

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАЙКОПСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра нефтегазового дела и энергетики

ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

**Курс лекций
для обучающихся направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»**

УДК 621.6(075.8)

ББК 39.76

Г 13

Печатается по решению Научно-технического совета Майкопского государственного технологического университета

Рецензент – доктор технических наук, доцент Меретуков З.А.

Составитель – канд. техн. наук, доцент Меретуков М.А.

Газоперекачивающие агрегаты. Курс лекций для обучающихся направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»– Майкоп: 2019. - стр.

Методические указания составлены в соответствии с учебным планом и рабочей программой дисциплины «Газоперекачивающие агрегаты» для направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Меретуков М.А.

МГТУ, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Структурная и технологическая схемы ГПА	6
1.1 Структурная схема ГПА.....	6
1.2 Технологическая схема ГПА.....	7
2 Конструкция ГПА.....	12
2.1 Компоновка ГПА.....	12
2.2 Привод компрессора.....	17
2.3 Центробежные компрессоры.....	25
2.4 Воздухоочистительное устройство (ВОУ).....	34
2.5 Глушитель шума.....	38
2.6 Камера всасывания	39
3 Особенности монтажа и пусконаладки ГПА.....	41
3.1 Монтаж стационарных ГПА	41
3.2 Монтаж блочных ГПА.....	42
3.3 Пусконаладочные работы ГПА.....	55
4 Эксплуатация и обслуживание ГПА	89
4.1 Технологическая эксплуатация КС	90
4.2 Техническое обслуживание КС.....	95
Список использованной литературы.....	97

ВВЕДЕНИЕ

Назначение ГПА

Большинство экономически развитых государств в жилищно-коммунальном хозяйстве, промышленности используют природный или попутно-нефтяной газ. Однако большинство источников природного газа находятся на значительном расстоянии от потребителей и требуют транспортировки к месту назначения.

Транспортировка газа от мест добычи до потребителя осуществляется по промысловым, магистральным и распределительным газопроводам. Протяженность только магистральных газопроводов ОАО «Газпром» составляет более 150 тыс. км [1]. На КС этих газопроводов установлено более четырех тысяч газоперекачивающих агрегатов (ГПА) общей мощностью более чем 40 млн. кВт. ОАО «Газпром» имеет также 21 подземное хранилище газа с объемом более чем 110 млрд. м³ газа, 6 газоперерабатывающих заводов и 3400 газораспределительных станций.

Вспомним следующие термины, определенные государственным стандартом (ГОСТ 28567–90 [2]):

- компрессор, это энергетическая машина или устройство для повышения давления и перемещения газа или их смесей (рабочей среды);
- компрессорный агрегат, это компрессор с приводом;
- компрессорная установка, это компрессорный агрегат с дополнительными системами, обеспечивающими его работу.

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) предназначен для повышения давления и перемещения газа поступающего из входного коллектора компрессорной станции магистрального газопровода. ГПА находят применение в головных (ГКС), линейных (ЛКС) и дожимных (ДКС) компрессорных станциях магистральных газопроводов, а также в подземных хранилищах газа (ПХГ) и в специальных технологических установках.

Классификация ГПА

Из-за многообразия конструкций и сложности объекта разработать исчерпывающую классификацию ГПА не представляется возможным [3]. Поэтому ГПА можно классифицировать [3] по функциональному признаку, принципу действия и типу привода.

По функциональному признаку ГПА разделяются для применения на:

- головных КС;
- линейных КС;
- дожимных КС;
- подземных хранилищ газа;
- специальных технологий (обратной закачки газа в пласт, газлифта, сбора и транспортировки попутного газа и др);

По принципу действия. ГПА с компрессорами:

- объемного действия (в основном поршневыми компрессорами);
- динамического действия (в основном с центробежными компрессорами).

Поршневые компрессоры (газомотокомпрессоры) используются при малых производительностях (до $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$) из-за предпочтительности по КПД или где требуется значительное изменение режима работы по давлению.

Центробежные компрессоры используются при высоких производительностях (от $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и выше) и мощностях (4–25 МВт) из-за предпочтительности по КПД и малости габаритных размеров и масс ГПА.

По типу привода. ГПА, в которых используются:

- электродвигатели;
- газовые двигатели внутреннего сгорания;
- газотурбинные двигатели.

1 СТРУКТУРНАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГПА

1.1. Структурная схема ГПА

Газоперекачивающий агрегат (ГПА) – это сложная энергетическая установка, состоящая из множества элементов. ГПА характеризуется мощностью энергетической установки, которую рекомендуется выбирать из ряда 2,5 – 4 – 6,3 – (8) – 10 – (12,5) – 16 – 25 МВт, что соответствует предпочтительному ряду чисел.

