров производительностью до 50 м<sup>3</sup>/мин применение регулируемого электропривода пока не оправдано [10].

Полный период обработки информации и выдачи управляющего воздействия в контуре управления байпасным клапаном должен составлять 40 мс. Это позволит эффективно использовать современные быстродействующие антипомпажные клапаны со временем полного открытия 1,5–2 с. [11].

### Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что компрессорная установка требует постоянного контроля со стороны обслуживающего технического персонала, и предусматривает сохранение нормативных показателей работы основных узлов. Однако нестабильность нагрузки, которой подвергается КУ, приводит сокращению как общих часов наработки, так и межремонтных сроков эксплуатации оборудования. Внедрение новой линейки управляющих средств и исполнительных механизмов позволит значительно улучшить показатели надежности, ремонтнопригодности и экономической выгоды КУ. Применение оборудования с расширенными функциональными возможностями (расширение основной

платформы интегрированных модулей, наличие сетевых узлов, оптимизация и упрощение программных компонентов), обеспечит приемлемыми показателями точности измерений. Также следует подобрать необходимые настройки регулятора, чтобы система в автоматическом режиме могла адаптироваться к условиям потребителя. Для этого необходимо построить структурную схему, произвести расчёты ее составных частей, и на основе полученных данных построить математическую модель, которая будет основой для подбора коэффициентов ПИД-регулятора.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Автоматизация компрессоров [Электронный ресурс] // НИИТурбокомпрессор – Режим доступа к статье : <http://www.mik-kazan.ru>.
- 2 Андреев, Р.С. Пневмоавтоматика. Учебное пособие. Москва, - 2013. – 176 с.
- 3 Галеркин, Ю. Б., Козаченко, Л. И. Турбокомпрессоры: Учебное пособие – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2008. – 374 с.
- 4 Каталог компрессорного оборудования [Электронный ресурс] // ООО ПТК-Плюс – Режим доступа к статье : <http://kozr.ru/compressor-primeneenie.htm>.
- 5 Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров. Москва, издательство московского государственного горного университета, – 2007. – 237 с.
- 6 Типовые решения САУ компрессоров [Электронный ресурс] // НПЦ Промышленная автоматизация. – Режим доступа к статье : <http://www.mdautomation.ru>.
- 7 Москаленко, В. В. Электрический привод: Учебн. для электротехн. спец. техн. – М.: Высш. шк., 1991. – 430с.
- 8 Хонимов, Ф. А., Рахмонов, И. У. Повышение эффективности работы компрессорных станций за счет внедрения системы увлажнения воздуха на входе в компрессор / Молодой ученый. – 2014. – №14. – С. 67–69.
- 9 UKEssays. November 2018. Air Compressor Systems Introduction. [online]. Available from: <https://www.ukessays.com/essays/engineering/introduction-to-air-compressor-systems-engineering-essay.php?vref=1>.
- 10 Попович, М. Г. Теория электропривода: Учебник / М. Г. Попович, М. Г. Борисяк, В. А. Гаврилюк и др.; Под ред. М. Г. Поповича. – К.: Высшая школа, 1993. – 494 с.
- 11 Вадутов, О. С. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Николса / О. С. Вадутов, 2014. – 10с.

## REFERENCES

- 1 Автоматизация компрессоров [Automation of compressors] // NIITurbocompressor – Rezhim dostupa k state: <http://www.mik-kazan.ru>.
- 2 Andreev R.S. Pnevmavtomatika. [Pneumoautomatics] Uchebnoe posobie. Moskva, - 2013. –176 s.
- 3 Galerkin Yu. B., Kozachenko L. I. Turbokompressory [Turbocomchargers]: Uchebnoe posobie - SPb.: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta, 2008. – 374 s.
- 4 Katalog kompressorного оборудования [Catalog of compressor equipment] // ООО РТК-Плюс – Режим доступа к state: <http://kozr.ru/compressor-primeneenie.htm>
- 5 Roderini R.Yu. Механическое оборудование карьеров. [Mechanical equipment of quarries] Moskva, izdatel'stvo moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, в 2007. – 237 s.
- 6 Tirovny'e resheniya SAU kompressorov [Typical solutions of ACS compressors] // NPP Promy'shennaya avtomatizatsiya. – Режим доступа к state: <http://www.mdautomation.ru>.
- 7 Moskalenko V. V. Elektricheskiy privod [Electric drive]: Uchebn. dlya elektrotehn. спец. техн. - М.: Vy'sh. shk., 1991. – 430s.
- 8 Xoshimov F. A., Raxmonov I. U. Povy'shenie effektivnosti raboty kompressorных станций за счет внедрения системы увлажнения воздуха на входе в компрессор [Improving the efficiency of compressor stations by introducing an air humidification system at the compressor inlet] / Молодой ученый' j. – 2014. – №14. – S. 67–69.
- 9 UKEssays. November 2018. Air Compressor Systems Introduction. [online]. Available from: <https://www.ukessays.com/essays/engineering/introduction-to-air-compressor-systems-engineering-essay.php?vref=1>.
- 10 Rorovich M. G. Теория электропривода [Theory of electric drive]: Uchebnik / M. G. Rorovich, M. G. Borisyuk, V. A. Gavrilyuk i dr.; Pod red. M. G. Rorovicha.- К.: Vy'sshaya shkola., 1993.- 494 s.
- 11 Vadutov O.S. Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Николса [Setting up typical regulators by the Ziegler-Nichols method] / O. S. Vadutov, 2014. – 10s.

Материал поступил в редакцию 13.06.22.