



издательство

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

П.А. КИСИЕВ

**ГАЗОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ
(УКС-400В-131, 15Г62П, 15Г84)**

Москва • 2017

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)**

П. А. КИСИЕВ

**ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
(УКС-400В-131, 15Г62П, 15Г84)**

Учебное пособие

Утверждено
на заседании редсовета
16 июня 2017 г.

Москва
Издательство МАИ
2017

Кисиев П.А.

Газовое оборудование (УКС-400В-131, 15Г62П, 15Г84): Учебное пособие. — Изд-во МАИ, 2017. — 96 с.

В учебном пособии излагаются вопросы конструкции и эксплуатации оборудования, предназначенного для производства, хранения и выдачи сжатых газов (воздуха и азота), а также техника безопасности при работе с ним.

В основу учебного пособия положены технические описания и руководства по эксплуатации агрегатов УКС-400В-131, 15Г84 и системы 15Г62П, которые нашли широкое применение в изучаемых ракетных комплексах в Учебном военном центре (УВЦ) при МАИ.

В учебном пособии встречаются ссылки на “Альбомы схем и рисунков к учебному пособию”, имеющиеся в библиотеке УВЦ при МАИ.

Предназначено для студентов 5-го курса отдела Ракетных войск стратегического назначения учебного военного центра ((РВСН) УВЦ) при МАИ.

Рецензенты:

ученный совет Военного института МГТУ им. Э.Н. Баумана (директор Военного института МГТУ им. Э.Н. Баумана полковник *Н.Д. Максименко*);

канд. техн. наук старший научн. сотр. *В.В. Гурылёв*

ISBN 978-5-4316-0481-2

© Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет), 2017

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. СОСТАВ ГАЗОВОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При эксплуатации специального вооружения широкое применение получили сжатые газы: воздух, азот, гелий, кислород и другие. Это объясняется следующими их достоинствами:

- возможностью обеспечения сжатыми газами от одного источника большого числа потребителей;
- простотой аккумулирования энергии путем сжатия воздуха до высоких давлений;
- способностью длительного сохранения энергии в сжатом состоянии;
- безопасностью применения при работе в различных сферах благодаря их инертности (азот, гелий и другие);
- удобством применения электропневмоустройств и т.д.

На изучаемом комплексе широкое применение получили сжатые газы — воздух и азот, которые используются для:

- наддува баков изделия непосредственно при пуске (системы предстартового наддува 15Г107, 15Г144);
- стопорения системы амортизации 15У124, 15У84;
- управления гидравлической арматурой заправочного оборудования;
- наддува цистерн заправочного оборудования для создания инертной газовой подушки при хранении компонентов топлива и их вытеснении из цистерн при заправке;
- опрессовки трубопроводов, металлорукавов и их стыков, люков при проверке их герметичности;
- обеспечения микроклимата в контейнере при ампулизации изделия;
- запуска дизель-генераторов системы автономного электропитания;
- создания подпора воздуха на командном пункте при работе в режиме полной изоляции;
- проведения регламентных проверок на системах ПУ и т.д.

При эксплуатации вооружения на изучаемом комплексе используется газовое и вспомогательное оборудование.

Рассмотрим состав агрегатов, входящих в газовое и вспомогательное оборудование.

Газовое оборудование

Газовое оборудование предназначено для получения, хранения, транспортировки и замера влажности сжатых газов.

Газовое оборудование изучаемого комплекса включает в себя следующие агрегаты:

- УКС-400В-131 — унифицированная компрессорная станция;
- 15Г62 — система производства, хранения и выдачи сжатых газов;
- 15Г84 — унифицированный заправщик сжатых газов;
- 8Ш31 — автоматический фотоэлектронный индикатор важности;
- 15Ш26 — анализатор влажности газов.

Вспомогательное оборудование

Вспомогательное оборудование предназначено для выполнения операций, необходимость в которых возникает в процессе приведения комплекса в готовность к боевому применению, регламентированного технического обслуживания, ликвидации последствий аварий.

Вспомогательное оборудование изучаемого комплекса включает следующие агрегаты:

- УМП-350 — унифицированный моторный подогреватель;
- 8Т31М — обмывочно-нейтрализационная машина;
- 15Г123 — агрегат осушки;
- КС3572 — подъёмный кран.

Требования, предъявляемые к сжатым газам

Используемые при проведении различных технологических операций сжатые газы должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Отсутствие механических примесей в виде пыли и других твердых частиц.

Количество твердых частиц в воздухе, как правило, содержится от 0,005 до 0,01 г/м³. Такое количество пыли может привести

к загрязнению клапанов компрессора, быстрому износу поршневых колец и цилиндров, нарушению работы элементов пневмоавтоматики приборов. Наличие твердых частиц в газе должно быть меньше $0,005 \text{ г/м}^3$.

2. Наличие в газе минимального количества влаги.

Количество влаги в атмосферном воздухе колеблется от $0,1$ до 30 г/м^3 .

Работа с газами в широком интервале температур окружающего воздуха, а также необходимость дросселирования газа при работе ряда приборов и арматуры, могут привести к примерзанию отдельных деталей (клапанов, золотников), если газ влажный. Согласно требованиям эксплуатации на изучаемом комплексе используемые сжатые газы должны иметь точку росы не выше -55°C .

3. Отсутствие в газах примесей масла. Наличие в газах примесей масла может привести к самовозгоранию компонентов топлива, если они соприкасаются с газом. Загрязнение газа частичками масла производится при получении сжатых газов из системы смазки компрессора.

4. Применяемые инертные газы должны обладать достаточной однородностью по составу. Азот, например, может содержать не более 4% по объему примесей других газов.

5. Отсутствие в сжатых газах углекислого газа.

Его содержание в воздухе составляет $0,03—0,04\%$ по объёму. При температуре -56°C и давлении $5,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ углекислый газ превращается в снегообразную массу, а при дальнейшем охлаждении — в твёрдое вещество. В твердом состоянии углекислый газ забивает трубки теплообменных аппаратов, дроссельные вентили и нарушает их нормальную работу.

6. Содержание ацетилена в воздухе при получении азота должно быть не более $0,25 \text{ г/м}^3$.

Увеличение содержания ацетилена в воздухе может привести к взрыву блока разделения азотдобывающей станции.

Основные требования, предъявляемые к сжатым газам, позволяют сформулировать соответствующие требования к *оборудованию*, используемому для их получения.

1. Компрессорные и азотдобывающие станции должны быть оборудованы устройствами для осушки и очистки газов от механических примесей и масла, а также для удаления газов, присутствие которых не допускается.

2. Потребляемый атмосферный воздух для получения сжатого воздуха очищается от механических примесей с помощью фильтров, установленных на входе в компрессор.

3. Очистка от масла производится в водомаслоотделителях и фильтрах высокого давления, установленных на входе в блок осушки.

4. Удаление влаги происходит в водомаслоотделителях, межступенчатых холодильниках, адсорберах блока осушки и т.д.

5. Очистка воздуха от углекислого газа при получении азота, производится химическим способом — путем поглощения последнего щелочью или в специальном адсорбере при помощи силикагеля.

6. Очистка воздуха от ацетилена в азотодобывающей станции происходит в адсорбере ацетилена.

7. Для контроля за качеством выдаваемых газов станции должны быть укомплектованы необходимыми контрольно-измерительными приборами. К примеру, для определения влажности используется анализатор влажности 15Ш26 или автоматический фотоэлектронный индикатор влажности 8Ш31.

При необходимости качество газов контролируется в химических лабораториях.

2. КОМПРЕССОРЫ

Машины для сжатия газов называются компрессорными.

В зависимости от принципа сжатия их можно разделить на две основные группы:

1. Машины объёмного сжатия, в которых повышение давления газа происходит за счет уменьшения объёма рабочего пространства. Сжатие и подача сжатого газа являются периодически процессами.

К этой группе машин относятся поршневые компрессоры с возвратно-поступательным движением поршней и различные типы роторных компрессоров с вращающимися поршнями.

2. **Машины кинетического сжатия**, в которых процесс сжатия газов происходит при принудительном установившемся движении, а полученная кинетическая энергия переходит в энергию давления.

Машины, работающие по такому принципу, строго говоря, также имеют неустановившийся периодический характер движения газа. Однако частота пульсации газа в них настолько велика, а амплитуды колебаний давления и расхода сравнительно малы, что в практических условиях поток газа можно считать установившимся.

К этой группе относятся центробежные и осевые компрессорные машины.

Компрессоры по способу действия подразделяются на три основные группы: лопастные, струйные и объёмные, которые в свою очередь делятся по конструктивному признаку. Каждый тип компрессора может быть выполнен в различных конструктивных формах (рис. 1)*.

* Рисунки и приложения, упоминаемые в данном пособии, размещены в “Альбомах схем и рисунков к учебному пособию...”, имеющихся в библиотеке УВЦ при МАИ

Основными величинами (параметрами), характеризующими работу компрессоров являются:

- Q — объёмная подача, м³/мин;
- P_1 — начальное давление, Па;
- P_2 — конечное давление;
- $\varepsilon = \frac{P_2}{P_1}$ — степень повышения давления, Па;
- n — частота вращения, об/мин;
- N — мощность на валу компрессора, Вт.

Ориентировочные величины основных параметров компрессорных установок различных типов приведены в табл. 1 (см. приложения в “Альбоме схем и рисунков к учебному пособию...”).

Исходя из данных параметров компрессорных установок, указанных в таблице, можно определить область их применения.

Поршневые компрессоры применяются для сжатия газов до высоких давлений ($1000 \cdot 10^5$ Па) при относительно небольшой подаче.

Областью их использования является, например, химическая промышленность, где поршневые компрессоры широко применяются для синтеза химических продуктов.

При эксплуатации наземного оборудования изучаемого комплекса, наибольшее распространение также получили поршневые компрессоры, которые обеспечивают получение газа высокого давления.

Роторные компрессоры имеют такую же производительность, как и поршневые компрессоры, но давление на выходе на несколько порядков ниже — до $12 \cdot 10^5$ Па. Они могут использоваться в авиационной, газовой, химической, холодильной и других областях промышленности.

Струйными компрессорами называют аппараты, в которых происходит смешивание и обмен энергией двух потоков разных давлений с образованием смешанного потока с промежуточным давлением.

Струйные компрессоры применяются в промышленной теплотехнике, вентиляционных установках, холодильной технике, системах пожаротушения, а также для откачки газов, жидкостей из заглубленных ёмкостей, водосборников, например, дренажных вод на ПУ.

Центробежные компрессоры предназначены для сжатия и перемещения паров и газов. Принцип их действия заключается в преобразовании механической энергии приводного двигателя в энергию сжимаемого газа.

Центробежные компрессоры являются основным видом компрессорных установок в металлургическом и коксохимическом производствах. Они получили также широкое распространение в системах дальнего газоснабжения для транспортировки газов на большие расстояния.

Осевые компрессоры применяются для сжатия любых газов при больших подачах. Эти машины широко используются в газотурбинных установках.

2.1. Общее устройство компрессорных установок

Для получения сжатого воздуха применяются передвижные и стационарные компрессорные станции.

Они включают в себя одну или несколько компрессорных установок, системы для охлаждения, очистки и осушки вырабатываемого сжатого воздуха (рис. 2).

Компрессорная установка состоит из основного и вспомогательного оборудования (рис. 3).

К основному оборудованию относятся: компрессор с приводным двигателем, водомаслоотделители, холодильники, блок осушки.

К вспомогательному оборудованию относятся: фильтры, контрольно-измерительная аппаратура, устройства для очистки воздуха от углекислого газа и ацетилена, арматура и трубопроводы.

За последнее время широкое распространение получили компрессоры с приводом от дизельных (подвижные) и электрических (стационарные) двигателей.

2.1.1. Системы охлаждения

В современных компрессорах применяют следующие системы охлаждения:

- воздушные;
- водяные;
- комбинированные.

Воздушные системы охлаждения преимущественно применяются в компрессорных станциях передвижного типа.

При этой системе охлаждения наружные стенки цилиндров компрессора снабжают специальными ребрами, увеличивающими его наружную поверхность. Для более эффективного отвода тепла от стенок цилиндров перед компрессором устанавливается специальный вентилятор, обдувающий стенки цилиндров атмосферным воздухом.

Такая система охлаждения применяется на компрессорной станции УКС-400 (рис. 24).

Водяные системы охлаждения подразделяются на проточные, циркуляционные и с впрыскиванием в поток газа охлаждающей воды.

При проточной системе охлаждения вода из источника подаётся в компрессор, а затем отводится на слив. Такую систему охлаждения используют обычно в компрессорах высокого давления малой подачи с небольшим расходом охлаждающей воды.

Циркуляционная система охлаждения нашла широкое применение в компрессорных станциях с большим расходом охлаждающей воды. Вода после выхода из рубашки охлаждения компрессора направляется в охлаждающее устройство (радиатор, холодильник или испаритель) и затем при помощи насоса возвращается в рубашку охлаждения компрессора.

На некоторых видах компрессоров используется система внутреннего охлаждения компрессора путём впрыска в поток газа охлаждающей воды перед первой ступенью компрессора. Температура существенно снижается за счет испарения воды. Недостатком способа является увлажнение газа, что недопустимо.

В качестве охлаждающих устройств на компрессорных станциях используются холодильники.

По назначению холодильники разделяются на промежуточные и концевые. В первых газ охлаждается между ступенями компрессора. Вторые устанавливают на выходе сжатого воздуха из компрессора.

Холодильники должны удовлетворять следующим условиям:

- иметь малое гидравлическое сопротивление;
- компактность;
- доступность очистки и простота изготовления.

В зависимости от производительности компрессора, давления газа, холодильники выполняют многотрубными, элементными, змеевиковыми и типа “труба в трубе”.

Многотрубные холодильники применяют для давления до $40 \cdot 10^5$ Па. Их выполняют в виде пучка труб, развальцованных в трубных решётках и заключенных в общий каркас (рис. 4). По трубкам течет вода, а воздух поступает в межтрубное пространство.

Для увеличения времени соприкосновения сжатого воздуха с трубками холодильника необходимо увеличить длину пути воздуха. С этой целью в холодильнике устанавливают металлические перегородки, перпендикулярные воздушному потоку.

Элементные холодильники (рис. 5) применяют также для давлений до $40 \cdot 10^5$ Па. Их выполняют из труб, оребренных с внешней поверхности, обращенной к сжатому воздуху. Достигаемое этим увеличение поверхности теплообмена компенсирует недостаточность коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха по сравнению с коэффициентом со стороны воды. Этим достигается контактность теплопередающих элементов.

Холодильники змеевикового типа применяют для любых давлений, но только при сравнительно малых объемах охлаждаемого воздуха. Сжатый воздух движется внутри змеевика, установленного в резервуаре, через который протекает охлаждающая вода.

Холодильники типа “труба в трубе” (рис. 6) применяют для давлений от $25 \cdot 10^5$ Па до самых высоких. Они устроены из нескольких секций, последовательно соединенных между собой. Каждая секция состоит из внутренней трубы, расположенной в трубе большего диаметра. По внутренней трубе холодильника проходит горячий воздух, по кольцевой полости, образованной трубами, подается встречным потоком охлаждающая вода. Омывая внутреннюю трубу, вода отбирает часть тепла от сжатого воздуха, понижая его температуру.

Комбинированной называется такая система охлаждения компрессорной станции, которая представляет собой комбинацию элементов воздушного и жидкостного охлаждения.

2.1.2. Система очистки

Система очистки предназначена для удаления из воздуха механических примесей, капельной жидкости и масла. Её основными элементами являются фильтры и водомаслоотделители (рис. 2, в).

Очистка сжатого воздуха при получении азота от углекислого газа осуществляется в декарбонизаторах при помощи щелочи или в адсорберах блока разделения. Очистка от ацетилена осуществляется в специальных адсорберах.

Для очистки всасываемого в компрессор воздуха от механических примесей, содержащихся: в окружающей атмосфере, на всасывающих трубопроводах устанавливают фильтры грубой очистки (рис. 7, а).

Принцип действия такого фильтра аналогичен принципу действия воздухоочистителей инерционно-масляного типа, устанавливаемых на автомобильных двигателях. Воздушный фильтр состоит из корпуса 2, в котором расположен фильтрующий элемент 1. Нижняя часть корпуса выполнена в виде масляной ванны 3. Всасываемый воздух, проходя над поверхностью слоя масла, резко меняет свое направление на 180° . Механические частицы как более тяжелые не успевают вместе с воздухом изменить направление движения и попадают в масло. Более легкие частицы пыли улавливаются фильтрующим элементом, представляющим собою металлическую сетку, смоченную маслом. Пройдя сетку, воздух поступает в центральный канал.

Воздух высокого давления очищается в фильтрах высокого давления (рис. 7, б), фильтрующим элементом которых является керамика. Фильтры высокого давления задерживают все механические примеси, размеры которых превышают 10 мкм.

При многоступенчатом сжатии в компрессорах объём воздуха уменьшается, а весовое количество водяных паров, поступивших вместе с воздухом, остаётся постоянным.

При охлаждении воздуха в промежуточных холодильниках относительная влажность достигает 100% и избыточное количество влаги конденсируется. Частицы масла и влаги, находящиеся в капельном состоянии, удаляются из сжатого воздуха водомаслоотделителями инерционного типа.

Водомаслоотделители устанавливаются в местах интенсивной конденсации паров воды и масла, обычно после холодильников и в низко расположенных точках газопроводов.

Водомаслоотделители бывают, как правило, двух типов, в зависимости от направления движения воздуха в водомаслоотделителе: водомаслоотделители с подводом воздуха в корпус по прямой трубке (рис. 8,а) и водомаслоотделители, обеспечивающие закрутку воздуха по спирали относительно корпуса (рис. 8,б).

Принципы работы водомаслоотделителей этих типов состоит в следующем.

В первом случае сжатый воздух через входной штуцер водомаслоотделителя (рис. 8,а) поступает по трубке, заканчивающейся в нижней части баллона, с большой скоростью в баллон. В баллоне скорость воздуха уменьшается и изменяется её направление. Частицы влаги и масла, продолжая двигаться вниз, собираются в нижней части баллона. При открытии дренажного вентиля скопившиеся вода и масло выбрасываются сжатым воздухом из баллона в атмосферу.

Во втором случае (рис. 8,б) вход воздуха в корпус водомаслоотделителя осуществляется через тангенциальное отверстие. При входе в водомаслоотделитель воздух получает вращательное движение, и под действием центробежной силы влага и масло отбрасываются на боковую поверхность корпуса и стекают вниз под действием силы тяжести, а затем также при открытии вентиля выбрасываются в атмосферу.

2.1.3. Система осушки

Система осушки воздуха предназначена для удаления паров воды из сжатого воздуха при пропускании его через ёмкость, заполненную адсорбентом. Составляющие адсорбента имеют следующие характеристики:

Силикатель — обезвоженный и прокаленный гель кремниевой кислоты ($\text{H}_2\text{SiO}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). Он обладает высокопористой структурой и имеет вид зерен, в капиллярах которых конденсируются пары влаги.

Цеолит — обезвоженный алюмосиликат щелочных или редкоземельных металлов. Пористый материал, имеет большую удельную поверхность. Для использования цеолита его кристаллы в смеси с добавками связующих элементов (15÷20%) глины формуют в таблетки, гранулы или шарики различных размеров. Необходимость формования цеолита вызывается его большим уносом из осушителя при осушке воздуха.

Следует, однако, отметить, что эти вещества имеют существенный недостаток — при температуре выше 30°C они начинают терять свои поглотительные свойства.

В связи с этим приходится воздух, поступающий на осушку, предварительно охлаждать, если его температура выше указанной. Чем выше температура сжатого воздуха, поступающего на осушку, тем сильнее теряет адсорбент свои поглотительные свойства, накапливая влагу. Поэтому необходимо через некоторое время проводить его регенерацию (восстановление) путем пропускания через него в течение 3—4 часов нагретого в подогревателе воздуха до температуры (300 ÷ 400°C).