Типовые ГПА обычно комплектуются следующими элементами заводского блочного изготовления:

- 1.Центробежный компрессор со вспомогательным оборудованием;
- 2.Газотурбинный двигатель¹ со вспомогательным оборудованием;
- 3.Кожух газотурбинного блока, предназначенный для защиты от шума, вентиляции тепловыделений и обеспечения работы противопожарной системы;
4. Входной тракт с воздухозаборными камерами, фильтрами и шумоглушителем, противообледенительной системой и системой очистки компрессора;
5. Выходной тракт с шумоглушителем, выхлопной трубой и автоматизированным теплообменником – утилизатором тепла выхлопных газов;
6. Систему охлаждения масла с устройствами маслосистемы и уплотнений;
7. Агрегатную систему контрольно – измерительных приборов (КИП), ручного и автоматического управления и защиты;
8. Агрегатную систему подготовки топливного и пускового газа с блоками входных кранов и фильтрами;
9. Установку пожаротушения;
10. Укрытие в виде индивидуального легкосборного здания или контейнера с системами отопления, освещения, вентиляции, пожаротушения, взрывозащиты, защиты от шума и электрофицированными грузоподъемными

устройствами;

11. Систему электроснабжения, включая щит и кабельную продукцию;
12. Входных блок кранов № 1 и № 4, смонтированных на раме;
13. Выходных блок кранов № 2, № 6 и обратного клапана, смонтированных на раме;
14. Газопроводы от крана № 1 до компрессора и от компрессора до крана № 2 с люк-лазами, с заглушками для их опрессовки, фиксирующими опорно-упорными устройствами и свечевым отводом с краном № 5;
15. Комплект специального инструмента и оснастки для сборки и монтажа;
16. Комплект ЗИП;
17. Эксплуатационную и ремонтную документацию.

1.2. Технологическая схема ГПА

Технологическая линия (рис. 1.1) ГПА состоит из центробежного компрессора ЦК, соединенного системой газовых коммуникаций компрессорной станции через входной K1 и выходной K2 краны газового тракта. К крану K1 параллельно подключен кран дистанционного управления K4.

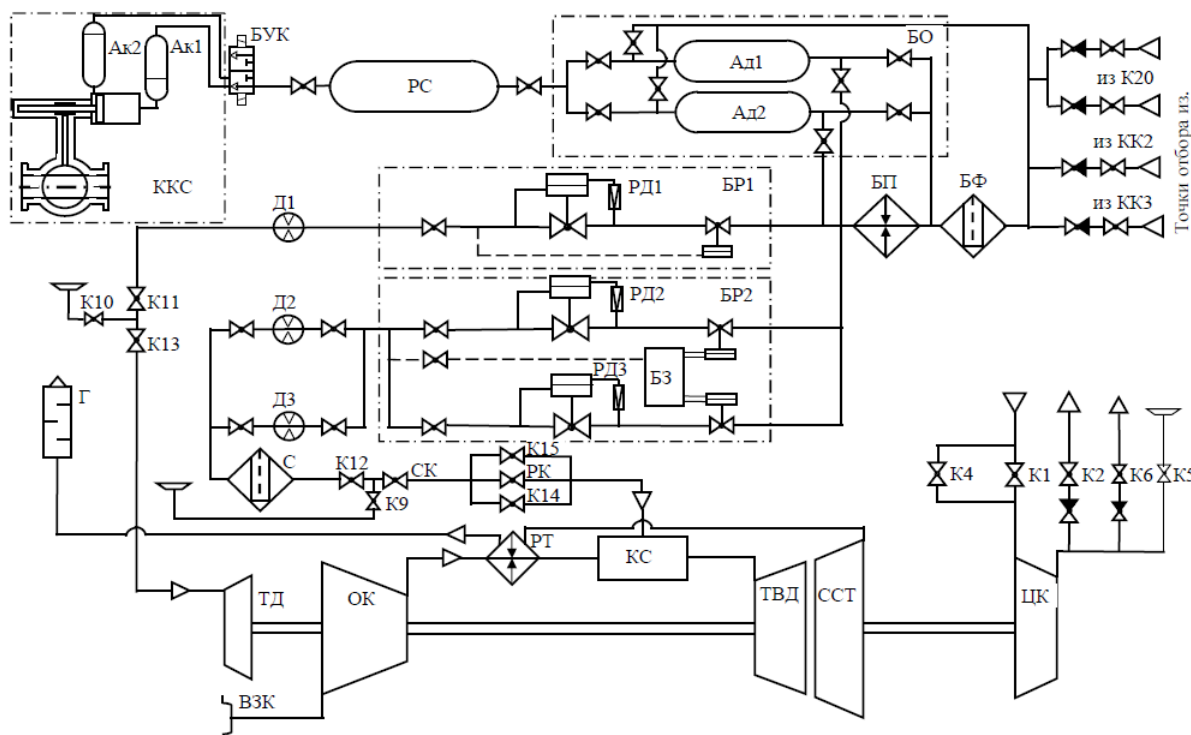


Рис.1.1. Технологическая схема ГПА с газотурбинным приводом

Центробежный компрессор (ЦК) является основной частью технологической линии и предназначен для повышения давления и перемещения газа, протекающего через компрессорную станцию. В компрессоре газ сжимается до конечного давления, позволяющего компенсировать путевые потери на участке от предыдущей станции и в инженерных коммуникациях самой станции. Из линии нагнетания газ через обратный клапан КО и кран К2 поступает в выходной коллектор КС. Линия нагнетания через кран К5 соединена со свечой для сброса газа в атмосферу. Линия нагнетания через обратный клапан, байпасные клапан К6 соединена также со входным коллектором КС.