Так продолжительность работы адсорбера при температуре поступающего в него сжатого воздуха до +35°C должна быть не более 30 часов. При температуре воздуха перед адсорбером от +35°C до +55°C продолжительность работы адсорбера сокращается до 15 часов.

Регенерация производится давлением воздуха 10 ÷ 20 · 10⁵ Па.

Окончание регенерации поглотителя определяется по температуре воздуха, выходящего из осушаемого баллона. Когда эта температура достигнет 80°C зимой и 110 ÷ 120°C в остальное время года, регенерация считается законченной, баллон подготовлен к осушке воздуха, выдаваемого станцией.

Для поглощения влаги из воздуха адсорбентами создаются блоки осушки (рис. 9). Они строятся по типовым схемам. Блок осушки состоит из двух адсорберов, подогревателя воздуха, щита приборов, арматуры и трубопроводов.

2.1.4. Арматура.

Контрольно-измерительная аппаратура

Рассмотрим арматуру и контрольно-измерительную аппаратуру, входящие в состав вспомогательного оборудования (рис. 3).

Важнейшим элементом арматуры являются предохранительные клапаны. Они предназначены для предохранения компрессорной установки от чрезмерного повышения давления. Предохранительные клапаны устанавливаются после каждой ступени компрессора на трубопроводах системы регенерации.

Контрольно-измерительная аппаратура предназначена для обеспечения правильной эксплуатации компрессорной установки. Ма-

нометры устанавливаются после каждой ступени компрессора в системах охлаждения, системах смазки компрессоров, в системах регенерации.

Обязательному контролю подлежит температура воздуха, замеряемая перед входом в блок осушки. По температуре выходящего из осушителя воздуха определяют окончание регенерации.

Температура охлаждающей жидкости измеряется в коллекторе и на выходе из рубашек цилиндров и всех охладителей.

В крупных компрессорных установках показания контролируемых параметров передаются дистанционно от датчиков на центральный щит, на котором расположены органы управления и контроля.

На щит приборов также поступает информация о работе приводных электрических и дизельных двигателей — величины таких параметров, как потребляемая мощность, частота вращения вала, давление в системе смазки и температура охлаждающей жидкости, сила тока зарядки аккумуляторов, показания уровня топлива и т.д.

2.2. Основные типы компрессорных установок

Осевой компрессор

По конструкции осевой компрессор подобен конструкции газовой турбины.

Но у газовой турбины поток газа вращает турбину, а у осевого компрессора вращающийся ротор (турбина) превращает энергию вращения в энергию сжатого газа (рис. 10).

Осевой компрессор состоит из нескольких ступеней давления. Каждая ступень состоит из вращающегося венца рабочих лопастей и неподвижного венца направляющих лопастей, представляющих собой круговые плоские лопастные решётки. Рабочие лопасти закреплены на массивном роторе, направляющие — жёстко посажены в корпусе компрессора.

Газ всасывается в приёмный патрубок и, двигаясь в осевом направлении, сжимается последовательно в лопастных ступенях компрессора и через напорный патрубок поступает в трубопровод, ведущий к потребителям.

Для привода осевых компрессоров используют электродвигатели, паровые и газовые турбины.

Осевые компрессоры имеют следующие *достоинства*:

- высокую производительность;
- конструкция компрессоров позволяет регулировать расход газа путем изменения частоты вращения ротора;
- конструкция компрессоров не требует дополнительного охлаждения.

К *недостаткам* осевых компрессоров относятся:

- сложность изготовления;
- малое давление нагнетания;
- повышенный износ подшипников.

Центробежный компрессор

Центробежные компрессоры предназначены для сжатия и перемещения газов и паров. Принцип их действия заключается в преобразовании механической энергии приводного двигателя в энергию сжимаемого газа.

С начала XX века центробежные компрессоры постепенно вытеснили поршневые из тех областей, где требуется сжимать большое количество воздуха или газа до сравнительно невысокого давления.

В простейшем случае центробежная машина состоит из рабочего колеса, диффузора и нагнетательной камеры, выполненной в виде спирали (улитки).

В отдельных случаях многоступенчатая машина имеет еще всасывающую камеру и обратные направляющие аппараты.

В центробежном компрессоре передача энергии газу от вала двигателя осуществляется при помощи рабочего колеса с профилированными лопатками, которое является главной частью центробежной машины (рис. 11).

Газ, поступаая в полость рабочего колеса, вращается вокруг центра вала с угловой скоростью. При этом возникают центробежные силы, под действием которых газ перемещается к периферии и выбрасывается в канал, окружающий колесо.

В результате повышается давление и возрастает скорость движения воздуха.

По числу колёс различают одноступенчатые и многоступенчатые компрессоры. При переходе из одной ступени в другую, воздух проходит через обратные направляющие аппараты. Каждая

ступень имеет степень сжатия 1,2—1,3. Для получения давления порядка $10 \cdot 10^5$ Па требуется 12 ступеней. В этом случае компрессор делится на несколько цилиндров (обычно по три колеса) с промежуточным охлаждением сжатого воздуха между ними.

Привод центробежных компрессоров через повышающий редуктор осуществляется от электрических двигателей или паровых турбин.

Центробежные компрессоры имеют следующие *достоинства*:

- высокую частоту вращения и большую подачу сжатого воздуха от одной установки;
- равномерность подачи сжатого воздуха;
- надежность и удобство в эксплуатации.

К *недостаткам* центробежных компрессоров относятся:

- относительно невысокий КПД;
- малое давление нагнетания;
- трудоёмкость изготовления.

Струйный компрессор

Струйными компрессорами называют аппараты, в которых происходит смешение и обмен энергией двух потоков разных давлений с образованием смешанного потока с промежуточным давлением.

Смешиваемые потоки находятся в газовой (паровой) фазе. Степень сжатия создаваемая газоструйными компрессорными составляет (1,2+2,5). Среда, находящаяся перед аппаратом при более высоком давлении, называется рабочей. В струйных компрессорах происходит сначала преобразование потенциальной или тепловой энергии рабочего потока в кинетическую энергию, которая частично передается эжектируемому (увлекаемому) потоку.

При протекании по струйному компрессору происходит выравнивание скоростей смешиваемых потоков и обратное преобразование кинетической энергии смешиваемого потока в потенциальную или тепловую энергию.

На рис. 12,а представлена принципиальная схема струйного компрессора с цилиндрической камерой смешения. Под ней (рис. 12,б) показано изменение статических давлений.

Рабочий газ с давлением P_p и со скоростью v_p подводится к рабочему соплу. Последнее имеет форму сопла Лавалья с расширяю-

щейся выходной частью. Давление газа в сопле снижается от P_p до $P_{p1} = P_n$, а скорость увеличивается от v_p до v_{p1} .

Рабочий газ, выходящий из сопла в приёмную камеру (В) со скоростью v_{p1} , подсасывает из приёмной камеры газ, который поступает в приёмную камеру с давлением P_n .

По мере удаления от сопла массовый расход движущего потока непрерывно возрастает за счет присоединения массы эжектируемой среды, а поперечное сечение движущегося потока непрерывно растёт.

На некотором расстоянии от выходного сечения сопла поток, движущийся по направлению к камере смешения (С), заполняет всё сечение приёмной камеры. Массовый расход движущегося потока достигает в этом сечении $f_{\text{ч}}$ величины $G_p + G_n$, где G_p — расход рабочего газа, кг/с; G_n — расход эжектируемого газа, кг/с.

Сечение, занимаемое потоком, при дальнейшем движении определяется профилем проточной части.

Сечение $f_{\text{ч}}$ является конечным сечением приёмной камеры и началом сечения камеры смешения.

Во входном сечении 2—2 цилиндрического участка камеры смешения давление потока равно P_2 . В камере смешения давление потока увеличивается и на выходе из камеры равно P_3 .

На выходе из диффузора (Д) давление потока достигнет некоторой величины P_C . Из диффузора газ поступает в напорный трубопровод.

Струйные компрессоры нашли применение в промышленной теплотехнике, вентиляционных установках, холодильной технике и т.д.

Струйные компрессоры имеют следующие *достоинства*:

- простоту конструкции;
- небольшую массу и габариты;
- отсутствие масла в сжатом воздухе;
- надежность и удобство в эксплуатации.

К недостаткам струйных компрессоров относятся:

- относительно невысокий КПД;
- малое давление нагнетания.

Роторный компрессор

Компрессоры с вращательным движением поршня называются *роторными*. Этот класс машин весьма обширен и включает разнообразные по конструкции и назначению компрессоры с одним, двумя или тремя роторами. Из роторных компрессоров наиболее широкое распространение получили следующие виды:

- пластинчатые одновальные (рис. 13);
- с качающимся ротором одновальные;
- двухлопастные, трёхлопастные двухвальные (рис. 14);
- со звездообразными роторами типа Егер (Jaeger) (рис. 15);
- винтовые двухвальные или трехвальные (типа Лисхольм).

На примере пластинчатого роторного компрессора рассмотрим устройство, работу, достоинства и недостатки роторных машин (рис. 13). В пластинчатом эксцентрично установленном роторе имеются пластины, которые под действием центробежных сил при вращении ротора своими внешними краями скользят по внутреннему диаметру цилиндра. При этом пластины образуют замкнутые пространства, переносящие газ из полости всасывания в полость нагнетания, происходит сжатие газа.

Такие компрессоры могут быть использованы в качестве вакуум-насосов.

Достоинства роторных пластинчатых компрессоров:

- хорошая уравновешенность при сравнительно больших оборотах;
- небольшая масса и габариты;
- отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов;
- высокая производительность;
- несложное регулирование и простота конструкции.

К недостаткам таких компрессоров относятся:

- интенсивный нагрев и необходимость постоянного охлаждения;
- повышенный износ деталей и высокая температура газа;
- относительно невысокий КПД;
- трудность уплотнения при повышенном давлении;
- высокая точность обработки и сборки и т.д.

Поршневой компрессор

В процессе эксплуатации наземного технологического оборудования наибольшее распространение получили поршневые компрессоры, которые обеспечивают получение газа высокого давления.

Поршневые компрессоры классифицируются по следующим признакам.

1. По способу действия: одностороннее и двойное (рис. 16).

2. По расположению цилиндров (рис. 17):

- горизонтальные;
- вертикальные;
- угловые (V-образные, W-образные и звездообразные).

3. По создаваемому давлению:

- низкое давление $(3 \div 25) \cdot 10^5$ Па;
- среднее давление $(25 \div 60) \cdot 10^5$ Па;
- высокое давление $(60 \div 350) \cdot 10^5$ Па;
- сверхвысокое давление свыше $350 \cdot 10^5$ Па.

4. По подаче:

- малые до $3 \text{ м}^3/\text{мин}$;
- средние $(3 \div 50) \text{ м}^3/\text{мин}$;
- крупные $(150 \div 500) \text{ м}^3/\text{мин}$.

5. По числу ступеней сжатия:

- одноступенчатые;
- двухступенчатые;
- многоступенчатые.

6. По количеству цилиндров:

- одноцилиндровые;
- многоцилиндровые.

7. По конструктивному выполнению:

- однорядные и многорядные;
- крейцкопфные и безкрейцкопфные;
- с дисковым и дифференциальным поршнем и т.д.

8. По частоте вращения вала компрессора:

- тихоходные, до 300 об/мин ;
- средней быстроходности, до 750 об/мин ;

– быстроходные, свыше 750 об/мин.

9. По роду сжимаемого газа:

– воздушные;

– газовые.

Подача компрессора определяется количеством нагнетаемого воздуха в единицу времени.

Подача поршневого компрессора зависит от диаметра и хода поршня, частоты вращения вала и вида компрессора (одностороннего или двойного действия).

$V = F \cdot s \cdot n \cdot i$ — теоретическая производительность компрессора одностороннего действия, где F — площадь поршня, м^2 ; s — длина хода, м; n — число цилиндров первой ступени; i — частота вращения вала.

Действительное количество всасываемого компрессором воздуха меньше теоретически возможного в силу наличия “мертвого” пространства, сопротивления клапанов и неплотности поршневых уплотнений.

Для компрессоров одностороннего действия

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot s \cdot n \cdot i \cdot \lambda,$$

где λ — коэффициент подачи компрессора

$$\lambda = \frac{V_B}{V_P} = 0,7 \div 0,95.$$

В компрессоре двухстороннего действия обе стороны поршня являются рабочими, но площадь одной из сторон меньше площади другой на сечение штока и поэтому:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (3D^2 - d^2) \cdot s \cdot n \cdot i \cdot \lambda.$$

Многоступенчатые компрессоры выполняются в двух основных вариантах:

1) с дифференциальными поршнями и несколькими ступенями сжатия в одном цилиндре;

2) со ступенями сжатия в отдельных цилиндрах.

Рассмотрим некоторые схемы компрессоров с дифференциальными поршнями и несколькими ступенями сжатия в одном ци-

линдре. На рис. 18 дана схема двухступенчатого компрессора с дифференциальным поршнем двухстороннего действия.

В компрессоре этого типа ступени сжатия расположены по обе стороны дифференциального поршня.

При движении поршня вправо происходит всасывание в первую ступень, сжатие и выталкивание газа в напорную магистраль во второй ступени. Когда поршень начинает двигаться влево, в первой ступени происходит сжатие, а во второй ступени — расширение газа.

Схема трехступенчатого компрессора с дифференциальным поршнем представлена на рис. 19.

Для получения сжатого воздуха высокого давления применяются многоступенчатые компрессоры с дифференциальным поршнем.

В многоступенчатых компрессорах, используя принцип создания ступеней при помощи поршня переменного диаметра, можно сконструировать компрессор с большим количеством ступеней. Так, например, на рис. 20 изображена схема шестиступенчатого компрессора.

При изучении газового оборудования основное внимание будет уделено многоступенчатым компрессорам со ступенями сжатия в отдельных цилиндрах. Поэтому устройство и принцип действия таких компрессоров рассмотрим подробнее.

2.3. Принцип работы поршневого компрессора

Принцип действия поршневого компрессора заключается в том, что путем уменьшения объема замкнутого пространства при движении поршня в цилиндре производится сближение молекул газа.

Рассмотрим работу одноступенчатого компрессора и изобразим графически зависимость между давлением в цилиндре и ходом поршня или объемом цилиндра.

Такая зависимость называется индикаторной диаграммой.

При движении поршня 3 (рис. 21,а) в цилиндре 4 от крайнего левого положения, называемого верхней мертвой точкой (ВМТ), к крайнему правому положению — нижней мертвой точке (НМТ), через автоматический впускной клапан 1 наружный воздух засасывается из атмосферы при давлении P_h и заполняет рабочий объем цилиндра V .

Этот процесс на диаграмме изображается изобарой $a—b$.

При движении поршня в обратном направлении впускной клапан автоматически закрывается и происходит сжатие газа по кривой $b—c$ до давления P_2 , которое равно давлению газа в ёмкости в которую он нагнетается.

После этого в цилиндре компрессора автоматически открывается нагнетательный клапан 2 и газ объёмом V_2 при постоянном давлении поршнем выталкивается из цилиндра в ёмкость.

Этому процессу соответствует изобара $c—d$.

При перемене направления движения поршня открывается снова впускной клапан и давление резко уменьшается от P_2 до P_h .

Уменьшение давления теоретически происходит при постоянном объёме и изображается изохорой $d—a$.

В дальнейшем всё повторяется.

Таким образом, работа поршневого компрессора происходит за два хода поршня или один оборот коленчатого вала.

При одном и том же конечном давлении P_2 конечный объём V_2 будет различен в зависимости от характера кривой сжатия $b—c$. При отсутствии теплообмена линия сжатия будет адиабатной, описываемой уравнением $PV^k = \text{const}$.

Сжатие при постоянной температуре $T = \text{const}$, будет происходить по изотерме $PV = \text{const}$ (рис. 21,б).

Из рисунка видно, что работа, затрачиваемая на сжатие по изотерме, меньше на величину заштрихованной площади.

Поэтому целесообразно было бы вести процесс изотермически. Но такое сжатие осуществить трудно, и поэтому на практике процесс сжатия идет по политропе $PV^n = \text{const}$, где показатель политропы отвечает неравенству $1 < n < k$. При политропном сжатии газа работа компрессора за один рабочий цикл, измеряемая площадью диаграммы, может быть определена по формуле:

$$A = \frac{n}{n-1} P_1 V_n \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (1)$$

Формула (1) не учитывает влияния ряда факторов, которые возникают в действительном процессе.

Процесс работы реального компрессора отличается от теоретического вследствие наличия вредного пространства, влияния рабо-

ты клапанов, колебания давления во впускной системе, утечек газа и наличия теплообмена между стенками цилиндра и газом.

Этот процесс может быть записан с помощью индикатора в виде индикаторной диаграммы (рис. 22).

Ввиду наличия в реальном компрессоре вредного пространства (объем, оставшийся в цилиндре при расположении поршня в ВМТ), всасывание (см. рис. 22) рабочего тела начинается в точке 4. В начале открытия клапана, вследствие его инертности и дросселирования газа, наблюдается местный спад давления до точки M_1 . Из-за сопротивления впускной системы давление во время всасывания получается ниже прямой всасывания 4—1. При нагнетании (на диаграмме от точки 1 до точки 2) происходит политропическое сжатие рабочего тела с переменными показателями политропы, зависящими от характера теплообмена.

В момент начала подъёма нагнетательного клапана вследствие его инертности и переменного сопротивления выходу газа наблюдается местный подъём давления до точки M_2 , а кривая нагнетания 2—3 из-за сопротивления выпускной системы расположена выше прямой P_h давления среды, куда производится нагнетание газа.

От точки 3 до точки 4 происходит расширение рабочего тела, находящегося во вредном пространстве. В точке 4 индикаторная диаграмма замыкается.

Одноступенчатые компрессоры применяются для сжатия воздуха до давления $(6 \div 8) \cdot 10^5$ Па.

Получение высоких давлений газа в одноступенчатых компрессорах приводит к высокому их нагреву. Температура газа при нагревании определяется выражением:

$$T = T_{\text{вс}} \left(\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{вс}}} \right)^{\frac{n-1}{n}},$$

где $P_{\text{н}}$ — давление нагнетания; $P_{\text{вс}}$ — давление всасывания.

Ввиду высокого нагрева компрессора возможно воспламенение масляного нагара, падение работоспособности поршневых колец, клапанов. Увеличение отношений $\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{вс}}}$ в одноступенчатом компрессоре сопровождается падением коэффициента наполнения, что ведет за собой уменьшение производительности. При определен-

ной степени повышения давления $\varepsilon = \frac{P_n}{P_{вс}}$, наступает момент, когда газ, находящийся во вредном пространстве, при расширении до давления $P_{вс}$ займёт весь объём цилиндра. В этом случае всасывания не будет и вся работа будет затрачиваться на сжатие газа во вредном пространстве.

Для снижения температуры в конце сжатия и получения газа с высоким давлением в компрессорах применяется многоступенчатое сжатие (рис. 23).

Процесс многоступенчатого сжатия состоит в последовательном сжатии газа в отдельных ступенях компрессора. При переходе из одного цилиндра в другой газ подвергается охлаждению в специальных холодильниках.

После сжатия в цилиндре 1 ступени (см. рис. 23,а) до некоторого промежуточного давления газ охлаждается в холодильнике 2 и направляется в цилиндр 3 второй ступени, имеющей меньший объём. Здесь газ сжимается до более высокого давления и вновь подвергается охлаждению в последующем холодильнике 4.

Количество холодильников обычно равно числу ступеней компрессора.

Охлаждение в промежуточных холодильниках производится до температуры, близкой к температуре газа на входе в ступень I компрессора.

Общая диаграмма теоретического рабочего процесса для трехступенчатого компрессора приведена на (рис. 23,б).

Газ, находящийся в цилиндре ступени I, при давлении $!!!$ сжимается по политропе $1'—2$ и нагнетается при давлении в холодильник, где его температура снижается до температуры всасываемого воздуха. Затем сжатие газа с промежуточным охлаждением производится в ступенях II и III компрессора. Площадь $11'22'33'44'$ изображает в масштабе работу, затраченную на сжатие газа до давления P_n .

Эта работа значительно меньше затрачиваемой при одноступенчатом политропном сжатии и изображаемой на диаграмме площадью $11'54'$, но несколько больше работы, изображаемой площадью $11'64'$, которая была бы затрачена при изотермическом сжатии.

Из диаграммы видно, что увеличение числа ступеней и применение промежуточных холодильников обеспечивает приближение работы компрессора при изотермическом сжатии.

При конструировании компрессоров существуют определённые рекомендации по выбору количества ступеней по назначенному давлению:

ступень I — до $7 \cdot 10^5$ Па;

ступень II — $(6 \div 30) \cdot 10^5$ Па;

ступень III — $(13 \div 150) \cdot 10^5$ Па;

ступень IV — $(35 \div 400) \cdot 10^5$ Па;

ступень V — $(150 \div 1000) \cdot 10^5$ Па;

ступень VI — $(200 \div 100) \cdot 10^5$ Па.

Выбор наиболее выгодного числа ступеней диктуется стремлением к минимальному расходу энергии на его производство. Стоимость компрессора уменьшается с уменьшением числа ступеней. С увеличением количества ступеней процесс сжатия газа приближается к изотермическому, но при этом конструкция компрессора становится громоздкой, сложной и дорогой.

2.4. Сведения по эксплуатации компрессорных машин

Техническое обслуживание компрессорных станций.

В учебном пособии будет рассмотрено техническое обслуживание поршневых компрессорных станций, эксплуатируемых на изучаемом комплексе.

На компрессорных станциях проводятся:

- а) ежедневное техническое обслуживание;
- б) обслуживание № 1;
- в) обслуживание № 2;
- г) обслуживание № 3;
- д) сезонное техническое обслуживание.

При ежедневном техническом обслуживании проверяется:

- уровень топлива в топливном баке;
- уровень масла в компрессоре и дизеле;
- уровень охлаждающей жидкости;
- отсутствие подтеканий топлива, масла, воды;

- исправность всех узлов станции и контрольных приборов осмотром.

Обслуживания № 1, № 2, № 3 проводятся через определённое количество часов работы станции. При этом необходимо:

- проверить крепление двигателя, компрессора, остальных узлов станции;
- проверить все шланговые соединения;
- слить отстой из топливного бака;
- проверить регулировку предохранительных клапанов;
- промыть водомаслоотделители и холодильники;
- произвести досыпку силикагеля в осушители и т.д.

Полная замена адсорбера в осушителях производится через 1000 часов работы.

При сезонном техническом обслуживании необходимо:

- слить топливо из бака, снять бак и промыть его, и, установив его на место, залить снова;
- сменить масло в компрессоре и двигателе;
- при переходе на зимнюю эксплуатацию добиться полного устранения утечек из систем охлаждения. Заполнить систему незамерзающей жидкостью.

При переходе на летнюю эксплуатацию необходимо промыть систему охлаждения не менее чем тремя объёмами воды.

В период эксплуатации рекомендуется заливать чистую мягкую воду (речную или дождевую). Жёсткая вода смягчается добавкой тринатрийфосфата из расчета 2 грамма на 1 литр воды.

2.5. Меры безопасности при работе компрессорных установок

Основные меры безопасности при работе компрессорных установок также рассмотрим на основе эксплуатации штатных компрессорных станций.

Компрессорные станции, применяемые на изучаемом комплексе, относятся к агрегатам повышенной опасности. К работе на компрессорных установках допускаются лица, прошедшие специальную подготовку, сдавшие зачёт и имеющие удостоверение на право самостоятельной работы.

Основными причинами аварий на компрессорных станциях являются чрезмерное повышение давления или температуры сжимаемого газа. Следствием повышения температуры может являться

воспламенение масляного нагара и потеря работоспособности цилиндров и клапанов. Поэтому категорически запрещается работать на компрессорных станциях с неисправными предохранительными клапанами и при отсутствии охлаждающей жидкости в системах охлаждения.

Давление в системе смазки компрессора должно быть в пределах, установленных “Инструкцией по эксплуатации” на данный агрегат. Компрессорная станция относится к объектам Ростехнадзора. Ёмкости, баллоны высокого давления, измерительные приборы должны быть проверены инспекцией Ростехнадзора в установленном порядке.

Запрещается работа компрессоров на маслах, не рекомендованных “Инструкцией по эксплуатации” на данную компрессорную станцию во избежание взрыва в нагнетательных трубопроводах станции.

Во избежание взрыва в цилиндрах компрессора не допускается забор воздуха, в котором имеются пары бензина, ацетилена и других горючих газов.

Во время работы компрессорных станций запрещается:

- резко открывать вентили во избежание динамических нагрузок на запорно-раздаточную арматуру;
- производить дозаправку водой, маслом, топливом;
- подтягивать резьбовые соединения воздушных коммуникаций, находящихся под давлением;
- эксплуатировать шланги с истёкшими гарантийными сроками;
- использовать ёмкости, рассчитанные на меньшее давление, чем указано на группе раздачи.

3. УНИФИЦИРОВАННАЯ КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ УКС-400В-131

3.1. Назначение и общая характеристика станции

Передвижная унифицированная компрессорная станция УКС-400В-131 предназначена для получения в полевых условиях сжатого воздуха, очищенного от механических примесей, масла и влаги, а также для наполнения баллонов и других ёмкостей и систем сжатым воздухом до давления $(150, 230, 350 \text{ и } 400) \cdot 10^5$ Па.

Станция состоит из компрессора ВШ-2,3/400 с приводом от двигателя ЯМЗ-236, смонтированных на шасси автомобиля ЗИЛ-131 и вспомогательного оборудования, необходимого для обеспечения её нормальной работы.

Компрессорная станция рассчитана на нормальную работу на открытом воздухе при любой погоде (снег, дождь, и т.п.) и скорости ветра до 25 м/с, при температурах окружающего воздуха от -50°C до $+50^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 98%, на высоте над уровнем моря до 3000 м.

Основные технические данные

Производительность по условиям всасывания, м ³ /ч:	
– при работе без регенерации	140±5
– при работе с регенерацией	115±6
Давление сжатого воздуха на выдаче, МПа	15, 23, 35, 40
Влажность выдаваемого воздуха по точке росы	
при $P = 15,0$ МПа не выше	-60°C
Тонкость фильтрации выдаваемого воздуха, мк	не более 10

Габариты станции, м:	
– длина	6,9
– ширина	2,39
Вес станции в походном положении, кг	не более 10250
Вместимость водяной системы охлаждения двигателя, включая радиатор и подогреватель, л.	
	42
Вместимость масляных систем, л:	
– компрессора	22
– воздушного фильтра компрессора	1,6
– двигателя, включая радиатор	28
Вместимость топливного бака, л:	150
Часовой расход топлива, л/ч	не более 15
Тип привода компрессора	ЯМЗ-236 или ЯМЗ-236М
Тип предпускового подогревателя	ПЖД-44Б
Тип компрессора	ВШ-2,3/400
Давление по ступеням, МПа:	
– первая ступень	0,24 ÷ 0,27
– вторая ступень	0,95 ÷ 1,15
– третья ступень	3,0 ÷ 4,0
– четвертая ступень	12,0 ÷ 13,5
– пятая ступень	40
Мощность, потребляемая компрессором, кВт	55,2
Давление масла в системе компрессора, МПа	0,18—0,5
Тип осушки	адсорбционный
Число осушителей, шт	2
Вместимость одного осушителя, л:	18,5
Количество адсорбента в одном осушителе, л:	
цеолита	4
силикагеля	остальное

Продолжительность работы на одном осушителе, ч:	
– при температуре воздуха, идущего на осушку, до +35°С	25
– при температуре воздуха, идущего на осушку, свыше +35°С	15
Продолжительность регенерации, ч	5
Давление воздуха, подаваемого на регенерацию адсорбента, МПа	1,0 ÷ 1,2
Напряжение в сети, В	24

3.2. Состав станции, её устройство и работа

Общий вид унифицированной компрессорной станции представлен на рис. 24 и 25.

Станция включает пятиступенчатый компрессор 7, смонтированный на шасси автомобиля ЗИД-131.

В качестве его привода 5 служит двигатель ЯМЗ-236.

Двигатель и компрессор соединены карданным валом через фрикционную муфту сцепления.

Станция включает систему охладений сжимаемого воздуха с межступенчатым блоком холодильников 13, систему очистки и осушки воздуха, систему управления и контроля, а также систему электрооборудования. Элементы компрессорной станции соединены между собой трубопроводами.

Кузов автомобиля ЗИЛ-131 представляет собой сварную металлическую конструкцию, предназначенную для размещения оборудования станции. Он имеет два боковых откидных борта, обеспечивающих удобное техническое обслуживание станции. С внешней стороны в бортах вмонтированы трубчатые кассеты, предназначенные для хранения и транспортировки раздаточных шлангов. В задней части кузова имеется откидной борт, который в открытом положении служит площадкой обслуживания. Для предохранения от воздействия атмосферных осадков кузов 9 станции закрывается брезентовым покрытием или алюминиевой обшивкой на металлическом каркасе.

В передней части за кабиной автомобиля установлено запасное колесо 14 с механизмом его подъема. Под пультом управления 10 размещён ящик с ЗИП 20. Глушитель 19 двигателя одновременно является подогревателем воздуха, идущего на регенерацию адсорбента блока осушки 6. Запуск двигателя ЯМЗ-236 осуществляется от аккумуляторных батарей 18.

Работа станции проводится по схеме, приведенной на (рис. 6).

Под действием разряжения, создаваемого в цилиндре ступени I компрессора во время движения поршня от верхней мертвой точки (ВМТ), атмосферный воздух через воздушный фильтр 1 поступает в цилиндр 2 и заполняет надпоршневое пространство. Проходя через фильтр 1, воздух очищается от основной массы пыли. При последующем перемещении поршня от нижней мертвой точки (НМТ) к ВМТ воздух в надпоршневом пространстве сжимается. Во время сжатия воздух нагревается и к нему примешивается смазочное масло, находящееся в цилиндре в виде мельчайших капелек. Из ступени I компрессора воздух поступает в холодильник 3 и далее в водомаслоотделитель 4 ступени I. В холодильнике влага конденсируется, в водомаслоотделителе капельная влага отделяется от воздуха. Очищенный и охлажденный воздух поступает последовательно в ступень II с её холодильником и водомаслоотделителем, затем в ступени III, IV, V.

Для контроля за давлением каждая ступень компрессора снабжена манометром и предохранительным клапаном.

Давления срабатывания предохранительных клапанов не более:

I ступень — $3,5 \cdot 10^5$ Па;

II ступень — $13 \cdot 10^5$ Па;

III ступень — $46 \cdot 10^5$ Па;

IV ступень — $148 \cdot 10^5$ Па;

V ступень — $440 \cdot 10^5$ Па.

Водомаслоотделители всех ступеней снабжены продувочными вентилями 9, размещенными на колонке раздачи. Производить продувку водомаслоотделителей необходимо через каждые 50 мин работы станции. Время продувки составляет 20—30 с при полностью открытых вентилях.

Из водоотделителя ступени V сжатый воздух поступает в один из осушителей блока осушки 5, где пары влаги удаляются из воз-

духа адсорбентами. После осушки воздух поступает в концевой керамический фильтр высокого давления 6, где очищается от частиц адсорбента и направляется на раздачу. После 25 часов работы станции также необходимо проводить продувку концевого фильтра. Продувка производится трехкратным плавным приоткрытием и закрытием вентиля. Полностью открывать вентиль продувки не рекомендуется во избежание потери сжатого воздуха.

При давлении в воздушной сети не менее $140\text{—}150 \cdot 10^5$ Па воздух проходит через клапан постоянного давления 8. После концевого фильтра 6 через дроссельный вентиль 7 часть воздуха может отбираться на регенерацию адсорбентов.

3.2.1. Двигатель ЯМЗ-236

В качестве силового агрегата на станции применен двигатель ЯМЗ-236. Передача крутящего момента от вала двигателя на вал компрессора осуществляется через муфту сцепления с карданным валом 1 (рис. 27).

На двигателе ЯМЗ-236 дополнительно устанавливаются:

- останов двигателя 2;
- лапы 3 для крепления двигателя к раме;
- рычаг 4 изменения числа оборотов двигателя;
- штуцер 5 датчика тахометра, измеряющего температуру охлаждающей воды;
- датчик тахометра 6 с приводом для дистанционного измерения числа оборотов двигателя;
- кран воздухопускной 7.

3.2.2. Муфта сцепления с карданным валом

Муфта сцепления с карданным валом (рис. 28) предназначена для передачи крутящего момента от вала двигателя на вал компрессора.

Карданный вал 2 соединен с первичным валом 7 болтами 4 через переходник 6, а с маховиком 3 компрессора — непосредственно болтами 4. Карданный вал 2 закрыт кожухом 5, в котором имеется лючок для подхода к маслёнкам при обслуживании.

3.2.3. Система управления двигателем

Система управления двигателем (рис. 29) состоит из следующих сборочных единиц:

- узла выключения муфты сцепления, состоящего из рычага 2, вала вилки включения сцепления с роликом 5, рычага 3 и клина 4;
- узла управления подачи топлива (изменения числа оборотов), состоящего из регулятора мощности 9, связанного тросом 11 с рычагом 15, управления всережимным регулятором двигателя.

Прекращение работы двигателя (полное прекращение подачи топлива) осуществляется с помощью троса 10 от ручки останова двигателя, воздействующего на скобу 14 всережимного регулятора. Для останова двигателя ручку на щите управления необходимо вытянуть “на себя” (от щита).

Кроме ручного останова двигателя, на станции предусмотрено устройство аварийного останова (при повышении давления воздуха на пятой ступени компрессора выше допустимого), состоящего из корпуса останова 16, внутри которого находится подвижный поршень, связанный со скобой всережимного регулятора.

При срабатывании предохранительного клапана 7 часть воздуха от него отводится по трубе 6 к пневмоцилиндру, воздействуя на поршень, который в свою очередь воздействует на скобу всережимного регулятора.

3.2.4. Регулятор мощности

Регулятор мощности (рис. 30) предназначен для плавного регулирования числа оборотов вала двигателя и представляет собой червячную передачу. Он состоит из корпуса 1 регулятора, внутри которого расположен червяк в сборе 6, находящийся в зацеплении с косозубой шестерней 3. Шестерня 3 и рычаг 2 установлены на оси 10. Шестерня зафиксирована от проворачивания шпонкой 11, а рычаг 2 фиксируется от перемещений при помощи клеммового соединения затяжкой болта 4, штифт 5 ограничивает перемещение рычага 2 с шестерней 3.

Для обеспечения быстрого снижения оборотов двигателя предусмотрено устройство, состоящее из пружины 7, кнопки 2 и шариков 8. При резком нажатии на кнопку 9 она продвигается вперед

до ухода цилиндрической части вглубь корпуса, шарики выкатываются из канавки корпуса, а червяк при этом работает как рейка, что обеспечивает резкое поворачивание шестерни с рычагом, к которому прикреплен трос, связанный с рычагом управления 15 (рис. 29) всережимным регулятором.

Для возвращения регулятора в исходное положение необходимо червяк в сборе 6 за маховичок потянуть на себя с одновременным поворачиванием его против часовой стрелки до появления “щелчка”, указывающего на то, что пружина 7 вернула шарики в исходное положение (в канавку корпуса). При повороте маховичка по часовой стрелке число оборотов вала двигателя увеличивается, при повороте против часовой стрелки число оборотов уменьшается.

3.2.5. Компрессор ВШ-2,3/400

Компрессор ВШ-2,3/400 служит для сжатия атмосферного воздуха до давления 40 МПа.

Он представляет собой V-образную шестирядную пятиступенчатую быстроходную машину закрытого картерного типа с углом развала цилиндров относительно вертикальной оси 60°. Цилиндры снабжены кольцевыми ребрами для улучшения теплоотдачи. На компрессоре установлен вентилятор, который приводится во вращение от коленчатого вала через шестерёнчатую передачу. Вентилятор служит для создания и направления потока воздуха, который охлаждает компрессор и холодильник. Цилиндры ступеней I и II установлены непосредственно на картере компрессора, а ступеней III, IV и V — на крейцкопфных блоках.

Картер компрессора 3 (рис. 31) служит для соединения его отдельных элементов. Им компрессор крепится к раме станции. В торцевых частях картера предусмотрены отверстия для установки коленчатого вала 4. Коленчатый вал выполнен двухкривошипным с углом смещения кривошипов на 180°. В коленчатом вале имеются отверстия для подачи смазки к головкам шатунов. Вал вращается на подшипниках. Передний подшипник выполнен плавающим, задний — зафиксирован жёстко.

Цилиндры I ступени выполнены в одном блоке 1.

Блок отлит из чугуна и снабжен для улучшения теплоотдачи кольцевыми ребрами. На верхней полости блока установлена клапанная доска 5. Сверху доски монтируется головка 6. В клапанной

доске располагаются всасывающие и нагнетательные клапаны. В блоке цилиндров установлены поршни 2 ступени I, отлитые из алюминиевого сплава. В верхней части поршня смонтированы три уплотнительных кольца, а в нижней части — два маслосъемных. Внутри поршня имеются приливы (бобышки) для установки поршневого пальца 7, соединяющего поршень 2 с шатуном 8.

Цилиндр 1 ступени II (рис. 32) отлит из чугуна и снабжен кольцевыми ребрами для улучшения теплоотдачи.

Конструктивно всасывающие и нагнетательные клапаны ступени II выполнены аналогично клапанам I ступени компрессора. На поршне ступени II установлены четыре уплотнительных кольца и два маслосъемных.

Ступень III компрессора выполнена с крейцкопфом.

Цилиндр III ступени 8 отлит из чугуна и установлен на крейцкопфном блоке 6. Цилиндр и крейцкопфный блок снабжены кольцевыми ребрами для улучшения теплоотдачи. В верхней части цилиндра предусмотрена расточка, в которую устанавливается комбинированный клапан 9. Поршень 7 ступени III самоустанавливающийся, отлит из алюминиевого сплава. На поршне установлены восемь уплотнительных колец. Поршень заканчивается фланцем, которым он устанавливается на крейцкопф.

В результате такого монтажа поршень имеет возможность перемещаться относительно крейцкопфа в радиальном направлении.

Цилиндр ступени IV (рис. 33) изготовлен из стали, он конструктивно аналогичен цилиндру ступени III.

В верхней части цилиндра выполнена расточка, в которой установлен комбинированный клапан 5. Комбинированные клапаны представляют собой устройства, у которых в одном узле совмещены всасывающий и нагнетательные клапаны.

Сверху цилиндр закрывается фланцем 6. Поршень 3 ступени IV выполнен из чугуна. На поршне устанавливается девять уплотнительных колец.

Крепление поршня на крейцкопфе аналогично креплению поршня III ступени.

В V ступени компрессора осуществляется заключительное сжатие воздуха. Цилиндр V ступени изготовлен из стали вместе с головкой. В головке предусмотрены расточки для всасывающего и нагнетательного клапанов 8. Цилиндр установлен на крейцкопфе 7. Поршень 2 выполнен в виде стержня, на котором выбран ком-

плект колец. Уплотнительные кольца чередуются с промежуточными.

Система смазки компрессора комбинированная: под давлением и разбрызгиванием. Смазка кривошипно-шатунного механизма — циркуляционная под давлением от шестеренчатого насоса 2 (рис. 34), который приводится в движение от коленчатого вала. Масло поступает в насос через сетчатый заборный фильтр 1 и далее подаётся в центральный канал коленчатого вала и радиальные отверстия в шатунных шейках к нижним головкам шатунов.

Через сверление и трубку на шатуне часть масла из нижней головки шатуна поступает на смазку втулки верхней головки и поршневого пальца. Масло, выдавливаемое из-под нижних головок шатунов под действием центробежных сил, разбрызгивается и смазывает поршни и цилиндры ступеней I и II, а также крейцкопфы.