Технологическая линия работает следующим образом. При запуске линии система автоматического управления ГПА:

- открывает обводной кран К4 (рис. 1.1). При этом в течение одной минуты осуществляется продувка контура компрессора газом через кран К5 на свечу;
- закрывается кран К5. Происходит заполнение контура компрессора газом;
- открывается кран К6. После этого происходит выравнивание давлений до и после крана К1;
- открываются краны К1 и К2;
- осуществляется пуск и выход на режим компрессора по заданной программе;
- в случае закрытия крана К6 ГПА начинает работать на магистраль.

Кроме технологической линии для обеспечения технологических и собственных нужд КС предусматривается система собственного газоснабжения. Она предназначена для очистки, подогрева и редуцирования импульсного, пускового и топливного газа для технологических нужд, а также газа для собственных нужд КС и жилого поселка. При этом установка подготовки топливного и пускового газа может предусматриваться индивидуально для каждого ГПА, а установку импульсного газа рекомендуется предусматривать в целом для КС. Система собственного газоснабжения предусматривает отбор газа из технологических трубопроводов КС в четырех точках: до и после крана К20 узла подключения КС, из входного (основной отбор) и выходного (при

необходимости) коллекторов КС. Далее газопровод объединяется в общий коллектор (рис.1.1) и по ней газ поступает в блок подготовки топливного, пускового и импульсного газа (БПТПИГ). В блоке фильтров БФ БПТПИГ газ предварительно очищается от конденсата, механических примесей и затем подается в блоки осушки БО и подогревателей БП, где его температура повышается до 25°C. В блоке запрещается применение подогревателей прямого подогрева газа. Общецеховая система подогрева топливного газа должна включать не менее двух подогревателей, в том числе один резервный. После подогревателя газовый поток разделяется на три потока, идущие в системы импульсного, пускового и топливного газов.

Импульсный газ используется в пневмогидравлических системах запорной арматуры КС магистральных газопроводов, так как отличительной особенностью их является большие размеры и масса. Поэтому для перемещения затвора запорной арматуры используется энергия сжатого газа, которая преобразовывается в механическую в пневматическом или пневмогидравлическом приводе. Система позволяет управлять запорной арматурой: пневмоприводными кранами технологического, топливного и пускового газов. Поток импульсного газа после блока очистки поступает в блок осушки БО, который состоит из двух адсорберов Ад1 и Ад2. Полости адсорберов заполнены адсорбентом, предназначенным для поглощения влаги из газа. В качестве адсорбента используются силикагель или цеолит. Осушка импульсного газа должна исключать заедание и обмерзание исполнительных органов при низких температурах наружного воздуха. В процессе работы один из двух адсорберов является действующим, а другой в это время находится в режиме резерва или регенерации адсорбента. Регенерация адсорбента осуществляется либо за счет подогрева электрическими подогревателями [14], либо пропуском через адсорбер газа, подогретого до температуры ~ 300°C, который выносить влагу из насыщенного адсорбента путем её испарения. Подогрев газа осуществляется в огневом подогревателе, находящейся в блоке БП. После осушки температура точки росы газа при рабочем давлении должна составлять не выше – 55°C [25]. После блока осушки импульсный газ поступает в два ресивера РС, один

из которых предназначен для кранов узла подключения, а второй для остальных общестанционных кранов ККС. Вместимость ресиверов должна обеспечить переключение всех кранов КС при двух последовательных аварийных остановках станции [25]. Из ресивера импульсный газ распределяется ко всем общестанционным кранам ККС с пневматическим или пневмогидравлическим приводом. Блок управления крана БУК позволяет осуществлять открытие или закрытие крана как по сигналу из системы автоматики КС, так и на месте вручную.

Поток пускового газа редуцируется в регуляторе давления РД1 блока БР1 до давления 1,0...1,5 МПа и поступает через измеритель расхода Д1, краны К11 и К13 в турбодетандер ТД. Газ, расширяясь в ТД, совершает работу, которая затрачивается на раскрутку ротора ОК и ТВД.

Топливный газ используется для сжигания в ГТУ. Поток топливного газа редуцируется в блоке БР2 до давления 0,6...2,5 МПа в зависимости от давления в камере сгорания КС ГТУ. Давление топливного газа на выходе должна поддерживаться с точностью $\pm 0,05$ Мпа [25]. В системе редуцирования давления топливного газа должно быть предусмотрено [14]:

- 100% – ный резерв регуляторов давления; автоматическое переключение рабочей и резервной линий;
- обвод регуляторов давления для систем пускового и топливного газа.

Поэтому блок БР2 содержит рабочую и резервную нитки с регуляторами давления РД2 и РД3, а также блоком защиты БЗ, позволяющем автоматически отключать рабочую нитку при повышении давления на выходе сверх положенного и включать резервную нитку в рабочий режим. После блока редуцирования БР2 топливный газ проходит через узел измерения с датчиками Д2 и Д3, дополнительно очищается от конденсата в сепараторе С и поступает в топливный коллектор. Топливный газ после установки подготовки должен соответствовать требованиям ГОСТ 21199–82 [18, 25]. В камеру сгорания КС газ подается через кран К12, стопорный СК и регулирующий РК клапаны. Краны К14 и К15 используются для подачи газа в запальную и дежурную горелки в период пуска агрегата.

Цеховые коллекторы пускового и топливного газа должны проектироваться

на давление, определяемое требованиями заводов- изготовителей ГПА. Цеховые коллекторы топливного, пускового и импульсного газа должны иметь уклон $i \geq 0,002$, продувочные, выпускные и дренажные трубопроводы, а при наземной прокладке вне помещения коллектор топливного газа и теплоизоляцию.

На входном газопроводе БПТПИГ должна предусматриваться отсечная и выпускная арматура с дистанционным управлением [14].

При необходимости между двумя КЦ должна предусматриваться междцеховые перемычки газопроводов топливного и пускового газа с установкой отсечной арматуры дистанционного управления на границе каждого КЦ и свечи с ручным краном между отсечной арматурой [14].

В большинстве случаев вращательное движение ротору компрессора ГПА сообщается свободной силовой турбиной ССТ (см. рис. 1.1) газотурбинного двигателя (ГТД). В ГТД ССТ рабочим телом обеспечивает газовый генератор, состоящий из осевого компрессора ОК, камеры сгорания КС и турбины высокого давления ТВД. В некоторых газогенераторах для повышения КПД используется также и регенеративный теплообменник РТ. Воздухозаборная камера ВЗК забирает атмосферный воздух и после очистки подает его во входное устройство осевого компрессора. После сжатия в ОК и нагрева в регенеративном теплообменнике РТ воздух поступает в камеру сгорания КС, где к нему подводится топливный газ. В результате процесса горения в КС образуются продукты сгорания, которые направляются вначале в турбину высокого давления ТВД, а затем в ССТ. Энергия продуктов сгорания при расширении в ТВД и ССТ превращаются в механическую энергию вращения роторов этих турбин. В дальнейшем механическая энергия, вырабатываемая ТВД, используется для привода осевого компрессора ОК, а ССТ – для привода центробежного компрессора ЦК, обеспечивающее повышение давления и перемещение технологического газа.

2 КОНСТРУКЦИЯ ГПА

В качестве привода технологического компрессора ГПА находит применение ГТД стационарного, авиационного и судового исполнения. ГПА со стационарным ГТД требует сооружения здания КЦ закрытого типа. Применение авиационных и судовых ГТД позволяют создать ГПА блочно-контейнерного исполнения.

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к устройству ГПА [14]. Входные № 1, № 4 и выходные блок-краны № 2, № 6, предназначенные для отключения ГПА от газовых коллекторов, как правило, должны устанавливаться вне укрытия.

На обводной линии крана № 1, предназначенной для заполнения компрессора ГПА газом, должны предусматриваться два запорных органа: кран с пневоприводом № 4 и кран с ручным приводом № 4', а также дроссельная шайба или заменяющая её задвижка № 4".

На трубной обвязке центробежного компрессора должен предусматриваться сброс газа на свечу (кран № 5, рис.1.1).

Для антипомпажного регулирования и функционирования автоматизированных систем управления на каждом ГПА должно быть предусмотрено измерение расхода газа через центробежный компрессор. В качестве первичного средства для измерения расхода рекомендуется использовать входной внешний градуированный конфузор компрессора.

Отсечные краны на линиях подвода топливного, пускового газа и сброса на свечу № 9, 10, 11, 12 должны группироваться в единый блок на раме, а для северной зоны должна также предусматриваться отапливаемое укрытие блока.

2.1 Компоновка ГПА

В зависимости от исполнения осуществляется различная компоновка ГПА. Компоновка ГПА со строительством здания КЦ и блочно-контейнерного исполнения существенно отличаются друг от друга.

На рис 2.1 представлена компоновка стационарного ГПА типа ГТНП –

25И в индивидуальном здании – блок-боксе 1.