Часть разбрызгиваемого масла проходит через срезы крейцкопфов на их верхнюю часть и под действием инерционных сил подаётся на смазку соответствующих поршней и цилиндров. В бобышках поршней и крейцкопфов в верхней части имеются отверстия, через которые масло поступает в кольцевую канавку между телом бобышки и втулкой и дальше через радиальные отверстия во втулке на смазку поршневого пальца.

На насосе смонтирован перепускной клапан 6, перепускающий масло в поддон при давлении на выходе насоса более $(5-6) \cdot 10^5$ Па.

Коренные подшипники коленвала и подшипники привода вентилятора смазываются за счет масляного тумана.

Слив масла из компрессора осуществляется через кран в поддоне.

Для смазки цилиндров, клапанов, подшипников компрессора применяют компрессорные масла: зимой К-12, летом К-19 (КС-19) или К-28 (при температуре окружающего воздуха более $+25^\circ\text{C}$).

3.2.6. Система очистки воздуха

Система очистки предназначена для удаления из воздуха механических примесей, капельной жидкости и масла. Её основными элементами являются фильтры и водомаслоотделители.

В учебном пособии в вопросе “Общее устройство компрессорных установок” рассматривались конструкция и принцип работы

воздушного фильтра масляно-инерционного типа и принципы работы водомаслоотделителей двух видов.

На унифицированной компрессорной станции используются пять водомаслоотделителей (рис. 26).

Водомаслоотделители первых четырех ступеней аналогичны по своему исполнению и отличаются только размерами и формой входных и выходных патрубков. Они устанавливаются после холодильников каждой ступени и работают на принципе отделения масляных и водяных капель за счет резкого изменения скорости и направления воздушного потока (рис. 35). Эти водомаслоотделители состоят из корпуса 2, к которому приварены верхняя 6 и нижняя 1 крышки. В верхней части корпуса сбоку вварена входная труба 5. В верхнюю крышку 6 вварена отводная труба 8. В корпус 2 вставлен отбойный конус 4. В верхней части корпуса приварен тройник 7 предназначенный для подсоединения манометра и предохранительного клапана. Штуцер 9 служит для промывки водомаслоотделителя.

Трубка 3 служит для удаления конденсата из водомаслоотделителя во время его продувки.

Воздух после холодильника входит через трубу 5 по касательной к стенке корпуса 2. Осевшие на стенке корпуса за счет центробежных сил частицы масла и влаги стекают вниз, а воздух через отводную трубу 8 направляется для дальнейшего сжатия к следующей ступени компрессора. Конденсат удаляется в атмосферу через трубку отвода конденсата 3.

Водомаслоотделитель ступени V (рис. 36) представляет собой двухгорловой баллон 2. В верхней части баллона в горловину на конической резьбе ввернут тройник. В тройнике со стороны канала подвода воздуха закреплена трубка 4. Поступающий в баллон воздух совершает круговые движения по стенке баллона и освобождается от капельной жидкости. В нижнюю горловину ввернут штуцер 1, к которому присоединена продувочная трубка.

Фильтр высокого давления (рис. 37) состоит из стального корпуса 5, в котором смонтирован металлокерамический элемент 1.

Он предназначен для очистки воздуха от пыли размельченного адсорбента. Воздух через боковые отверстия в корпусе 5 фильтра попадает в пространство между корпусом и наружной поверхностью фильтрующего элемента 1. Пройдя поры фильтрующего элемента, воздух через ниппель 3 уходит на выдачу. В нижней части

корпуса фильтра предусмотрен отвод для продувки. Через него выбрасывается пыль адсорбента, которая образуется между корпусом и фильтрующим элементом во время работы станции.

3.2.7. Система осушки воздуха

Система осушки воздуха предназначена для удаления паров воды из сжатого воздуха при пропуске его через ёмкость, заполненную адсорбентом.

Для поглощения влаги из воздуха адсорбентами создаются блоки осушки.

Блок осушки состоит из двух осушителей — адсорберов, подогревателя воздуха, щита приборов, арматуры и трубопроводов (рис. 38).

Осушка воздуха высокого давления осуществляется при пропуске его через один из осушителей.

Другой осушитель в это время может находиться на регенерации.

Предположим, что левый осушитель работает на осушку, а правый — на регенерацию (рис. 39).

Воздух высокого давления проходит через вентиль 6 осушается в адсорбере 5 и через вентиль 1 и фильтр высокого давления 14 поступает на раздачу.

Воздух для регенерации отбирается от воздушной сети после фильтра высокого давления 14, дросселируется на дросселе 2 до давления $(10 \div 12) \cdot 10^5$ Па и поступает в подогреватель 7, где нагревается до температуры $300 \div 400^\circ\text{C}$. Нагрев воздуха происходит за счет тепла выхлопных газов приводного двигателя.

Нагретый воздух проходит вентиль 12, осушитель 11 и через вентиль 8 выбрасывается в атмосферу.

Регенерация адсорбентов осуществляется в течение $4 \div 5$ часов. Она считается законченной, если термометр 10 покажет температуру воздуха, выходящего из баллона зимой $+80^\circ\text{C}$, а летом $+110 \div +120^\circ\text{C}$.

Процесс регенерации левого осушителя происходит аналогично.

Осушитель (рис. 40) представляет собой баллон 4 высокого давления ёмкостью 18,5 литра, заполненный сверху по ходу воздуха силикагелем 3 марки КСМ на 75% объёма и снизу цеолитом 2 марки ВТУ на 25%. Баллон имеет две горловины, в которые ввер-

нуты штуцеры 8 и 13 для подсоединения воздушных трубопроводов.

Для уменьшения тепловых потерь пространство между баллоном и корпусом 1 заполнено стекломатом 5, упакованным в асбестовый картон 11.

Подогревательное устройство (рис. 41) предназначено для нагрева воздуха, подаваемого на восстановление влагопоглощающих свойств адсорбента. Устройство состоит из корпуса 2, наружная обечайка которого теплоизолирована. В корпусе размещен змеевик 3, выполненный из красномедной трубы. Выхлопные газы двигателя подаются через коллектор 1, омывают трубки змеевика и нагревают проходящий в нём воздух.

Щит управления (рис. 42) содержит все органы управления и контроля за работой осушителей. На нем расположен вентиль 2 переключения осушителей.

Манометр 3 служит для контроля давления регенерирующего воздуха, а термометр 6 — для контроля его температуры. Дроссельный вентиль 7 служит для снижения давления воздуха из системы до $(10 \div 12) \cdot 10^5$ Па. На щите управления расположены инструкции, определяющие порядок работы с осушителями.

3.2.8. Система охлаждения

Компрессор имеет воздушную систему охлаждения, цилиндры его выполнены с развитым оребрением.

Блок холодильников (рис. 43) предназначен для охлаждения воздуха, сжимаемого в цилиндрах компрессора. Холодильники змеевикового типа выполнены из гладких труб. Внутри труб проходит сжатый воздух, а снаружи трубы омываются окружающим воздухом, просасываемым через блок вентилятором компрессора. Движение охлаждающего воздуха перпендикулярно движению охлаждаемого сжатого воздуха. Схема расположения холодильников в блоке представлена на рис. 44.

Холодильники всех ступеней змеевикового типа. Холодильники пятой, четвертой и третьей ступеней состоят каждый из одного змеевика.

Холодильник второй ступени состоит из двух змеевиков, соединённых параллельно.

Холодильник первой ступени состоит из двух блоков, соединённых параллельно, в каждом из которых имеется по три змеевика, соединённых параллельно.

Каждый холодильник имеет один вход и один выход, для чего на первой и второй ступенях применены специальные коллекторы, объединяющие змеевики.

Все холодильники объединены в единый блок, заключенный в специальном каркасе. Для обеспечения шахматного расположения змеевиков относительно друг друга во избежание их соприкосновения между ними установлены деревянные планки с полукруглыми вырезами по диаметру труб. Змеевики с планками скреплены специальными стяжками и закреплены в каркасе.

В системе имеется дополнительный холодильник (рис. 45). Он предназначен для получения минимального перепада температур (не более 10°C) между воздухом, идущим на раздачу, и окружающей средой. Дополнительный холодильник устанавливается в каркасе основного холодильника и включён в схему последовательно за основным холодильником пятой ступени.

Дополнительный холодильник состоит из одной секции четырехлинейного змеевика (трубы 2, 3, 4, 5) с двумя комплекторами 1, распорок 6, планок 7, 8, с помощью которых осуществляется крепление всей конструкции.

3.2.9. Система управления и контроля

Система управления и контроля компрессорной станции включает в себя контрольно-измерительные приборы и органы управления. В целях обеспечения удобства эксплуатации приборы и органы управления станцией сосредоточены на щите приборов. Щит (рис. 46) представляет собой панель 14, закрепленную на стойках 20.

С помощью стоек панель крепится к раме станции.

На щите установлены следующие приборы:

- манометры 1, 2, 3, 4, 7, 17, 19, показывающие давление по ступеням и на раздаче;
- два указателя давления 11, из которых левый показывает давление масла в системе смазки компрессора, а правый — в системе смазки двигателя;

- два термометра манометрических *9*, показывающие температуру масла компрессора (левый) и температуру воды в системе охлаждения двигателя (правый);
- лампа аварийной сигнализации *13*;
- указатель дистанционного электротахометра *12*;
- указатель уровня топлива *16*;
- счетчик моточасов *10*;
- амперметр *15*;
- дроссель *18*, предназначенный для останова двигателя;
- регулятор мощности *8*;
- четыре выключателя *6* (левый нижний — для блокировки стартера, левый верхний — для блокировки сигнализации, правый верхний — для блокировки указателя уровня топлива, правый нижний — для включения освещения станции);
- кнопка стартера *5*.

Контрольно-измерительные приборы и органы управления имеют таблички, указывающие на их назначение.

4. КРИОГЕНИКА. АЗОТ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В наши дни под криогеникой понимают те области, которые связаны с получением или использованием температур ниже 120 К. Таким образом, криогенная техника — это техника создания и применения наиболее низких температур, которые в естественных условиях Земли и околоземного пространства не наблюдаются.

Исключительно важное промышленное и научное значение криогеники, огромный интерес к её достижениям и быстро расширяющиеся сферы её применения объясняются следующим:

во-первых, все более увеличивается применение различных, так называемых промышленных, газов: кислорода, азота, метана, аргона, водорода, гелия, неона и некоторых других.

Эти газы используются как в жидком, так и в газообразном состоянии и имеют низкие температуры кипения, лежащие в области криогенных;

во-вторых, при низких температурах уменьшается электрическое сопротивление и обнаруживаются такие свойства материи, как сверхпроводимость и сверхтекучесть. Криогеника применяется в таких отраслях науки и техники, как медицина, биология, космонавтика, связь, лазерная техника и т.д.

История криогеники неразрывно связана с развитием физики и, в первую очередь, с разработкой методов получения низких температур, сжижения газов и исследованиями физических свойств веществ при низких температурах.

Вместе с тем постоянно расширялось и практическое применение криогеники.

До 60-х годов основное промышленное применение имели воздухоразделительные установки с уровнем температур до 70 К.

Начиная с 60-х годов интенсивно развивается промышленное производство водородных и гелиевых систем с уровнем температур до 4 К.

В 80-е годы практическое применение нашли гелиевые установки, работающие на уровне температур 1,8 К.

Постоянно растет потребление азота, кислорода, аргона, неона. Всё это говорит о постоянно растущем значении криогеники.

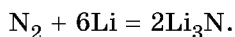
Атмосферный воздух представляет собой физическую смесь различных газов. Практически на высоте до 100 км состав атмосферы Земли без учёта влаги, углекислоты, углеводородов и случайных примесей, в среднем постоянный. Лишь на высоте 25 км увеличивается содержание озона (так называемое “озонное одеяло” Земли).

Азот, кислород, аргон, неон, криптон, ксенон — это основные продукты разделения воздуха, извлекаемые из него в промышленных масштабах методами низкотемпературной ректификации и сорбции. Помимо указанных, в воздухе содержится много других компонентов. Стандартный состав сухого воздуха приведен в табл. 2 (см. приложения). Основную массу воздуха 78% составляет азот. Над каждым квадратным метром поверхности Земли находится около восьми тонн азота, а общее количество свободного азота, находящегося над поверхностью, равно $4 \cdot 10^{15}$ тонн. Кислород составляет 21% от общего объёма воздуха.

На изучаемом комплексе наиболее широкое применение получил азот. Рассмотрим физические и химические свойства азота и принцип его получения.

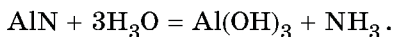
Азот, как и все другие составные части воздуха, совершенно бесцветен, не обладает ни запахом, ни вкусом и при вдохе не раздражает органы чувств. Один кубический метр азота весит 1,25 кг. При температуре $-195,8^{\circ}\text{C}$ ($77,36\text{ К}$) газообразный азот переходит в жидкость, а при дальнейшем охлаждении жидкий азот превращается в бесцветную твердую массу с температурой плавления $-209,8^{\circ}\text{C}$ ($63,2\text{ К}$), плотностью 947 г/л. Лед имеет большую плотность, чем жидкость и тонет в ней.

Газообразный азот инертен. При комнатной температуре азот вступает в реакцию с единственным элементом — литием. В результате образуется нитрид лития:



С другими химическими элементами азот вступает в реакцию только при высокой температуре, большом давлении и в присутствии катализатора. С металлами, как и в случае лития, азот даёт

нитриды, которые в воде очень неустойчивы и разлагаются на гидраты окиси металлов и аммиак:



Известны пять различных окислов азота: закись азота или весящий газ (N_2O); окись азота (NO); азотистый ангидрид (N_2O_3); двуокись азота (NO_2); и азотный ангидрид (N_2O_5).

4.1. Принцип получения азота

Впервые азот был получен из воздуха в 1774 году французским ученым А.Лавуазье. Воздух как неисчерпаемый источник промышленного азота долгое время оставался неиспользованным.

Объясняется это тем, что разделение воздуха на азот, кислород и другие газы представляло большие трудности. Основная причина заключалась в том, что азот, который занимает 4/5 объема воздуха, как правило, не вступает в соединение с другими элементами. Самым рациональным способом разделения воздуха является его сжижение с последующим испарением каждого газа в отдельности. Но получить жидкий воздух долгое время не удавалось.

Тщательно изучив условия перехода газообразных веществ в жидкость, Д.И. Менделеев нашёл, что каждый газ сжижается лишь ниже определённой температуры. Он назвал эту температуру критической, то есть такой, выше которой нельзя добиться сжижения газа даже при очень высоких давлениях. В дальнейшем выяснилось, что критическая температура для азота составляет $-146,7^\circ\text{C}$ ($126,3\text{ K}$).

Каждый газ имеет и свое критическое давление, ниже которого газ, охлажденный до своей критической температуры, не переходит в жидкость. Для азота давление это равно $33,6 \cdot 10^5$ Па.

При критических параметрах исчезают различия в физических свойствах между жидкостью и паром, находящимися в равновесии.

Критические параметры воздуха, азота и кислорода приведены в табл. 3 (см. приложения).

Для достижения низких температур в технике глубокого охлаждения используется дроссельный эффект.

Адиабатное расширение газа в открытой системе, в условиях стационарного течения без совершения внешней работы и приращения скорости на контрольной поверхности, называется *дросселированием*. Следует отметить, что стационарность течения предполагает в первую очередь постоянство давлений до и после дросселирования, а условие приращения скорости течения на контрольной поверхности не исключает возможности её местного увеличения (или уменьшения) внутри системы, например, в дроссельном устройстве. Для практического осуществления этого процесса на пути газа устанавливают какое-либо гидравлическое сопротивление: дроссельный вентиль, заслонку, комбинированное отверстие и пр.

Схема дроссельного вентиля, с помощью которого реализуют дросселирование газа приведена на рис. 47. При вращении шпинделя (чаще всего без вращения) изменяется площадь поперечного сечения щели, через которую газ перетекает из полости высокого давления в полость низкого давления. При этом изменяется расход. В дроссельном вентиле обычно реализуется внешнее адиабатическое расширение газа в условиях стационарного течения без совершения внешней работы, но с существенным изменением скорости.

Иными словами, энергия сжатого газа преобразуется в энергию струи. Такой процесс называют *истечением*.

Процесс дросселирования может быть организован также в устройстве с равномерно (или неравномерно) распределённым по пути движения газа гидравлическим сопротивлением, а также с использованием калиброванных отверстий (дюз).

Цикл дросселирования прост по своему устройству, но он мало экономичен, так как только 5% от всего пропускаемого воздуха переходит в жидкое состояние.

Известно, что дроссельный эффект растёт с ростом давления перед дросселем. Однако при давлениях свыше $200 \cdot 10^5$ Па прирост дроссельного эффекта становится незначительным.

Ученые стали искать более экономичные способы сжижения воздуха. Опыты показали, что если сжатый воздух расширить в цилиндре поршневого насоса — детандере или на лопатках вращающейся части воздушной турбины, заставляя его при этом производить работу, то воздух охладится значительно сильнее, чем при расширении в дроссельном вентиле. Внутренняя энергия при этом расходуется не только на преодоление внутренних сил сцепления

молекул при его расширении, что имеет место при дросселировании, но и на совершение работы расширения.

Использование детандеров при получении холода требует примерно в 3—4 раза меньше затрат энергии, чем при дросселировании.

Однако использовать расширение газа в детандере непосредственно для его сжижения нецелесообразно, так как появляется опасность возникновения при ходе поршня гидравлического удара в образовавшейся жидкости, способного разрушить агрегат. Поэтому обычно производится сжижение воздуха по дроссельно-детандерному циклу: предварительное охлаждение воздуха в теплообменниках, глубокое охлаждение в детандере, а затем дальнейшее охлаждение и сжижение воздуха на дросселе. Следует отметить, что для осуществления этого цикла требуется воздух высокого давления.

4.2. Разделение воздуха на составные части. Ректификация

Известны многие способы разделения смесей на составные части: кипение, дефлегмация, ректификация, адсорбция и др. В низкотемпературных установках наиболее часто применяют процессы ректификации и сорбции. Сырьем в газоразделительных установках являются различные газовые смеси, такие как воздух, природный газ, нефтяной газ и др. В газоразделительных установках совмещены холодильные и технологические процессы, то есть процессы получения низких температур, ожижение газов и разделение газовой смеси на составные части. Все низкотемпературные аппараты (установки) изолированы от притоков теплоты из окружающей среды и объединены в специальный блок, который часто называют блоком разделения.

Кроме блока разделения и компрессоров для сжатия газа в установку, в зависимости от её схемы и назначения, включают аппараты для осушки и очистки газа от примесей, теплообменные аппараты, детандеры и другое оборудование для перекачивания и сжатия продуктов разделения, а также арматуру, приборы и коммуникации.

Ректификацией называют процесс тепло- и массообмена между потоками неравновесной жидкости и пара (состоящих из одинаковых компонентов) обычно с противоточной схемой движения в

адиабатном аппарате с постоянным давлением. При этом процессы испарения и конденсации протекают одновременно.

Полное разделение бинарной смеси (воздуха) происходит вследствие того, что рассматриваемая бинарная смесь состоит из компонентов, имеющих различную температуру кипения при одинаковом давлении. Ректификация является массообменным (диффузионным) процессом, в котором можно получить низко- и высококипящие компоненты с достаточно большой степенью извлечения.

Для осуществления этого процесса необходимо организовать движение неравновесных пара и жидкости и обеспечить достаточную поверхность контакта между ними. При этом в паре, встречающемся со стекающей жидкостью, содержится больше высококипящего компонента, чем в равновесной паре.

Для осуществления процесса необходимы аппараты с поверхностью контакта между фазами. Такие аппараты называются ректификационными колоннами.

Конструкция контактного устройства может быть различной. Известны ректификационные колонны тарельчатые, насадочные, с распылителями, роторные и другие.

В низкотемпературной технике используют колонны первых двух типов. Насадочные колонны заполняют насадкой разного вида, обеспечивающей непрерывное изменение состава потоков по высоте колонны.

В другом виде колонны используют решетчатые, сетчатые, колпачковые и другие тарелки, обеспечивающие ступенчатое изменение составов потоков.