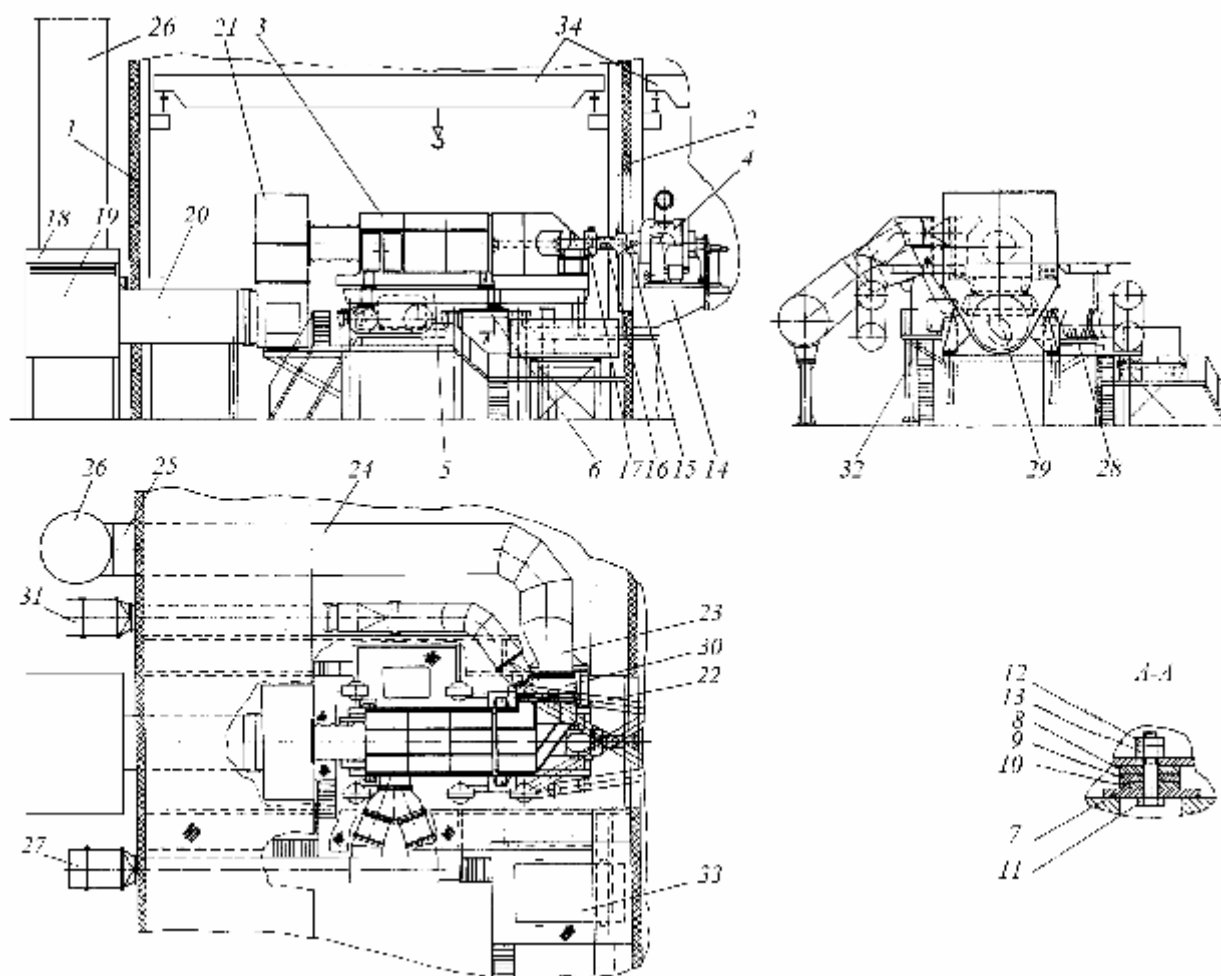


Рис.2.1.Компоновка ГПА типа ГТНП – 25И в блок-боксе

Блок-бокс разделен огнестойкой стеной 2 на два помещения, в одной из которых располагается блок двигателя 3, а в другой центробежный компрессор 4. Блок двигателя 3, смонтированный на раме 5, установлен на сборно-монолитном фундаменте 6, который выше уровня пола здания и образует второй технический этаж. Рама двигателя 5 к плите фундамента 7 крепится через плоскую 8 и две сферические 9, 10 прокладки с помощью болтов 11 и гаек 12, 13.

Центробежный компрессор также смонтирован на сборно-монолитном фундаменте 14. Фундамент 14 обеспечивает расположение компрессора на одинаковом уровне с блоком двигателя 3. Соединение центробежного компрессора с силовой турбиной двигателя осуществляется с помощью муфты 15, промежуточного вала 16, муфты 17 через проем в стене 2.

Входной воздушный тракт двигателя состоит из последовательно

соединенных воздухозаборной камеры (ВЗК) 18, воздухоочистительного устройства (БОУ) с противообледенительной системой 19, воздуховода 20, шахты всасывания 21, которая соединена со входным патрубком двигателя.