Ректификационная колонна показана на рис. 48. Колонна состоит из куба 1 с испарителем, конденсатора 3 расположенного вверху колонны, и корпуса 4, в котором размещены устройств для обеспечения контакта между фазами — тарелками 5. На каждой тарелке находится жидкость, через которую барботируют пар.

По переливным устройствам (сливным стаканам) 6 жидкость стекает на расположенную ниже тарелку. На тарелке установлены перегородки 7 (входной и сливной пороги).

В среднюю часть колонны после дроссельного вентиля подается жидкий воздух.

Жидкий воздух поступает в колонну через распылитель 8 и стекает по тарелкам вниз. Навстречу ему поднимаются пары жидкости. Кипению жидкости в кубе — испарителе ректификационной колонны — способствует то, что по змеевику идет воздух вы-

сокого давления. Давление внутри колонны таково, что низкокипящий компонент азот начинает кипеть и, превращаясь в пар, поднимается в верхнюю часть колонны.

Высококипящий компонент (кислород) при данном давлении остается в жидкой фазе, и эта жидкость, обедненная таким образом азотом, стекает вниз.

Пар и жидкость постоянно находятся в соприкосновении на ректификационных тарелках. Пары легко проходят через отверстия тарелок и слой жидкости, находящейся на тарелках. Жидкость, благодаря имеющемуся в отверстиях подпору пара, не стекает через них. Сток жидкости с одной тарелки на другую осуществляется через сливные стаканы.

Пары, двигаясь вверх, вспенивают жидкость, находящуюся на тарелках, отдают ей кислород, а сами постепенно обогащаются азотом и в виде чистого азота доходят до конденсатора.

В верхнюю часть конденсатора поступает жидкий воздух, который отбирается из куба-испарителя и дросселируется на вентиле 2. Этот жидкий воздух собирается в межтрубном пространстве конденсатора и имеет после дросселирования температуру — 185°С.

Получая тепло от паров азота жидкий воздух кипит. Полученный пар, который называется отбросным газом, имеет начальную температуру -185°С и давление $1,5 \cdot 10^5$ Па.

Попадая в трубки конденсатора, в межтрубном пространстве которого кипит отбросной газ, азот конденсируется. Часть жидкого азота идет на орошение колонны, а другая, большая часть жидкости, попадает в специальные сборники — карманы ректификационной колонны, откуда с помощью насоса подается в теплообменники.

В теплообменниках азот газифицируется, охлаждая сжатый воздух, идущий на вход в ректификационную колонну. Окончательно на выходе получают газообразный азот в качестве продукта.

5. СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ ГАЗОВ 15Г62П

5.1. Назначение и состав системы 15Г62П

Система 15Г62П состоит из агрегата производства сжатых газов и ресиверной для их хранения. В дальнейшем речь будет идти только об агрегате производства сжатых газов, который в целях упрощения часто будет называться системой 15Г62П. Система 15Г62П предназначена для получения из атмосферного воздуха газообразного азота (чистотой 96% по объему) и сухого воздуха с точкой росы — 55°С и заполнения ими ёмкостей до давления $400 \cdot 10^5$ Па.

Агрегат производства сжатых газов (рис. 49) состоит из двух азотодобывающих установок и одного блока осушки воздуха 1.

В свою очередь, в состав каждой азотодобывающей установки входят:

- воздушный компрессор 2;
- блок разделения 3 с насосом жидкого азота 4;
- агрегат детандера воздуха высокого давления 5;
- подогреватель воздуха 6.

Кроме того, для проведения анализов система 15Г62П комплектуется следующими приборами:

- анализаторами влажности 15Ш26;
- прибором газового анализа кислорода;
- прибором для анализа на ацетилен;
- газоанализатором ГХП-3М.

5.2. Технические характеристики системы 15Г62П

Основные технические характеристики системы:

- количество перерабатываемого воздуха $400 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- производительность по газообразному азоту при заполнении им стационарных ёмкостей до давления $400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ не менее 100 кг/ч ;
- время момента подачи воздуха в блок разделения до момента включения насоса жидкого азота (т.е. получение азота) не более 6 ч ;
- продолжительность рабочей компании (до замерзания блока разделения) не менее 10 суток;
- время отогрева блока разделения не более 6 ч ;
- производительность по воздуху 200 кг/ч при заполнении ёмкостей до давления $400 \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- количество баллонов для воздуха $V = 400 \text{ л}$, $P = 400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ — 13 шт.;
- количество баллонов для азота $V = 400 \text{ л}$, $P = 400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ — 12 шт.;
- при $P = 400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $t = -40^\circ\text{C}$ масса газообразного азота 2177 кг ;
- при $P = 400 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $t = -40^\circ\text{C}$ количество воздуха 2626 кг ;
- ресурс ресиверной 6000 часов в течение 7 лет;
- время заполнения баллонов газообразным азотом 22 ч до давления $400 \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- время заполнения баллонов сжатым воздухом одним компрессором 13 ч ;
- давление сжатых газов, выдаваемых потребителям: $4 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $200 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $400 \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- потребляемая мощность при установившемся режиме $200 \div 220 \text{ кВт}$;
- температура всасываемого воздуха, при которой гарантируется нормальная работа агрегата, $-40 \div +50^\circ\text{C}$.

5.3. Описание принципиальной пневмогидравлической схемы системы 15Г62П

В системе 15Г62П производится сжижение воздуха по дроссельно-детандерному циклу: предварительное охлаждение воздуха в теплообменниках, глубокое охлаждение в детандере, а затем дальнейшее охлаждение и сжижение воздуха на дросселе.

В упрощенной пневмогидравлической схеме системы 15Г62П (рис. 50) показана только одна азотодобывающая установка. Производство азота осуществляется следующим образом.

Атмосферный воздух засасывается через воздушный фильтр 7, где очищается от пыли, в первую ступень компрессора 9 и сжимается последовательно по ступеням до давления $200 \cdot 10^5$ Па.

После этого воздух поступает в теплообменник — охладитель 10, где охлаждается до температуры $10\text{—}15^\circ\text{C}$ идущим ему навстречу азот-продуктом и так называемым отбросным газом. Затем воздух поступает в адсорберы блока осушки 11.

Осушенный воздух с температурой 15°C разделяется на два потока: 68% воздуха направляется в основной теплообменник 12, а 32% — в теплообменник до детандера 13. При этом большая часть воздуха охлаждается до температуры (-146°C), а остальная часть, идущая на нагрев холодного воздуха, поступающего в детандер 8, охлаждается до температуры (-134°C).

После этого оба потока смешиваются и направляются в рекуперативный теплообменник 14. Пройдя этот теплообменник, воздух имеет температуру (-150°C), что соответствует рабочей температуре для адсорбера углекислоты и ацетилена 15 (то есть выше температуры их тройной точки).

В состав атмосферного воздуха входит ацетилен и углекислый газ, суммарная концентрация которых по объему составляет 0,03%. Углекислый газ при температуре 216,6 К ($56,4^\circ\text{C}$) и давлении $5,16 \cdot 10^5$ Па (параметры тройной точки, соответствующей равновесному сосуществованию трех фаз вещества) превращается в снегообразную массу, а при дальнейшем охлаждении — в твердое вещество. При этом он забивает трубки теплообменников и дроссельных вентилях, нарушая нормальную работу агрегата.

Количество ацетилена в 1 м^3 воздуха не должно превышать $0,25 \text{ м}^3$, то есть $25 \cdot 10^6$ %, иначе при соединении ацетилена с кислородом в блоке разделения может произойти взрыв.

В адсорбере 15 и происходит очистка воздуха от углекислого газа и ацетилена, а в керамическом воздушном фильтре 7 — от частиц адсорбента, уносимых из адсорбера.

После этого воздух разделяется на два потока. Часть его (около 29%) направляется в теплообменник до детандера 13, где нагревается до температуры +8°C, и затем поступает в детандер 8.

Другая часть (около 71%), пройдя подогреватель азота 16, следует в змеевик куба испарителя ректификационной колонны 1 и охлаждается там до температуры -168°C. После этого часть его идет в рекуперативный теплообменник 14 и вновь возвращается в змеевик. Основная же часть дросселируется на вентиле 2 до давления $6 \cdot 10^5$ Па и поступает в среднюю часть ректификационной колонны 3.

При дросселировании воздух сильно охлаждается и частично сжижается, образуя жидкость, обогащенную кислородом как менее летучим (высококипящим) компонентом. Та часть воздуха (29%), которая при давлении $200 \cdot 10^5$ Па поступала в детандер 8, расширяется в нем, в результате чего его давление падает до $6 \cdot 10^5$ Па, а температура понижается до -120°C. Далее воздух проходит через фильтр 7, в котором очищается от масла, попавшего в него в детандере, и теплообменник детандерного воздуха 18, где он охлаждается отбросным газом до температуры -169°C. После этого воздух подаётся в нижнюю часть ректификационной колонны.

В ректификационной колонне происходит разделение воздуха на азот и отбросной газ. В среднюю часть ректификационной колонны после дросселирования подаётся сжиженный воздух при давлении $6 \cdot 10^5$ Па, который стекает по тарелкам вниз. Навстречу ему поднимаются пары жидкости при том же давлении. Кипению жидкости в кубе — испарителе колонны — способствует то, что по змеевику идет воздух, имеющий температуру выше температуры кипения воздуха при давлении $6 \cdot 10^5$ Па.

Пары жидкости поднимаются вверх по колонне, барботируют через слой жидкости на тарелках, обогащаются более летучим (низкокипящим) компонентом — азотом, и поднимаются в верхнюю часть ректификационной колонны — конденсатор 5.

Конденсатор ректификационной колонны разделен на две полости и имеет 625 медных трубок, что увеличивает поверхность

его раздела. В верхнюю часть конденсатора поступает жидкий воздух, которых отбирается из куба-испарителя и дросселируется на вентиле 2 от давления $6 \cdot 10^5$ Па до $1,5 \cdot 10^5$ Па. Этот жидкий воздух собирается в межтрубном пространстве конденсатора и имеет после дросселирования температуру -185°C . Данная температура ниже температуры конденсации азота при давлении $6 \cdot 10^5$ Па (которая равна -176°C), а с другой стороны, температура поднимающегося вверх азота соответствует температуре кипения воздуха при давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па. Таким образом, жидкий воздух в верхней части конденсатора ректификационной колонны, получая тепло от паров азота, кипит.

Полученный пар, который называется отбросным газом, имеет начальную температуру -185°C и давление $1,5 \cdot 10^5$ Па, и последовательно направляется в переохладитель жидкого азота 6, теплообменник детандерного воздуха 18, основной теплообменник 12, ожигитель 10 и затем выбрасывается в атмосферу. При этом он используется в качестве охлаждающего теплоносителя.

Пары азота в верхней части конденсатора ректификационной колонны охлаждаются и конденсируются. Часть жидкого азота стекает вниз, обеспечивая обогащение поднимающихся вверх паров азотом. Другая, большая часть жидкости попадает в специальные сборники — карманы ректификационной колонны 4, откуда отбирается как продукт насосом жидкого азота 17.

Предварительно азот поступает в переохладитель жидкого азота 6, где охлаждается отбросным газом до температуры -183°C . Переохлаждение азота требуется для бескавитационной работы насоса. В насосе жидкого азота 17 его давление повышается до $400 \cdot 10^5$ Па. После этого азот поступает последовательно в подогреватель жидкого азота 16, основной теплообменник 12 и теплообменник-ожигитель 10, где происходит его газификация за счет отбора тепла от воздуха, идущего навстречу в ректификационную колонну.

В заключение следует отметить, что в работе системы 15Г62П различают два периода: пусковой, в результате которого происходит захолаживание системы, и основной, связанный с непосредственным выходом из системы газообразного азота под давлением $400 \cdot 10^5$ Па, который подаётся в ресиверную систему.

5.4. Назначение и устройство основных агрегатов системы 15Г62П

5.4.1. Воздушный компрессор

Воздушный компрессор имеет следующие технические характеристики:

- производительность $200 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- рабочее давление $200/400 \cdot 10^5 \text{ Па}$;
- скорость вращения коленчатого вала 400 об/мин ;
- потребляемая мощность 90 кВт ;
- температура всасываемого воздуха от -50°C до $+50^\circ\text{C}$;
- температура охлаждающей воды не выше $+20^\circ\text{C}$.

Компрессор представляет собой вертикальную, двухрядную, пятиступенчатую машину и состоит из следующих основных узлов (рис. 51): картера 1 со станиной 3, кривошипно-шатунного механизма, цилиндрово-поршневых групп, выносного подшипника 13 и систем смазки.

Кривошипно-шатунный механизм включает в себя коленчатый вал 12, два шатуна 4, два крейцкопфа 5. Цилиндрово-поршневые группы состоят из цилиндра 11 ступени I, цилиндра 6 ступеней II—III, цилиндра 9 ступени IV, цилиндра 8 ступени V, поршня ступеней 10 I—IV, поршня ступеней 7 II—III. Отдельно от компрессора устанавливаются межступенчатые аппараты (холодильники и влагоотделители) с трубопроводами, щит приборов с коллекторами продувок и электропривод компрессора.

В компрессоре предусмотрены две обособленные системы смазки — одна для цилиндров, другая — для смазки механизма движения. Смазка цилиндров производится многоплунжерным насосом или масляным насосом 2.

5.4.2. Блок разделения

Блок разделения служит для охлаждения и сжижения поступающего в него сжатого воздуха давлением $200 \cdot 10^5 \text{ Па}$ с последующим разделением его на азот-продукт и отбросный газ. Он представляет собой низкотемпературную часть установки глубокого

охлаждения, состоящую из теплообменной и разделительной аппаратуры, фильтров, арматуры, коммуникаций и контрольно-измерительных приборов.

Блок разделения (рис. 52) состоит из ректификационной колонны 3 оживителя 2, основного теплообменника 6, рекуперативного теплообменника 1, теплообменника до детандера 8, теплообменника детандерного воздуха 11, переохладителя жидкого азота 4, подогревателя азота 5, адсорберов 7, двух фильтров 9 после адсорбера (один на рисунке не показан), фильтра детандерного воздуха 10.

Блок разделения воздуха работает при температуре -130°C — -195°C , поэтому все его аппараты, трубопроводы и арматура изготовлены из меди, латуни и нержавеющей стали, сохраняющих пластичность, ударную вязкость и устойчивость против коррозии при низкой температуре. Все эти аппараты и трубопроводы смонтированы в кожух 12 и теплоизолированы мипорой.

Ректификационная колонна предназначена для разделения воздуха на жидкий азот и отбросной газ. Она представляет собой разделительный аппарат однократной ректификации тарельчатого типа и состоит из нижней, средней и верхней частей.

В нижней части колонны, называемой испарителем, помещены (рис. 53) два змеевика 1, по которым проходит воздух под давлением $400 \cdot 10^5$ Па. В крышку и обечайку испарителя впаены трубы для соединения её с аппаратами блока разделения, для контроля давления и уровня жидкости в колонне, для слива и отбора на анализ жидкости из испарителя.

Средняя часть колонны образована цилиндрической обечайкой 2, внутри которой размещены восемнадцать ректификационных тарелок 3. Тарелка представляет собой перфорированный латунный лист толщиной 0,8 мм с отверстиями диаметром 0,9 мм и шагом 3,25 мм. В среднюю часть колонны через распылитель 10 подаётся жидкий воздух под давлением $6 \cdot 10^5$ Па после дроссельного вентиля.

Концентрично средней части колонны расположена ёмкость 4 объёмом 30 литров для сбора жидкого азота (таким образом система позволяет получать на выходе и жидкий азот).

В верхней части колонны, называемой конденсатором, помещены 625 медных трубок 5 диаметром 8 мм и высотой 240 мм, закрепленных в двух решётках 7. Конденсатор соединяется со сред-

ней частью колонны при помощи корпуса 9, образующего вместе с отбойником жидкости 8 карман, из которого отбирается жидкий азот. В верхней части конденсатора находится специальное сепарационное устройство 6, предназначенное для отделения капель жидкости от отводимого из колонны отбросного газа.

Теплообменник-ожижитель (рис. 55) предназначен для охлаждения воздуха высокого давления до температуры $+10^{\circ}\text{C}$ перед поступлением его в блок осушки. Охлаждение производится отбросным газом, проходящим по спиральной трубке, спаянной с воздушной трубкой.

Основной теплообменник (рис. 56) предназначен для дальнейшего охлаждения до температуры -146°C воздуха, поступающего из блока осушки.

В полости теплообменника смонтированы воздушный и азотный змеевики. Отбросной газ подаётся в межтрубное пространство и отбирает тепло от воздушного змеевика, в то же время охлаждается, омывая азотный змеевик.

Рекуперативный теплообменник (рис. 57) предназначен для охлаждения воздуха, поступающего в адсорберы, до рабочей температуры -150°C . Представляет собой прямотрубный теплообменный аппарат типа “труба в трубе”. Охлаждение воздуха осуществляется холодным воздухом, поступающим после змеевика ректификационной колонны.

Теплообменник до детандера (рис. 58) служит для подогрева до температуры $+8^{\circ}\text{C}$ воздуха, поступающего из адсорбера в детандер. Представляет собой витой теплообменник типа “труба в трубе”. Нагрев осуществляется воздухом, идущим из блока осушки. Такой нагрев воздуха необходим для того, чтобы при расширении в детандере не произошло его сжижение.

Теплообменник детандерного воздуха (рис. 59) предназначен для охлаждения воздуха после детандера до состояния насыщения. Охлаждение воздуха, движущееся по навитому вокруг сердечника змеевику, осуществляется отбросным газом, поступающим в межтрубное пространство.

Переохладитель жидкого азота (рис. 60) служит для переохлаждения жидкого азота от температуры -178°C до температуры -183°C , в результате чего уменьшается парообразование жидкого азота и обеспечивается нормальная работа насоса жидкого азота.

Азот движется по змеевику, навитому вокруг сердечника, и охлаждается отбросным газом, поступающим в межтрубное пространство.

Подогреватель жидкого азота (рис. 61) предназначен для подогрева до температуры -155°C жидкого азота, поступающего после этого в основной теплообменник. Это предотвращает замерзание содержащейся в воздухе углекислоты в трубках высокого давления основного теплообменника. Представляет собой прямотрубный теплообменник типа “труба в трубе”. Азот подаётся во внутренние трубки, где нагревается и испаряется при этом.

Адсорберы блока разделения (рис. 62) предназначены для очистки воздуха от двуокиси углерода путем адсорбции. В качестве адсорбента используется силикагель марки КСМ. Кроме двуокиси углерода, силикагель задерживает ацетилен и другие углеводороды, содержащиеся в перерабатываемом воздухе. В блоке есть два адсорбера.

Адсорбер представляет собой толстостенный сосуд 3 ёмкостью 44,5 л, в днищах которого имеются штуцеры для замены силикагеля и угольники 1 и 4 подвода и отвода воздуха. Внутри баллона к угольникам крепятся сетчатые фильтры 2, предотвращающие унос частиц силикагеля с потоком воздуха. Адсорберы работают попеременно при температуре -150°C и давлением $200 \cdot 10^5$ Па.

Фильтр после адсорбера служит для очистки воздуха от частиц адсорбента, уносимых из адсорберов. Фильтрующим элементом является порошок фосфористой бронзы.

Фильтр детандерного воздуха (рис. 63) необходим для очистки воздуха от масла после детандера. Состоит из трех перфорированных стаканов, обтянутых грубошерстным сукном и перкалем. Сукно улавливает частицы масла, а перкаль — ворсинки сукна.

Фильтры жидкого азота (рис. 64) предназначены для очистки жидкого азота от инородных примесей перед подачей в насос и для фильтрации утечек жидкого азота из насоса. Фильтрующим элементом фильтра, стоящего перед насосом (рис. 64,а), является латунная сетка 3, а элементом фильтра утечек (рис. 64,б) является стакан 1 из порошка фосфористой бронзы.

5.4.3. Агрегат детандера

Агрегат детандера предназначен для получения низких температур путём расширения воздуха высокого давления с производством внешней работы. В агрегат входит сам детандер и трёхскоростной генератор электрического тока (рис. 65). Электродвигатель 3 используется в качестве нагрузки детандера.