Выхлопной тракт начинается от газоотводного патрубка двигателя 22 и далее располагаются переходник 23, газотвод 24, теплообменник-утилизатор 25 и выхлопная труба 26. Система вентиляции блока двигателя состоит из воздухозаборника-глушителя 27, блока вентиляторов 28, входного 29 и выходного 30 переходников и выходного глушителя 31. В блок-боксе размещены также маслобаки двигателя 32 и компрессора 33. В обоих помещениях установлены мостовые краны 34 для облегчения монтажных и ремонтных работ. Кроме того, блок-бокс оборудуется системами освещения, отопления, водопровода, канализации, приточной и вытяжной вентиляции, контроля загазованности, пожаротушения и т.д.

Размещение ГПА в блок-боксе позволяет создать лучшие условия обслуживания оборудования и наиболее благоприятные бытовые условия для обслуживающего персонала. Недостатком такой компоновки является значительные капитальные затраты и сроки строительства.

Компоновка ГПА в виде блок-контейнеров позволяет резко сократить габаритные размеры, капитальные затраты и сроки строительства КС. Например, ГПА-Ц-16 (рис.2.2, 2.3) имеет следующие характеристики: общая длина 19,8 м, максимальная ширина 13,5 м, высота 10,65 м, масса 170 т [8].

В случае блочно-контейнерного исполнения ГПА основным является турбоблок 1, а остальные блоки сомкнуто компонуются вокруг него. Со стороны двигателя к турбоблоку пристыковывается промежуточный блок 2 с патрубком 3, предназначенным для соединения осевого компрессора двигателя с камерой всасывания 4. Два блока маслоагрегатов 5 расположены по бокам промежуточного блока. На блоке маслоагрегатов 5 установлены два блока аппаратов воздушного охлаждения (АВО) 6, предназначенных для охлаждения масла систем смазки и уплотнений двигателя и центробежного компрессора. В этой же части расположены блоки автоматики системы автоматического управления ГПА. На камере всасывания 4 установлены шумоглушители 7, а на

них – воздухоочистительное устройство (ВОУ) 8. Оно расположено на высоте около 7 м над уровнем земли и снабжено приемным козырьком, что позволяет защитить осевой компрессор и турбины от попадания пыли и атмосферных осадков. Кроме того, ВОУ снабжено противообледенительной системой, в которую подогретый воздух подводится по воздуховоду 9. На промежуточный блок 2 установлен блок вентиляции 10 ГПА. Он обеспечивает вентиляцию отсека двигателя воздухом, поступающим из ВОУ, и работу АВО в случае отключения электроснабжения. Над турбоблоком 1 установлена опора 11 выхлопной шахты, к которой прикреплен диффузор 12. На опору 11 установлены блоки шумоглушения 13 и утилизатор тепла 14.

Турбоблок 1 герметичной перегородкой 15 делится на два отсека: двигателя 16 и компрессора 17. В отсеке двигателя 16 установлен конвертированный на газовое топливо авиадвигатель 18 марки НК-16СТ, выходная улитка 19, которая соединяется с диффузором 12. В отсеке компрессора 17 смонтирован центробежный компрессор 20, который с помощью промежуточного вала 21 соединен с ротором силовой турбины двигателя. В отсеке нагнетателя находятся также гидроаккумулятор 22 и маслбак компрессора 23. Ширина контейнера турбоблока (5,9 м) и созданная в нем микроклимат позволяет провести регламентные работы по двигателю, а также ремонтные работы по центробежному компрессору при низкой температуре окружающей среды. Компоновка ГПА позволяет произвести замену двигателя, выкатывая его через камеру всасывания 4, которая снабжена герметичными двухстворчатыми воротами. Данная компоновка ГПА, хотя и является наиболее компактной, имеет и недостатки. Вертикальное расположение опоры 11, блоков диффузора 12, шумоглушения 13, утилизатора тепла 14 над турбоблоком 1 создает неудобства при монтажных и ремонтных работах.

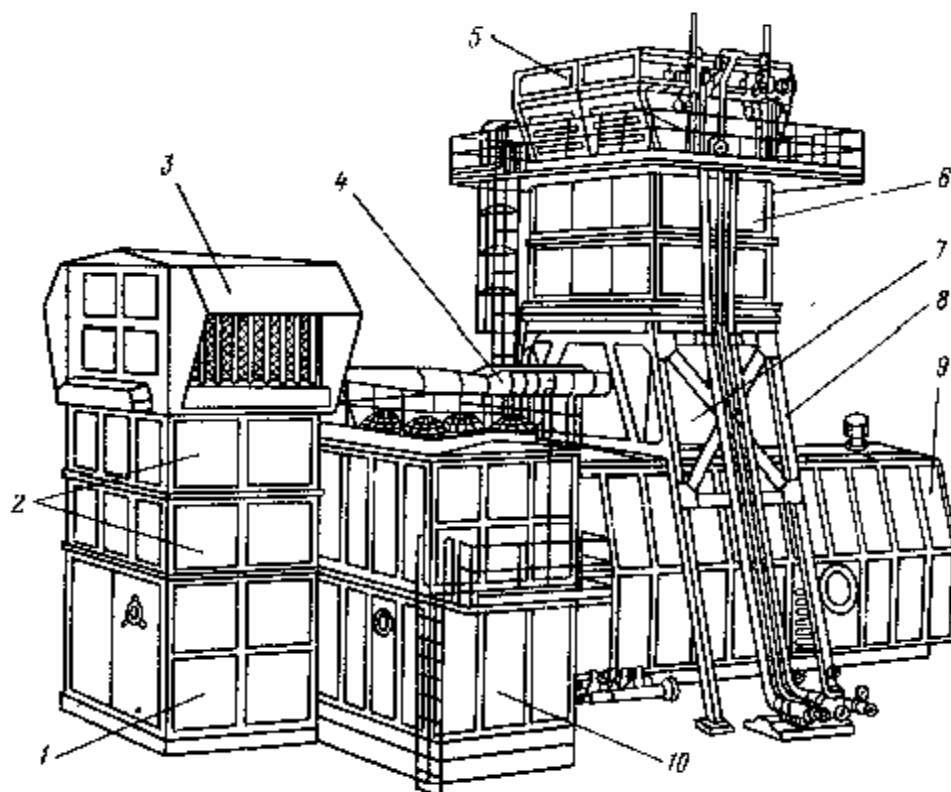


Рис.2.2. Компоновка ГПА-Ц-16. Общий вид снаружи

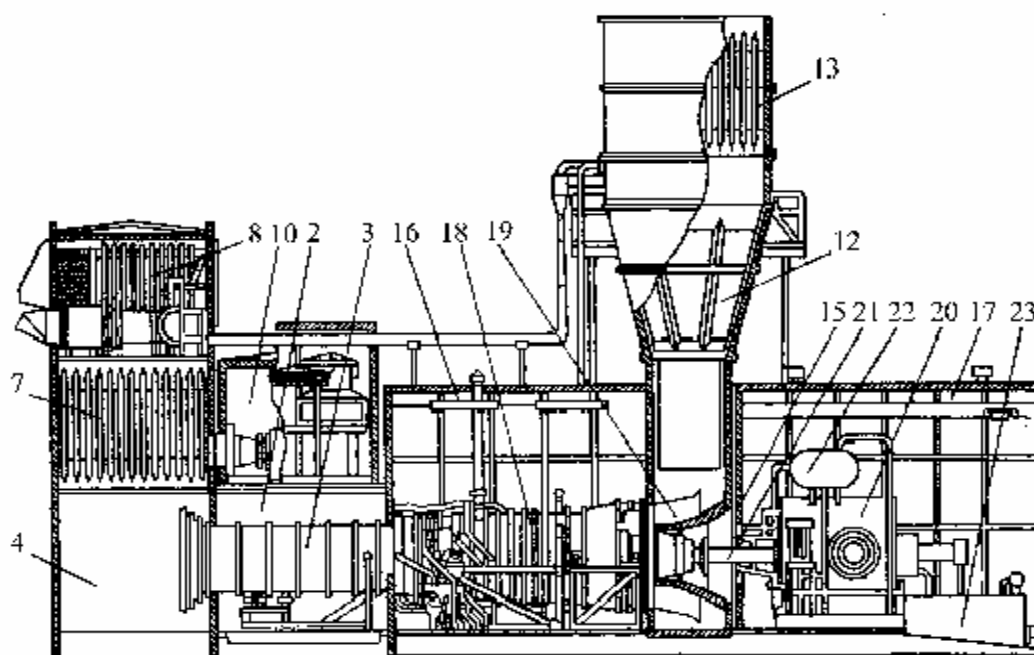


Рис.2.3. Продольный разрез по оси блок-контейнера ГПА-Ц-16

В компоновке ГПА “Волга” (рис.2.4, 2.5), разработанного ЗАО “НИИТурбокомпрессор”, наиболее громоздкие и тяжелые элементы выхлопной системы расположены горизонтально на уровне промплощадки и лишь

выхлопная труба с блоком переходника установлены вертикально. Хотя при этом несколько возрастают габаритные размеры ГПА по ширине, однако удобство проведения монтажных, регламентных и ремонтных работ делают такую компоновку выгодной.

2.2 Привод компрессора

Приводом для ГПА могут служить двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, паро – и газотурбинные установки. В ГПА линейных КС в основном используются стационарные, конвертированные на газовое топливо авиационные и судовые газотурбинные установки [10].

В настоящее время имеются множество схем ГТУ. Наиболее простой из них является схема (рис.2.6) одновальной ГТУ простого цикла. По этой схеме осуществляется прямой круговой процесс (цикл) превращения тепловой энергии в механическую, причем процесс сжатия 1-2 осуществляется в осевом компрессоре ОК, процесс подвода теплоты 2-3 в камере сгорания КС, процесс расширения 3-4 в турбине Т, а процесс отвода теплоты 4-1 путем теплообмена с окружающей средой. Механическая энергия турбины Т используется для вращения роторов воздушного осевого ОК и центробежного ЦК компрессоров.