Основные технические характеристики агрегата:

- производительность $110 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- число оборотов детандера в минуту $165/220/325 \text{ об/мин}$;
- ход поршня 130 мм ;
- мощность электродвигателя $3,5/4,5/5 \text{ кВт}$.

Детандер представляет собой поршневую, вертикальную, однокорпусную, крейцкопфную машину, в которой в результате расширения воздуха его давление падает от $200 \cdot 10^5$ до $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а температура уменьшается на 125°C . Перемещение поршня тормозится генератором через механизм движения и клиноременную передачу. В качестве генератора используют трёхскоростной асинхронный электродвигатель переменного тока, работающий в генераторном режиме.

Впускной и выпускной клапаны приводятся в движение кулачками.

Для предотвращения разноса детандера в случае нарушения правильности работы этих органов распределения или неожиданного снятия нагрузки детандер снабжен центробежным регулятором безопасности. При превышении числа оборотов свыше 370 об/мин этот регулятор отодвигает в сторону рычаг клапана впуска воздуха до полного прекращения его работы.

В агрегате имеется два предохранительных клапана: низкого и высокого давления. Предохранительный клапан низкого давления служит для предотвращения повышения давления свыше $8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в коммуникации за детандером. Предохранительный клапан высокого давления, настроенный на $230 \cdot 10^5 \text{ Па}$, предназначен для предохранения цилиндра детандера и механизма движения от чрезмерных усилий, которые могут возникнуть в головке цилиндра при заедании в закрытом положении клапана выпуска.

5.4.4. Насос жидкого азота

Насос жидкого азота отбирает азот из карманов ректификационной колонны и нагнетает его под давлением $400 \cdot 10^5$ Па в теплообменники, где азот газифицируется идущим в блок разделения воздухом. После этого теплый газ направляется в ёмкости ресиверной.

Основные технические характеристики насоса:

- производительность $0,09 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- число ходов плунжера в минуту 185;
- потребляемая мощность 4,5 кВт.

Насос представляет собой однолинейную горизонтальную машину плунжерного типа. Плунжер насоса 9 (рис. 66) приводится в движение от электродвигателя 1 через червячный редуктор-червяк 3 и червячное колесо 4, соединенные с электродвигателем пальцевой муфтой 2. Движение от кривошипного вала редуктора 5 через шатун 6 передается крейцкопфу 7, который связан с плунжером 9 посредством штока 8. В головке цилиндра 10 размещены всасывающий и нагнетательный напёрстковые самодействующие клапаны.

5.4.5. Подогреватель воздуха

Как было отмечено в технической характеристике системы 15Г62П, её рабочая кампания (производство азота) составляет 10 суток. После этого происходит замерзание блока разделения — наморозка влаги, содержащейся в окружающем воздухе, на холодных частях арматуры. При этом система выключается и в течение 6 ч осуществляется её отогрев.

Подогреватель воздуха (рис. 67) предназначен для подогрева отбросного газа при регенерации адсорберов углекислого газа и для подогрева воздуха при отогреве аппаратов блока разделения. Подогреватель состоит из цилиндрического бака для воды ёмкостью 13 л, змеевика 7, входного 2 и выходного коллекторов и вронки 5, приваренной к крышке 6.

Вода нагревается пятью трубчатыми U-образными электрическими элементами 8 типа ЭТ-60. Мощность каждого элемента 1,25 кВт, напряжение 220 В.

При включении нагревательных элементов вода закипает и нагревает проходящий по змеевику воздух до температуры 50—80°C. При регенерации адсорберов включаются только два элемента, а при отогреве блока разделения — все пять. Без наличия воды подогреватель включать запрещается.

5.4.6. Трубопроводы и арматура

Трубопроводы предназначены для соединения оборудования агрегата в единый технологический комплекс, отвода азота-продукта, обеспечения дренажа и соединения контрольно-измерительных приборов. В зависимости от назначения трубопроводов они изготавливаются из углеродистой стали (воздушные трубопроводы, трубопроводы отбросного и греющего газов, трубопровода продувки компрессора), нержавеющей стали (азотный трубопровод) и меди (трубопроводы продувки блока, разделения, трубопроводы, соединяющие контрольно-измерительные приборы и элементы автоматики).

Оборудование агрегата оснащено различными элементами трубопроводной арматуры, предназначенными для включения и выключения участков трубопроводов, приборов и аппаратов, регулирования параметров потоков и обеспечения движения их в одном направлении, взятия контрольных проб жидких газов, предохранения магистралей и сосудов и прочего.

Одним из наиболее ответственных элементов арматуры являются дроссельные вентили, предназначенные для регулирования потоков в блоке разделения. Устройство дроссельного вентиля высокого давления показано на рис. 68. Корпус вентиля 6 выполнен из латуни, а правая часть шпинделя 2 — из нержавеющей стали. Тепловые мостики 3 и 5 введены для уменьшения потерь холода теплопередачей. Шаг нарезки на шпинделе мелкий, и при вращении маховика щель между корпусом шпинделя и седлом корпуса изменяется незначительно, что позволяет плавно регулировать количество газа или жидкости. Вентиль имеет счетчик оборотов 1 маховика, позволяющий точно задавать расход газа или жидкости. Он состоит (рис. 69) из корпуса 6, шкалы 2, малой стрелки 3, большой стрелки 4, груза 1 и зубчатой передачи 5. При вращении корпуса шкала под действием груза остается неподвижной. Большая стрелка, тесно связанная с корпусом, делает полный оборот за один оборот корпуса. Малая стрелка, приводимая во вращение

от корпуса через зубчатую передачу, за один оборот корпуса перемещается на одно деление. Малая стрелка показывает число полных оборотов шпинделя вентиля, а большая стрелка показывает части оборота.

Предохранительная арматура агрегата производства сжатых газов состоит из предохранительных клапанов пружинного типа и пробивных мембран. Предохранительные клапаны установлены на влагоотделителях всех ступеней компрессора и на магистралях низкого и высокого давления блока разделения. Пробивные мембраны установлены перед электроподогревателями блоков осушки воздуха давлением $200 \cdot 10^5$ Па и на линиях отогрева теплообменника до детандера и рекуперативного теплообменника.

5.4.7. Контрольно-измерительные приборы

Контрольно-измерительные приборы, имеющиеся на агрегате, служат для визуального наблюдения за его режимом работы.

Для замера температуры в различных аппаратах и коммуникациях агрегата служат ртутные и дистанционные термометры.

Дистанционные манометрические термометры типа ТПП служат для наблюдения за температурой воды и масла при работе компрессора.

Дистанционный электрический термометр с термопарой служит для наблюдения за температурой газа, идущего на регенерацию адсорберов блоков осушки воздуха давлением $200 \cdot 10^5$ Па.

Электрические платиновые термометры сопротивления с показывающим прибором — логометром служат для наблюдения за температурой в различных аппаратах блока разделения.

Для измерения давления в аппаратах и коммуникациях агрегата служат манометры пружинного типа с одновитковой трубчатой пружиной.

Количество жидкости, находящейся в испарителе и в межтрубном пространстве конденсатора ректификационной колонны, определяется указателями уровней. Указатели уровней, соединённые с измерительными диафрагмами, предназначены для определения количества отбросного газа, поступающего на регенерацию адсорберов блока осушки, выходящего из блока разделения и поступающего на регенерацию адсорберов блока разделения.

5.4.8. Средства автоматики

Средства автоматики предназначены для выключения оборудования агрегата при нарушении его режима работы.

При повышении давления в ступени V компрессора выше установленного, электроконтактный манометр ЭКМ-2 автоматически отключает электродвигатель компрессора.

Электромембрана предназначена для отключения электроподогревателя при уменьшении потока отбросного газа, поступающего на регенерацию адсорберов блока осушки.

Терморегулятор типа ТС-300Б автоматически поддерживает температуру газа, поступающего на регенерацию блока осушки.

5.5. Меры безопасности при эксплуатации системы 15Г62П

К эксплуатации системы 15Г62П допускаются лица, изучившие материальную часть системы и правила техники безопасности при работе с оборудованием, находящимся под давлением.

При эксплуатации данной системы существуют следующие опасности:

- взрыв вследствие превышения установленного давления;
- механическое воздействие истекающей из трубопровода струи в случае нарушения герметичности;
- движущиеся части системы (маховики компрессора и детандера);
- взрыв из-за повышения концентрации ацетилена в воздухе (в блоке разделения);
- кислородное голодание вплоть до смертельного исхода при повышении концентрации азота в помещении (когда концентрация кислорода при этом становится менее 19%).

Расчёт, обслуживающий систему, должен помнить, что небрежное и неумелое обращение с оборудованием и аппаратурой, работающими под высоким давлением, связанными со специфической работой воздуходелительных аппаратов, может привести к тяжёлым авариям и несчастным случаям.

В целях обеспечения безопасной работы личного состава и сохранения оборудования запрещается:

- производить какие-либо работы по устранению дефектов на магистралях, производить замену манометров, приборов, снятие заглушек и т.п., не открыв дренажных вентилях и не проверив по манометру отсутствие давления в магистралях;
- применять для затягивания соединений трубопроводов и арматуры нестандартные ключи и пользоваться неисправным инструментом;
- по окончании работы оставлять коммуникации и устройства под давлением;
- производить работы со сжатыми газами без контроля давления манометрами;
- производить удары по баллонам и магистралям высокого давления;
- регулировать ременную передачу или другие механизмы во время их работы;
- включать в работу агрегаты и механизмы со снятым ограждением;
- подходить к работающему оборудованию в расстегнутой одежде;
- определять негерметичность коммуникаций при помощи огня или тлеющих предметов.

При обнаружении в блоке разделения ацетилена принять меры к устранению причин повышения его концентрации в воздухе.

При работе с азотом необходимо помнить, что повышенная концентрация азота в окружающем воздухе приводит к кислородному голоданию организма. С целью предупреждения несчастных случаев необходимо выполнять следующие требования:

- перед началом работы включить вентиляцию в помещении;
- каждый час брать воздух из помещения для анализа на содержание в нём кислорода, и в случае его концентрации менее 19% немедленно остановить систему.

В случае кислородного голодания пострадавшего немедленно вынести на свежий воздух и сделать ему искусственное дыхание.

6. ХРАНЕНИЕ И ВЫДАЧА СЖАТЫХ ГАЗОВ

Сжатые газы хранят в баллонах, размещаемых в специальных хранилищах — ресиверных и на подвижных заправщиках. Ресиверные размещаются в отдельных защищенных помещениях. Для хранения большого количества газа в ресиверных используются баллоны по 400 л, рассчитанные на рабочее давление до $400 \cdot 10^5$ Па. Отдельные баллоны в ресиверных объединяются в секции, которые обслуживают определенного потребителя. Баллоны в ресиверных могут располагаться вертикально, горизонтально и наклонно. Чаще они располагаются вертикально.

Для обеспечения хранения сжатых газов, технологии их приема и выдачи, соблюдения мер и правил безопасности, стационарные хранилища, (ресиверные) и подвижные заправочные средства должны быть оборудованы:

- приёмным устройством;
- арматурой;
- контрольно-измерительными приборами;
- трубопроводами.

Приёмное устройство служит для заполнения баллонов сжатыми газами.

Арматура предназначена для выполнения следующих операций:

- обеспечения защиты ресиверной от разрушения при повышении давления в системе свыше допустимого (предохранительные клапаны и мембраны);
- понижения давления сжатых газов, выдаваемых потребителю (газовые редукторы);
- выдачи сжатых газов (система запорных вентилей).

Понижение давления газа в редукторе происходит за счет дросселирования в сечении, образуемом клапаном (регулирующим органом) и его седлом. Величина понижения давления определяется размером дросселирующей щели.

В зависимости от требований, предъявляемых к точности регулирования, производительности, габариту и весу, газовые редукторы могут иметь различные принципиальные и конструктивные схемы. Они могут быть пружинными и агрегатными. Для выдачи газов с небольшим расходом применяются пружинные редукторы, которые в зависимости от направления воздействия входящего газа на регулирующий орган, бывают с клапаном прямого и обратного действия.

Регулирование давления газов при выдаче больших расходов осуществляется агрегатными редукторами. Они могут быть выполнены по схеме простого агрегатного редуктора с управляющим давлением, а также с гидравлическими и пневматическими усилителями.

В состав арматуры, используемой в системах заправки сжатых газами, входят фильтры, обратные клапаны, электропневмоклапаны.

Контрольно-измерительные приборы позволяют осуществить контроль за качеством сжатых газов и давлением в баллонах.

Для определения влажности сжатых газов перед выдачей потребителю и отбора проб в ресиверной оборудуется щит отбора проб. Для удобства обслуживания ресиверной, арматура и контрольно-измерительные приборы группируются на отдельных пневматических щитах.

Давление газов в секциях контролируется манометрами. Измерение может производиться как непосредственно, так и дистанционно. Известные давление газа, его температура и объём баллона позволяют определить массу газа в баллоне, используя уравнение состояния:

$$PV = \frac{m}{M} RT,$$

отсюда

$$m = \frac{MPV}{RT},$$

где m — масса газа в баллоне, кг; M — молярная масса газа, кг; P — давление газа, Па; V — объём баллона, м³; T — температура газа, К;

R — универсальная газовая постоянная $\left(8,3144598 (48) \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right)$.

Соединение баллонов между собой, а также элементов арматуры и приборов производится *трубопроводами*, снабжёнными соединительными устройствами, чаще всего линзового типа.

Для хранения сжатых газов, кроме стационарных ресиверных, могут использоваться также и подвижные агрегаты, смонтированные на шасси автомобилей. К примеру, на агрегате 15Г84 используется шасси автомобиля Урал-375.

Использование таких подвижных агрегатов не всегда целесообразно. Количество газа, которое можно выдать из агрегата зависит от объёма ёмкости, в которую подают газ, а также от начального и конечного давления. Наибольшее количество газа будет выдано тогда, когда в ёмкости давление газа остается все время значительно ниже, чем начальное давление в баллонах подвижного агрегата. Перетекание газа из баллонов агрегата в заправочную ёмкость прекратится, когда давление в них выровняется. Для повышения количества перевозимого газа, а также для заполнения ёмкостей до требуемых высоких давлений, в последнее время начинают использоваться подвижные агрегаты, перевозящие газ в сжиженном состоянии и газифицирующие его на месте потребления. Требуемое давление обеспечивается за счет подачи газа насосом высокого давления в горячий газификатор.

7. ПЕРЕДВИЖНОЙ ЗАПРАВЩИК СЖАТЫХ ГАЗОВ 15Г84

7.1. Назначение, состав, основные технические характеристики и устройство агрегата

Агрегат 15Г84 является передвижным заправщиком сжатых газов. Он предназначен для хранения в баллонах сжатого газа (воздуха или азота) давлением до $400 \cdot 10^5$ Па, транспортировки и выдачи его потребителям с давлением $(1 \div 250) \cdot 10^5$ Па. Оборудование агрегата смонтировано на шасси автомобиля повышенной проходимости Урал-375Е.

В состав оборудования агрегата входят (рис. 70):

- рама 21 агрегата с баллонами 1;
- кузов 2;
- пульт управления 9;
- арматура 16 и контрольно-измерительные приборы (КИП);
- специальное освещение;
- запасные части, инструмент и принадлежности.

Рама 21 агрегата установлена на шасси автомобиля и крепится кронштейнами с помощью болтов и стремянок 22. На нижние и средние траверсы 19 рамы уложены в два ряда баллоны, которые крепятся к раме агрегата болтами через верхние траверсы 3. для предотвращения продольных сдвигов баллонов в местах расположения баллонов имеются прокладки из тормозной асбестовой ленты (феррадо*), крепящиеся винтами к опорным поверхностям траверс.

* Феррадо — название фрикционного термостойкого композитного материала

К раме агрегата с помощью болтов крепится кузов 2, предохраняющий оборудование от воздействия атмосферных осадков, механических повреждений и загрязнения.

В кузове, по правому и левому бортам в люках, размещён одиночный комплект ЗИП, уложенный в ящиках, пеналах и на ложементах.

Пульт управления 9 установлен в задней части кузова. Арматура, расположенная в пульте управления, с помощью трубопроводов соединена с баллонами 1 и приёмно-выдающими штуцерами 11÷15. Штуцеры снабжены заглушками и закрываются крышкой, предохраняющей их от загрязнения.

В левом люке, закрытом крышкой 10, смонтирован электроцит.

На агрегате имеется огнетушитель ОУ-2 23, закрепленный на передней стенке кузова. Агрегат оборудован специальным внутренним и наружным освещением. Для определения влажности сжатого газа используется анализатор влажности 15Ш26, входящий в комплект одиночного ЗИП агрегата, а также может использоваться фотоэлектронный индикатор влажности ЗШ31.

Основные технические характеристики агрегата

Тип агрегата	передвижной
Габаритные размеры, мм	7500×2700×2640
Тип баллона	стальной, ёмкостью 400 л, $P = 400 \cdot 10^5$ Па
Количество баллонов, шт.	4
Вес одного пустого баллона, кг	740
Количество сжатого газа в каждом баллоне ($P = 380 \cdot 10^5$ Па), кг:	
– воздуха при $t = -50^\circ\text{C}$	192
– воздуха при $t = +50^\circ\text{C}$	139,3

– азота при $t = -50^{\circ}\text{C}$	179,3
– азота при $t = +50^{\circ}\text{C}$	29,2
Пределная влажность газов	
(точка росы), $^{\circ}\text{C}$	-55
Пределно допустимые давления	
газа в баллонах, МПа:	
– максимальное	44
– минимальное.....	38
Давление газа при выдаче	
потребителю, Па	$(1 \div 250) \cdot 10^5$
Скорость движения агрегата км/ч:	
по шоссе на дорогах	более 75
по грунтовым дорогам	не более 45
Общая масса агрегата, кг.....	13200
Управление выдачей сжатого газа	ручное
Время заправки агрегата от различных	
источников газоснабжения, ч	от 2,4 до 12
Время перевода агрегата из рабочего	
положения в походное, ч	1
Время перевода агрегата из походного	
положения в рабочее, ч	1

7.1.1. Пневмосхема и принцип работы агрегата

Элементы принципиальной пневмосхемы агрегата

Пневмосхема агрегата (рис. 71) включает:

- четыре баллона 1Б÷4Б;
- два редуктора:
 - редуктор 1Р — типа АДН-0063;
 - редуктор 2Р — типа АР-004;

- три манометра 1М ÷ 3М;
- четыре запорных вентиля 1В ÷ 4В типа АВ-049;
- два запорных угловых вентиля 11 ÷ 12 типа АВ-043;
- семь запорных угловых вентилях 5В ÷ 10В, 13В типа АВ-013;
- три фильтра 1Ф ÷ 3Ф;
- один предохранительный клапан 1КП типа АП-054;
- четыре предохранительных мембраны 1МП ÷ 4МП;
- четыре штуцера 1Ш ÷ 4Ш.

Принцип работы агрегата

Баллоны 1В ÷ 4В заполняются от агрегата-заправщика сжатым газом (азотом или воздухом) до давления $400 \cdot 10^5$ Па. Заполнение баллонов производится одновременно или последовательно. Сжатый газ от агрегата-заправщика поступает в баллоны через штуцер 1Ш, фильтр 1Ф, вентили 5В, 1В ÷ 4В. Контроль за давлением осуществляется по манометру 1М.

Для защиты баллонов от превышения в них допустимого давления имеются мембранные устройства, срабатывающие при давлении $(460 \div 500) \cdot 10^5$ Па, газ при этом сбрасывается в дренажную систему.

Пневмосхема агрегата позволяет производить выдачу сжатого газа с различными давлениями. Перед выдачей сжатого газа потребителю производится настройка редукторов 1Р и 2Р на требуемое давление. При настройке редуктора 2Р на требуемое давление редуктор 1Р должен быть настроен на давление не более $230 \cdot 10^5$ Па. Сжатый газ выдается потребителям $(15 \div 250) \cdot 10^5$ Па через штуцер 2Ш, давлением $(1 \div 15) \cdot 10^5$ Па — через штуцер 4Ш и без редуцирования — через штуцер 3Ш при открытом положении соответствующих вентилях.

При наполнении баллонов, а также при выдаче сжатого газа, производится замер влажности анализатором влажности 15Ш26 через штуцер 3Ш и вентиль 6В. Контроль давления выдаваемого газа осуществляется по манометрам (1М ÷ 3М). Перечень основных и вспомогательных операций и положения вентилях и штуцеров показаны в табл. 4 (см. приложения).

7.1.2. Основное оборудование агрегата

Рама с баллонами

Рама 21 (рис. 70) предназначена для крепления технологического оборудования агрегата. Она изготовлена в виде каркаса, облицованного листами из алюминиевого сплава толщиной 1,5 мм. Каркас рамы сварен из балок, тавров и уголков. К каркасу рамы приварены две нижние траверсы, на которые укладываются баллоны нижнего ряда. Справа и слева над колесами крепятся к каркасу рамы два кожуха, представляющие сварной прямоугольный каркас из фасонного профиля, облицованный сверху листами из алюминиевого сплава. В задней части рамы слева и справа имеются люки, закрываемые крышками 7 и 10. В левом люке монтируется электроцит. Крышки 7 и 10 снабжены замками-защелками, а крышка люка штуцеров — замком патефонного типа. На крышке люка штуцеров (на рис. 70 крышка снята) закреплены таблички с условными обозначениями штуцеров и указанием их назначения.

Баллоны агрегата предназначены для хранения запаса сжатого газа и выдачи его при проведении технологических операций.

Баллон представляет цилиндрический сосуд из оружейной стали 35ХНЗМ ФА, применение которой позволяет снизить вес баллонов более чем в два раза по сравнению с существующими баллонами на давление 40 МПа. В одну из горловин баллона ввернут перфоратор, к которому крепится шпильками штуцер выдачи. Вторая горловина заглушена и заварена. Баллон окрашен черной эмалью и имеет клеймение согласно требований Гостехнадзора.

Кузов 2 (рис. 70) установлен на раме агрегата и предназначен для предохранения оборудования от атмосферных осадков, механических повреждений и загрязнения.

Основанием кузова служит металлический сварной каркас, выполненный из уголков и гнутых профилей. Каркас с боков и сверху обшит листами из алюминиевого сплава. Листы обшивки крепятся к каркасу заклепками. Справа и слева в кузове имеются люки, в которых размещён комплект одиночного ЗИП 17, 20 и др.

На передней стенке кузова имеется люк для доступа к баллонам, а также три скоб-трапа для подъёма на крышу кузова.

Задняя стенка кузова оборудована двумя крышками: одна закрывает люк, через который обеспечивается доступ к арматуре, а

другая крышка 8 закрывает лицевую панель пульта управления 9. Все крышки люков крепятся на петлях к каркасу кожуха и имеют по два замка-защёлки и резиновые уплотнительные прокладки.

В крышку кузова вварены горловины, через которые осуществляется доступ внутрь кузова. Горловины закрыты крышками 4. При повышении давления внутри кузова крышки 4 приоткрываются и избыточное давление сбрасывается. Два грибка 6 предохраняют дренажные трубы, выведенные под эти грибки, от попадания в них влаги. Для удобства обслуживания на крыше укреплены два поручня 5.

Пульт управления

Пульт управления 9 (рис. 70) предназначен для управления работой агрегата при выполнении технологических операций и установлен в задней части кузова, за баллонами.

Пульт управления (рис. 72) состоит из каркаса, сваренного из уголков и передней панели 1. На панель вынесены рукоятки вентиля редукторов и смотровые стекла манометров. В верхнем ряду на панели размещаются рукоятки вентиля 7В 5, редуктора 1Р 6, вентиля 5В 7, смотровые стёкла манометров 1М÷3М 8, 9, 10, рукоятки вентиля 9В 11, 8В 12 и 10В 13.

В нижнем ряду размещены рукоятки баллонных вентиля 1В 20, 2В 19 3В 18 и 4В 17, вентиля 6В 16, редуктора 2Р 3, вентиля 13В 21, 12В 2 и 11В 14. На панели цветными эмалями нанесена мнемосхема и таблица операций 15.

Вынесенные на панель рукоятки арматуры и манометры снабжены табличками 4 с поясняющими надписями.

Внутри щита на опорах установлены и закреплены хомутами вентили, редукторы, манометры, предохранительный клапан 1КП, фильтры (1Ф÷3Ф) и мембранные устройства (1МП÷4МП).

Арматура и манометры соединены трубопроводами с коллекторами и баллонами.

Арматура и контрольно-измерительные приборы

Арматура и контрольно-измерительные приборы (КИП) предназначены для отключения одних участков газовых трубопроводов от других, предохранения от избыточных давлений выше нормы, редуцирования давления газа при выдаче потребителям и контроля давления.

Агрегат имеет следующую арматуру и КИП:

- редуктор АДН-0063;
- редуктор АР-004;
- вентили;
- предохранительный клапан;
- мембранные устройства;
- фильтры;
- манометры.

Редуктор АДН-0063

Редуктор АДН-0063 относится к одноступенчатым автоматическим самонагружающимся газовым редукторам. Он предназначен для понижения давления сжатого газа, поступающего из баллонов, до требуемого и автоматического поддержания с заданной точностью установленного рабочего давления при расходе газа и смонтирован в пульте управления.

Редуктор АДН-0063 снижает давление газов, поступающих из баллонов, до $(15 \div 250) \cdot 10^5$ Па. Максимальное давление на входе в редуктор $420 \cdot 10^5$ Па, точность поддержания рабочего давления $\pm 1 \cdot 10^5$ Па, пропускная способность 4 кг/с при $P_p = 250 \cdot 10^5$ Па и 0,8 кг/с при $P_p = 20 \cdot 10^5$ Па, масса редуктора 180 кг.

Принципиальная схема редуктора изображена на рис. 73. Сжатый газ высокого давления из полости “А” через калиброванное отверстие “С” в клапане 8 поступает к клапану 6 и уплотнителю 5 седла. Одновременно газ высокого давления также поступает по каналу “а” в корпусе 1 в полость высокого давления “Ап” регулятора давления к пусковому клапану 15.

При вывернутом регулируемом винте 21 пружина 20 регулятора давления освобождена, пусковой клапан 15 под действием пружины 22 прижат к седлу 16, доступ газа в подпоршневую полость “Бп” и полость “Бр” регулятора давления перекрыт. В этом случае полости “А” и “Ар” разобщены с полостью рабочего давления “В”, клапаном 6 и уплотнителем 5 седла 4. Усилие, необходимое для герметизации сопрягающихся поверхностей клапана 6 и уплотнителя 5, создается пружиной 9.

При вращении регулировочного винта 21 пружина 20 сжимается и создаёт усилие, под действием которого происходит переме-

щение элементов регулирующей системы регулятора давления. Через поршень 18, клапан 17, тяги 23 усилие передаётся на клапан 15 и отрывает его от седла 16. Через зазор, образовавшийся между седлом 16 и клапаном 15 газ поступает в рабочую полость “Бр” и подпоршневую полость “Бп”. Перетекание газа с пониженным давлением будет продолжаться до тех пор, пока давление газа в полости “Бр”, действующее на поршень 13, не уравнивает усилие пружины 20 и клапан 15 не сядет на седло 16 и прекратится доступ газа в полость “Бр”, следовательно, в подпоршневую полость “Бп”. Под воздействием силы, возникающей от давления газа в полости “Бп”, поршень 14 начнёт перемещаться вверх. Через шток 13 демпферного поршня и разгрузочный клапан 3 усилие передаётся на толкатели 11, которые, преодолевая усилие пружины 10, приподнимут клапан 6 над уплотнителем 5. При этом газ из полости “А” начнёт поступать через калиброванное отверстие “С” в полость “Ар”, а затем через зазор между клапаном 6 и уплотнителем 5 в полости “В” и “Вн”. В этом случае первичное редуцирование будет происходить в калиброванном отверстии “С” клапана 4, а окончательное — в зазоре между клапаном 6 и уплотнителем 5 седла 4. При дальнейшем подъёме поршня 14 вверх, зазор между клапанами 6 и 8 выбирается и клапан 8 поднимается над седлом 7. В этом случае первичное редуцирование в основном будет происходить в зазоре между клапаном 8 и седлом 7 и частично в калиброванном отверстии клапана 8, окончательное — в зазоре между клапаном 6 и уплотнителем 5.

При отсутствии отбора газа, давление в полостях “В” и “Вн” будет возрастать до тех пор, пока не превысит усилие, возникающее от давления в полости “Бп”, и поршень 14 не начнёт двигаться вниз, а клапан 6 не сядет на уплотнитель 5 седла 4. При этом перетекание газа прекратится. Редуктор нагрузит выходную магистраль. Величина давления в полостях “В” и “Вн” зависит от степени сжатия пружины 20. С включением системы на выдачу газа в полостях “В” и “Вн” давление газа упадёт, поршень 14 под действием избыточного давления в полости “Бп” переместится вверх и через щиток 13, разгрузочный клапан 3 и толкатель 11 приподнимет клапаны 6 и 8, начнётся регулирование газа, идущего на выдачу. При снижении давления газа на выходе или изменении величины отбора газа редуктор автоматически поддерживает установленное рабочее давление с заданной точностью.

При уменьшении или увеличении отбора газа от редуктора давление в рабочей полости “В” соответственно увеличится или уменьшится, а в редукторе автоматически изменится величина зазора между клапанами и седлами. Изменение зазора будет происходить до тех пор, пока не наступит равновесие сил, действующих на поршень со стороны полости рабочего давления “В” и полости “Бп”, то есть, пока не установится первоначально отрегулированное или близкое к нему рабочее давление.

При прекращении отбора газа от редуктора путем перекрытия запорного устройства, поступление газа в рабочую полость “В” будет продолжаться до тех пор, пока давление в полости “В” не повысится и поршень 14 не начнёт двигаться вниз, а клапан 6 не сядет на уплотнитель 5 и разобщит полости “Ар” и “В”. Доступ газа в полости “В” и “Вн” прекратится. В случае негерметичности между клапаном 6 и уплотнителем 5 давление в полостях “В” и “Вн” будет возрастать, равновесие системы нарушится. Разгрузочный клапан 3, не отрываясь от седла штока 13 совместно с поршнем 14 начнет перемещаться вниз до тех пор, пока клапан 3 не сядет своим заплечиком на опорную поверхность корпуса редуктора 1. Дальнейшее движение клапана прекратится. При дальнейшем передвижении поршня 14 вниз, произойдёт отрыв седла штока 13 от уплотнителя 12 клапана 3. Газ из рабочей полости “В”, пройдя через зазор между уплотнителем 12 и седлом штока 13 попадёт в разгрузочную полость “Г” и на сброс в дренажную систему. Произойдет разгрузка редуктора от избыточного рабочего давления. При наличии негерметичности между клапаном 15 и седлом 16 регулятора давления, газ будет поступать в полость “Бр” и подпоршневую полость “Бн”. Под воздействием избыточного давления поршень 18 переместится вниз и отойдёт от клапана 17. Через образовавшийся зазор между клапаном 17 и седлом поршня 18 газ поступит в центральный канал поршня и пойдёт на сброс в дренажную систему редуктора. Подпоршневая полость “Бп” будет разгружена от избыточного давления и самонагружение редуктора будет исключено.

Аналогичное срабатывание блока разгрузки произойдет и при повышении давления газа в полости “Бп” под воздействием окружающей температуры.

Для исключения возможной вибрации регулирующей системы редуктора во время работы предусмотрен жидкостный демпфер.

Демпфер представляет собой цилиндр, заливаемый жидкостью и поршень с дюзами 2, который делит цилиндр на две полости “Дв” и “Дн”. Поршень выполнен как одно целое со штоком 13. При работе редуктора без вибрации движение элементов регулирующей системы происходит с небольшими скоростями, поэтому поршень демпфера не создаёт большого сопротивления движению. При возникновении вибрации, ввиду значительной скорости колебательных движений системы на поршень демпфера будут действовать значительные силы сопротивления, которые гасят колебания.

Редуктор AP-004

Редуктор AP-004 относится к пружинным редукторам с клапаном обратного действия. Он установлен в пульте управления и предназначен для понижения давления газа до $(1 \div 15) \cdot 10^5$ Па и автоматического поддержания установленного давления.

Технические характеристики

Давление на входе, $1 \cdot 10^5$ Па	15 ÷ 230
Давление на выходе, $1 \cdot 10^5$ Па	1 ÷ 15
Расход, кг/с	0,02
Точность поддержания давления, Па:	
при давлении $P_{\text{вых}} = 4 \div 15 \cdot 10^5$ Па	+0,7 ÷ -0,8
при давлении $P_{\text{вых}} = 1 \div 4 \cdot 10^5$ Па	+0,7 ÷ -0,3
Масса, кг	2

Вентили

Все вентили установлены в пульте управления и рукоятки выведены на переднюю панель пульта.

Вентили предназначены для ручного управления технологическими операциями по приему и выдаче сжатого газа.

Типы и основные технические характеристики вентилях приведены в табл. 5 (см. приложения).

Предохранительный клапан АП-054

Предохранительный клапан 1КП типа АП-054 установлен в пульте управления и предназначен для предохранения магистрали за редуктором 2Р от повышения в ней давления более $20 \cdot 10^5$ Па.

Технические характеристики:

Рабочая среда воздух, азот
Диаметр углового прохода, мм 8
Диапазон настройки, Па $0,5 \div 20$

Мембранное устройство

Мембранное устройство предназначено для предохранения от возрастания давления в баллоне сверх $460 \div 500 \cdot 10^5$ Па. Входные штуцеры мембранных устройств (1МП ÷ 4МП) соединены с соответствующим баллоном (Б1 ÷ Б4), а выходные штуцеры соединены между собой дренажным коллектором, сообщающимся с атмосферой.

Все мембранные устройства установлены в пульте управления.

Фильтры

В пульте управления установлены три фильтра:

- фильтр 1Ф установлен на зарядном коллекторе и предназначен для очистки газа, заправляемого от постороннего источника в баллоны, от механических примесей;
- фильтры 2Ф и 3Ф установлены параллельно на магистрали выдачи газа из баллонов и предназначены для очистки газа, выдаваемого из баллонов, от механических примесей.

Основные характеристики фильтров приведены в табл. 6 (см. приложения).

Манометры

Манометры (1М ÷ 3М) (рис. 72, поз. 8, 9, 10) относятся к контрольно-измерительным приборам. Они установлены в пульте уп-

равления, а смотровые стекла выведены на переднюю панель пульта. Манометры предназначены для контроля давления газа:

- 1М — в баллонах;
- 2М — выдаваемого редуктором 1Р;
- 3М — выдаваемого редуктором 2Р.

Манометры 1М и 2М — технические, типа ГМОШ-160°С со шкалой 600 и $400 \cdot 10^5$ Па, соответственно, а манометр 3М — технический, типа МОШ-160С со шкалой $40 \cdot 10^5$ Па. Класс точности манометров — 1,6.

Специальное освещение агрегата

Агрегат 15Г84 имеет специальное освещение, внутренне и наружное, принципиальная схема которого показана на рис. 74.

Внутреннее освещение включает: освещение пульта управления светильниками (Л5 ÷ Л7), освещение люка анализатора влажности светильником Л1, освещение ящиков ЗИП светильником Л2, освещение металлорукавов светильником Л3 и освещение ящика, расположенного в правом люке рамы, закрытой крышкой 7 (см. рис. 70).

Для освещения применяются светильники “Плафон” типа ПО-60-24.

Разводка проводов внутреннего освещения от источника питания осуществляется через электроцит, установленный в левом люке рамы, закрытой крышкой 10 (см. рис. 70). Электроцит может питаться от двух источников: от аккумулятора автомобиля или от постороннего источника, для подсоединения которого имеется розетка Р1 “От внешнего источника 12 В”.

Наружное освещение в дополнение к штатному наружному освещению автомобиля имеет четыре габаритных светильника (ЛГ1 ÷ ЛГ4), по два спереди и сзади, передние — зелёные, задние — красные. Светильники (ЛГ1 ÷ ЛГ4) включаются с помощью переключателя В7, расположенного в кабине водителя.

На кузове 2 (см. рис. 70) установлены по два задних фонаря ЛФ1 и ЛФ2, два отражателя света ЛФ3 и ЛФ4 и по левому и правому бортам — розетки Р2 ÷ Р4 для включения переносных светильников.

Запасные части, инструмент и принадлежности (ЗИП)

Согласно ведомости ЗИП агрегат снабжен одиночным, групповым и ремонтным ЗИП.

Одиночный комплект ЗИП предназначен для поддержания агрегата в постоянной готовности к работе и для его повседневного обслуживания. Он поставляется одним комплектом на каждый агрегат.

Групповой комплект ЗИП предназначен для технического обслуживания агрегата, разборок, проверок и регулировок механизмов при регламентных работах как силами ремонтных мастерских, так и силами расчёта агрегата. Кроме того, групповой ЗИП служит для пополнения одиночного ЗИП по мере его расхода. Его поставляют по одному комплекту на каждые два агрегата.

Ремонтный комплект ЗИП предназначен для устранения технических неисправностей силами ремонтных органов, а также для пополнения группового ЗИП, их поставляется один комплект на каждые два агрегата.

Состав одиночного ЗИП хранится в люках агрегата, в пеналах, ящиках, а групповой и ремонтный ЗИП — в складских помещениях в ящиках.

7.2. Эксплуатация передвижного заправщика сжатых газов

7.2.1. Меры и правила безопасности при эксплуатации агрегата

Общие положения

К эксплуатации агрегата допускаются лица, изучившие материальную часть, правила техники безопасности и сдавшие в установленном порядке зачёт.

Лица, допускаемые к работе, инструктируются по правилам техники безопасности и обучаются безопасным приёмам работы непосредственно на агрегате. Запрещается использовать оборудование с истёкшим сроком освидетельствования, производить отбор газа для определения влажности с неисправными анализаторами

влажности. Все работы по разборке и сборке производятся исправным штатным инструментом. Хранение в агрегате посторонних предметов, не относящихся к его оборудованию, не допускается.

При возникновении пожара на агрегате для его тушения используются углекислотные огнетушители и другие средства пожаротушения.

7.2.2. Техника безопасности при работе со сжатыми газами

Перед выполнением ремонтных работ внутри кузова агрегата, баллоны которого заполнены азотом, производится проветривание кузова в течение (20 + 30) минут при открытых крышках люков.

Категорически запрещается подтягивать соединение трубопроводов, находящихся под давлением. Подтяжку соединений производить только при отсутствии давления в трубопроводах.

Не допускать попадания воды, масла и бензина в арматуру и приборы.

Вентили для выдачи сжатого газа открывать плавно. Если при заполнении трубопроводов обнаружится утечка газа из соединений или срабатывание предохранительных клапанов, закрыть вентили и устранить неисправность.

Запрещается снимать со штуцеров заглушки при наличии избыточного давления в трубопроводах, присоединять к штуцерам нештатные рукава, шланги, трубопроводы и переходники.

Запрещается использовать металлорукава ДУ25 для выдачи газа давлением выше $250 \cdot 10^5$ Па. Не разрешается присутствие людей в зоне выхода газовой струи при продувке трубопроводов. При работе в помещении запрещается производить дренаж азота из коммуникаций, а в условиях загазованности следует использовать только изолирующий противогаз.

7.2.3. Выполнение технологических операций

Зарядка баллонов сжатыми газами

Заполнение баллонов агрегата воздухом или азотом производится от источников газоснабжения, в качестве которых могут быть агрегаты 5К62, АДС-50, 11Г112, система 15Г62, УКС-400 и

др. При этом используются принадлежности из ЗИП агрегата: металлорукава (МР) ДУ10, гибкие шланги, переходники и анализатор влажности.

Зарядка баллонов производится в следующей последовательности:

- установить агрегат 15Г84 рядом с агрегатом-заправщиком;
- открыть крышку люка штуцеров и крышку 8 (см. рис.70) пульта управления и закрепить её;
- подстыковать агрегат 15Г84 к заправщику сжатых газов;
- заземлить агрегат заземлением;
- открыть вентиль 5В (п. 7 рис. 72) и дать команду расчёту агрегата заправщика на выдачу сжатого газа. Поступление газа в приёмный редуктор контролируется по манометру 1М (п. 10 рис. 72), оно не должно быть больше $420 \cdot 10^5$ Па;
- открыть вентили 1В 20, 2В 19, 3В 18, 4В 17 на пульте управления и заполнить баллоны до необходимого давления. Давление в баллонах контролируется по манометру 1М 10;
- после заполнения баллонов закрыть вентили 5В 7, 1В 20, 3В 18 и 4В 17;
- открыть вентиль 10В 13 и произвести дренаж из зарядной магистрали (коллектора). При отсутствии давления по манометру 1М10 закрыть вентиль 10В 13;
- через 2—3 часа после окончания зарядки баллонов проверить давление газа по манометру 1М 10 поочерёдным открытием вентилях (1В+4В). Если давление окажется ниже требуемого $400 \cdot 10^5$ Па, произвести дозарядку баллонов;
- расстыковать зарядные коммуникации (шланги, металлорукава и переходники) и уложить их на штатные места, установить на штуцере штатные заглушки.

Отбор проб сжатого газа

В процессе зарядки пустых баллонов производится отбор проб сжатого газа для анализа на влажность в начале наполнения (из коллектора), при достижении в баллонах давления $200 \cdot 10^5$ Па и при окончании наполнения в следующей последовательности:

- пристыковать трубопровод (сб 16—3) к штуцеру ЗШ (12 рис. 70) от анализатора влажности;
- подготовить анализатор влажности согласно “Инструкции по эксплуатации 15Ш26”;

- открыть вентиль 6В (16, см. рис.72) и произвести замер влажности заправляемого газа.

Влажность воздуха (азота) в баллонах определяется поочерёдным открытием вентилях 1В 20, 2В 19, 3В 18 и 4В 17.

Если в каком-нибудь баллоне влажность газа окажется выше допустимой (точка росы выше -55°C , то производится сушка баллона, для чего произвести дренаж газа из баллона, открыв вентиль 10В 13 и соответствующий баллонный вентиль 1В, 2В, 3В или 4В. При падении давления в баллоне до $10\div 15 \cdot 10^5$ Па закрыть вентиль 10В. Сушку баллона производить до тех пор, пока не будет достигнута требуемая влажность.

Проверка настройки редукторов на стоп-режиме

Проверка настройки редукторов производится на стоп-режиме (при отсутствии расхода), когда потребителя сжатого газа удовлетворяют следующие отклонения давления (см. табл. 7 Приложения).

Проверка настройки редукторов производится в следующей последовательности (рис. 72):

- настроить редуктор 1Р 6 и 2Р 3 на давление, задаваемое начальником расчёта;
- открыть вентили 1В 20, 2В 19, 3В 18, 4В 17 и 11В 14 на пульте управления;
- контролировать давление настройки редуктора 1Р по манометру 2М 9; изменение давления в течение 2—3 минут не допускается;
- если давление настройки меньше заданного, то подрегулировать редуктор 1Р вращением регулировочного винта;
- если давление настройки больше заданного, то произвести кратковременный дренаж газа из подпоршневой камеры редуктора и дренаж рабочего давления открытием вентиля 8В (12 рис. 72).

Для проверки работы редуктора 2Р необходимо:

- настроить редуктор 1Р на давление $25\div 230 \cdot 10^5$ Па;
- убедиться в наличии заглушки на штуцере 4Ш (11 рис. 70), которая должна быть затянута;
- открыть вентиль 7В 5 и вести контроль за давлением по манометру 3М (8 рис. 72);

- если давление настройки меньше или больше заданного, то подрегулировать его вращением регулировочного винта редуктора 2Р;
- после окончания регулировки редуктора 2Р закрыть вентили 7В и (1÷4)В;
- открыть вентили 8В 12, 9В 11 и 10В 13, и произвести дренаж газа из коллектора и трубопроводов;
- при отсутствии давления по манометрам (1М÷3М) закрыть вентили (8В÷11В) и 13В 21.

Выдача сжатого газа давлением $P = 15 \div 250 \cdot 10^5$ Па

Агрегат 15Г84 может производить выдачу сжатого газа в баллоны (ёмкости) или газовые системы подвижных или неподвижных агрегатов и систем. Для стыковки агрегата-потребителя сжатого газа с агрегатом 15Г84 используются шланги, металлорукава и переходники из ЗИП агрегата. Собранный цепь металлорукувов продувается небольшим давлением, стыкуется к одному из штуцеров агрегата в зависимости от потребителя:

а) при выдаче газа давлением $P_p = 15 \div 250 \cdot 10^5$ Па — к штуцеру 2Ш (13 рис. 70);

б) при выдаче газа давлением $P_p = 1 \div 15 \cdot 10^5$ Па — к штуцеру 4Ш 11;

в) при выдаче газа без редуцирования — к штуцеру 3Ш 12.

Кроме того, цепь металлорукувов проверяется на герметичность.

Выдача сжатого газа давлением $15 \div 250 \cdot 10^5$ Па производится в следующей последовательности:

- открыть вентили 1В (20 рис. 72), 2В 19, 3В 18, 4В 17 и 11В 14;
- по команде руководителя работ на выдачу сжатого газа открыть вентиль 12В 2;
- контролировать давление газа на выходе из агрегата по манометру 2М 9;
- по команде руководителя на прекращение выдачи газа закрыть вентиль 12В 2, а затем — вентили 1В÷4В и 11В;
- при необходимости сбросить избыточное давление из магистрали выдачи газа, для чего открыть вентили 8В 12, 10В 13 и 12В 2;

- при отсутствии давления по манометрам 1М 10 и 2М 3 закрыть вентили 8В, 10В и 12В.

Выдача сжатого газа давлением $P_p = 1 \div 15 \cdot 10^5$ Па

Для этого необходимо:

- открыть вентили 1В (20 рис. 72), 2В 19, 3В 18, 4В 17 и 11В 14;
- по команде руководителя работ открыть вентиль 7В 5.

Примечание:

редуктор 1Р настроен на давление $P_p = 25250 \cdot 10^5$ Па.

- контролировать давление на входе в редукторе 2Р по манометру 2М 9, а на выходе из агрегата (после редуктора 2Р — по манометру 3М 8;
- по команде руководителя работ на прекращение выдачи газа закрыть вентиль 7В, а затем — 1В÷4В и 11В;
- сбросить давление из магистрали выдачи газа, для чего открыть вентили 8В 12, 9В 11 и 10В 13;
- при отсутствии давления по манометрам 1М 10, 2М 9 и 3М 8 закрыть вентили 8В, 9В и 10В.

Выдача газа без редуцирования

Для этого необходимо:

- открыть вентили 1В 20, 2В 19, 3В 18 и 4В 17 (см. рис. 72);
- по команде руководителя работ на выдачу сжатого газа открыть вентиль 6В 16;
- контролировать давление газа в баллонах по манометру 1М 10;
- после наполнения ёмкости потребителя по команде руководителя закрыть вентиль 6В, затем 1В÷4В;
- при необходимости сбросить избыточное давление из магистрали выдачи газа без редуцирования, для чего открыть вентили 10В 13 и 6В;
- при отсутствии давления, контролируемого по манометру 1М, закрыть вентили 6В и 10В.

После окончания выдачи сжатого газа производится отстыковка металлорукавов и переходников и укладка их на штатные места в люк.

8. КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЖАТЫХ ГАЗОВ

8.1. Общие сведения

Влага является одним из обязательных компонентов всех живых организмов на Земле, окружающей нас биосферы, а также большинства материалов, используемых человеком.

Содержание влаги в окружающей среде оказывает влияние на характер и интенсивность проходящих в объектах биохимических и физико-химических процессов. От влажности зависят химические, механические и технологические свойства значительной части неметаллических материалов. Почти во всех отраслях промышленности, в энергетике и строительстве применяются процессы осушки и увлажнения, предназначенные для изменения влажности материалов. Поэтому количественное определение влажности твердых материалов, жидкостей и газов необходимо почти во всех отраслях промышленности, военной технике, в научных исследованиях, связанных со многими областями знаний.

Важнейшее практическое значение имеет измерение влагосодержания неводных жидкостей — углеводородов, растительных и минеральных масел, нефти и нефтепродуктов. Контроль влажности нефти необходим в процессах её добычи, хранения, транспортировки и переработки. Информация о содержании пластовой воды в сырой нефти нужна для управления процесса её откачки. В топливах для реактивных двигателей содержание влаги не должно превышать тысячных долей процента, во избежание опасностей, связанных с образованием льда в коммуникациях двигателя.

Атмосферный воздух представляет собой смесь газов, паров и пыли. Как указывалось ранее в учебном пособии, количество влаги в атмосферном воздухе колеблется в пределах от 0,1 до 30 г/м³. Эта смесь называется влажным воздухом. Количество влаги в атмосферном воздухе зависит от его температуры.

Так, при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ в одном кубическом метре воздуха содержится до 30,21 г водяных паров, а при температуре -30°C — до 0,44 г (см. табл. 8 приложения).

Влага в сжатом воздухе, используемом в качестве рабочего тела в пневматических приводах различных машин, а также при дросселировании, может вызвать примерзание отдельных деталей арматуры и закупорку льдом небольших отверстий. Возникает необходимость постоянного контроля степени влажности воздуха как в местах хранения боевой техники, так и при получении сжатого воздуха для пневматических приводов и других целей.

Технологические процессы химической промышленности, эксплуатация вооружения и военной техники выдвигают задачи контроля и регулирования влагосодержания чистых газов: азота, водорода, кислорода и др.

Во многих случаях необходимо контролировать с большой точностью степень осушки воздуха и различных газов.

Измерение влагосодержания имеет большое значение в вопросах эксплуатации техники. Оно предполагает широкий диапазон задач и разнообразие требований, предъявляемых к техническим средствам измерения влажности.

8.2. Методы измерения влажности газов

Методы измерения влажности твердых материалов, жидкостей и газов основаны на преобразовании влажности в другую физическую величину. В настоящее время нет универсального метода измерения влажности, удовлетворяющего всем требованиям, предъявляемым к этим измерениям. Все методы измерения влажности можно разделить на прямые и косвенные.

Прямые методы основаны на непосредственном разделении влаги и сухого газа с последующим определением количества влаги. К прямым методам относятся следующие: высушивания, полного поглощения, конденсационно-сгустительный, дисцилляционный, экстракционный, химические и другие.

К косвенным методам относятся такие, как психрометрический, точки росы, электролитических подогревных датчиков, сорбиционные, радиационные, манометрические, кулонометрические и другие.

Рассмотрим краткие характеристики прямых и косвенных методов измерения влажности газов.

Метод высушивания. При этом методе образец материала высушивается в воздушно-тепловой сумке до достижения равновесия с окружающей средой. Это равновесие условно считается равнозначным полному удалению влаги.

Существует обычная и ускоренная сушка образца. Для ускоренной сушки ряда материалов применяют инфракрасные лучи, а в отдельных случаях — диэлектрический нагрев.

Метод полного поглощения, основанный на пропускании определенного объёма газа через вещество, способное поглощать водяной пар и оценки измерения параметров этого вещества в результате полного поглощения влаги.

Известны две разновидности метода — гравиметрический и химический. В первом влагосодержание воздуха определяется по приросту в весе поглотителя; второй основан на химической реакции поглотителя с влагой исследуемого газа. К наиболее известным относятся методы: газометрический и титрования реактивом К.Фишера. К примеру, в ацетиленовом методе используется реакция водяного пара с карбидом кальция с выделением ацетилена, а в гидридном — с гидридом кальция с выделением водорода.

Методы полного поглощения можно расшифровать как абсолютные и их точность в принципе высока; практически она ограничена погрешностями измерительных операций (взвешивание поглотителя, измерение количества газа) и наличием примесей в газе и используемых реактивов. Процесс измерения длителен и трудоемок, поэтому эти методы применяются только в качестве лабораторных.

Гравиметрический метод поглощения применяют в качестве наиболее точного образцового при градуировке и испытаниях гигрометров.

Конденсационно-сгустительный — это метод, в котором исследуемый газ охлаждается в холодильнике до полной конденсации содержащейся в нём влаги. Её количество определяют измерением количества газа и объёма воды, выделившейся в холодильнике.

Конденсационный метод, как и метод полного поглощения, является абсолютным. Одним из его преимуществ является возможность определения влажности газов при высоких температурах.

В **дисциплиционных** методах исследуемый образец подогревается в сосуде с определённым количеством жидкости, несмешивающейся с водой (бензол, толуол, ксилол и т.д.). Выделяющиеся

пары воды вместе с парами жидкости поступают в холодильник. Пары воды, пройдя через холодильник, конденсируются в измерительном сосуде, в котором в последующем измеряется объём или масса воды.

Экстракционные методы основаны на извлечении влаги из исследуемого образца твердого материала водопоглощающей жидкостью и определение характеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания — плотности, показателя преломления, температуры кипения или замерзания.

Основой **химических методов** является обработка образца твердого материала реагентом, вступающим в химическую реакцию только с влагой, содержащейся в образце.

Психометрический метод — метод, основанный на измерении температуры двумя термометрами “сухим” и “мокрым”. Последний имеет чувствительный элемент, постоянно смоченный водой. Зависимость в показаниях этих термометров выражается формулой, по которой и вычисляется относительная влажность воздуха.

Метод точки росы заключается в определении температуры, при которой содержащийся в газе водяной пар становится насыщенным и его избыток выпадает в виде росы при дальнейшем понижении температуры. Момент выпадения влаги фиксируется индикатором влажности. Чувствительным элементом индикатора является зеркало. Изменение температуры измерительного зеркала осуществляется за счет процессов дросселирования сжатого воздуха и его электрического обогрева.

Фиксация момента возникновения конденсата основана на эффекте ослабления светового потока, отраженного с поверхности измерительного зеркала, вследствие образования слоя конденсата. Интенсивность изменения потока света фиксируется фотодетектором.

Степень автоматизации этих процессов определяет тип индикатора “влажности”. Наибольший интерес представляют автоматические индикаторы влажности. Автоматическое фиксирование точки росы является объективным и позволяет правильно выбрать момент измерения и повысить его точность. Современные типы этих приборов имеют термоэлектрическое охлаждение, измерительную схему, собранную на статистических элементах и отличаются надежностью, малыми габаритами и весом.

Методом электрических подогревных датчиков определяют температуру точки росы, подогревая до достижения равновесного состояния солевой раствор, покрывающий чувствительный элемент температурного преобразователя.

Сорбиционные методы основаны на измерении электрических параметров или веса влагочувствительных пленок. В этих методах применяют гигроскопические вещества, свойства которых изменяются в зависимости от количества поглощенной влаги.

Радиационные методы. К этим методам относятся: спектроскопическое определение воды в инфракрасной и видимой области; газовая интерферометрия; приборы, основанные на поглощении водой радиации в инфракрасной и ультрафиолетовой области спектра, а также электромагнитных колебаний сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

Манометрический метод. Определение влажности в этом методе производится по изменению давления газа, наблюдающегося после конденсации паров воды при охлаждении или при контакте газа с осушающими веществами.

Кулонометрический метод. Данный метод основан на электролитическом разложении поглощаемой сорбентом воды. Ток электролиза является точной мерой концентрации влаги в анализируемом газе.

В настоящее время в войсковых частях широкое распространение получили методы контроля влажности воздуха:

- психрометрический;
- точки росы;
- кулонометрический.

Область применения психрометров ограничена, поскольку их невозможно использовать при низких температурах и высоких давлениях контролируемого воздуха. Поэтому они, как правило, применяются в ангарах, складах и хранилищах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Архаров А.М., Марфенина И.В., Никулин Е.И.* Криогенные системы. — М.: Машиностроение, 1988.
2. Компрессорные и вакуумные машины и пневмоагрегаты / Под ред. В.К. Алубенц. — М.: Машиностроение, 1973.
3. Справочник азотчика / Под ред. Н.М. Жаворонкова. — М.: Химия, 1986.
4. *Тараканов Ю.Н.* Технологическое оборудование. — М.: Изд-во МО СССР, 1971.
5. *Френкель М.И.* Поршневые компрессоры. — М.: Машгиз, 1960.
6. *Шерстюк А.Н.* Компрессорные и расширительные машины. — М.: Машиностроение, 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. СОСТАВ ГАЗОВОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	3
2. КОМПРЕССОРЫ	7
2.1. Общее устройство компрессорных установок	9
2.1.1. Системы охлаждения	9
2.1.2. Система очистки	12
2.1.3. Система осушки	13
2.1.4. Арматура. Контрольно-измерительная аппаратура	14
2.2. Основные типы компрессорных установок	15
2.3. Принцип работы поршневого компрессора	22
2.4. Сведения по эксплуатации компрессорных машин	26
2.5. Меры безопасности при работе компрессорных установок	27
3. УНИФИЦИРОВАННАЯ КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ УКС-400В-131	29
3.1. Назначение и общая характеристика станции	29
3.2. Состав станции, её устройство и работа	31

3.2.1. Двигатель ЯМЗ-236	33
3.2.2. Муфта сцепления с карданным валом	33
3.2.3. Система управления двигателем	34
3.2.4. Регулятор мощности	34
3.2.5. Компрессор ВШ-2,3/400	35
3.2.6. Система очистки воздуха	37
3.2.7. Система осушки воздуха	39
3.2.8. Система охлаждения	40
3.2.9. Система управления и контроля	41
4. КРИОГЕНИКА. АЗОТ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	43
4.1. Принцип получения азота	45
4.2. Разделение воздуха на составные части. Ректификация	47
5. СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ И ВЫДАЧИ ГАЗОВ 15Г62П	50
5.1. Назначение и состав системы 15Г62П	50
5.2. Технические характеристики системы 15Г62П	51
5.3. Описание принципиальной пневмогидравлической схемы системы 15Г62П	52
5.4. Назначение и устройство основных агрегатов системы 15Г62П	55
5.4.1. Воздушный компрессор	55

5.4.2. Блок разделения	55
5.4.3. Агрегат детандера	59
5.4.4. Насос жидкого азота	60
5.4.5. Подогреватель воздуха	60
5.4.6. Трубопроводы и арматура	61
5.4.7. Контрольно-измерительные приборы	62
5.4.8. Средства автоматики	63
5.5. Меры безопасности при эксплуатации системы 15Г62П	63
6. ХРАНЕНИЕ И ВЫДАЧА СЖАТЫХ ГАЗОВ	65
7. ПЕРЕДВИЖНОЙ ЗАПРАВЩИК СЖАТЫХ ГАЗОВ 15Г84	68
7.1. Назначение, состав, основные технические харак- теристики и устройство агрегата	68
7.1.1. Пневмосхема и принцип работы агрегата	70
7.1.2. Основное оборудование агрегата	72
7.2. Эксплуатация передвижного заправщика сжатых газов	80
7.2.1. Меры и правила безопасности при эксплуа- тации агрегата	80
7.2.2. Техника безопасности при работе со сжаты- ми газами	81
7.2.3. Выполнение технологических операций	81

8. КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЖАТЫХ ГАЗОВ	86
8.1. Общие сведения	86
8.2. Методы измерения влажности газов	87
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	91

Тем. план 2017, ч. 2, поз. 24

Кисиев Павел Александрович

**Газовое оборудование
(УКС-400В-131, 15Г62П, 15Г84)**

Редактор *Л.А. Митина*
Компьютерная верстка *Т.С. Евгеньевой*

Сдано в набор 12.12.17. Подписано в печать 16.02.18.
Бумага писчая. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,58 . Уч.-изд. л. 6,00. Тираж 100 экз.
Заказ 865/538.

Издательство МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д. 4,
Москва, А-80, ГСП-3 125993

Типография Издательства МАИ
(МАИ), Волоколамское ш., д. 4,
Москва, А-80, ГСП-3 125993