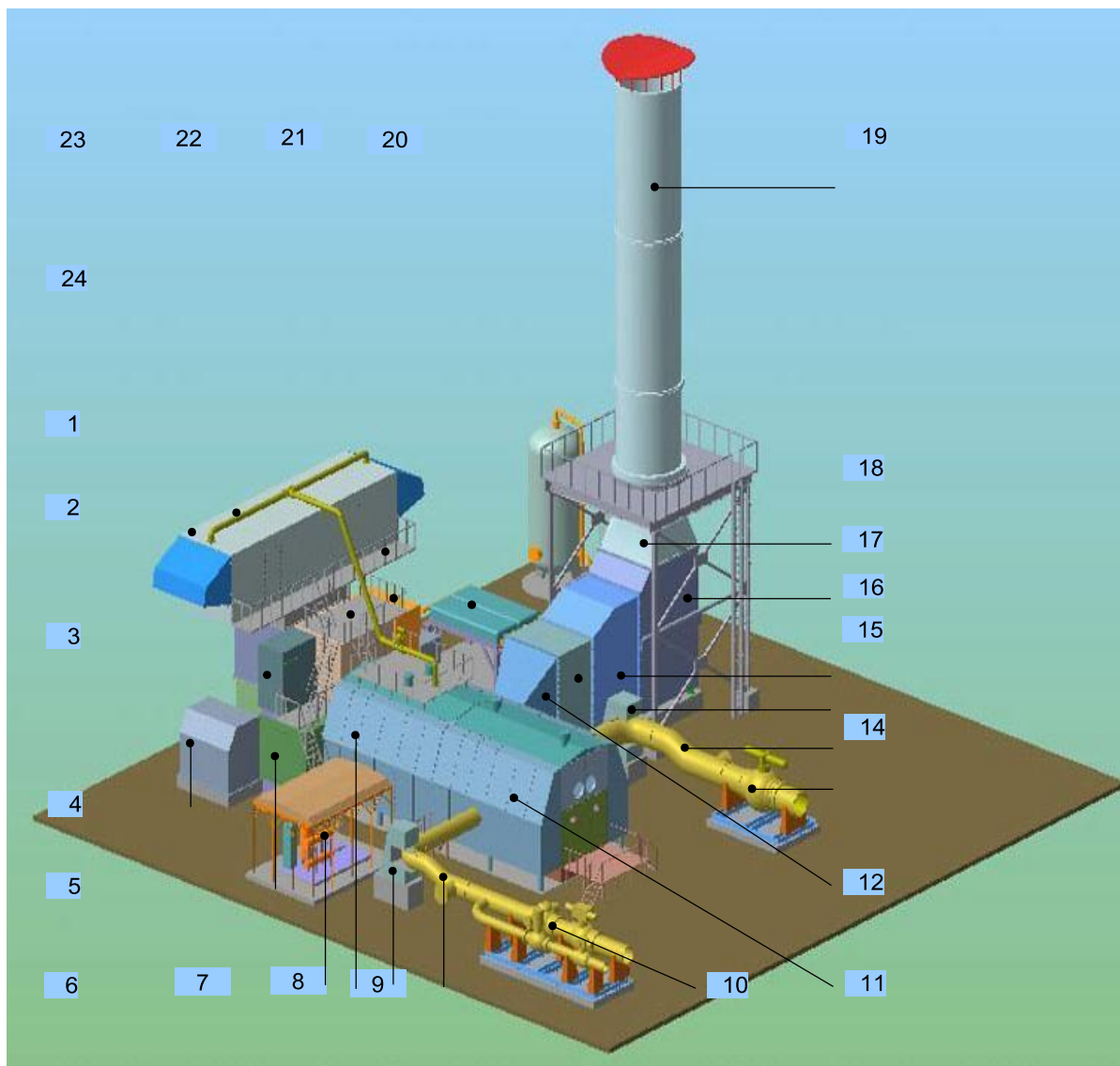


Рис.2.4. Компоновка ГПА “Волга”

1-воздуховод ПОС, 2- блок очистки воздуха, 3- установка маслоохладителей, 4- блок электроснабжения, 5- блок промежуточный, 6- блок двигателя, 7- блок топливного газа и пускового воздуха, 8- опора Ду 700, 9- трубопровод нагнетательный, 10- блок кранов нагнетания, 11- блок компрессора, 12- блок диффузора выхлопа, 13- блок кранов всасывания, 14- трубопровод всасывающий, 15- опора Ду 1000, 16- теплообменник утилизационный, 17- блок поворота, 18- блок переходника, 19- труба выхлопная с опорой, 20- блок шумоглушения выхлопа, 21- блок подготовки воздуха, 22- площадки обслуживания, 23- блок системы



Рис.2.5.Компоновка ГПА “Волга”

25- блок глушения шума на всасывании,
 26- ресивер, 27- блок автоматики агрегата, 28- блок СО, 29- блок
 всасывания, 30- навес, 31- блок переходный

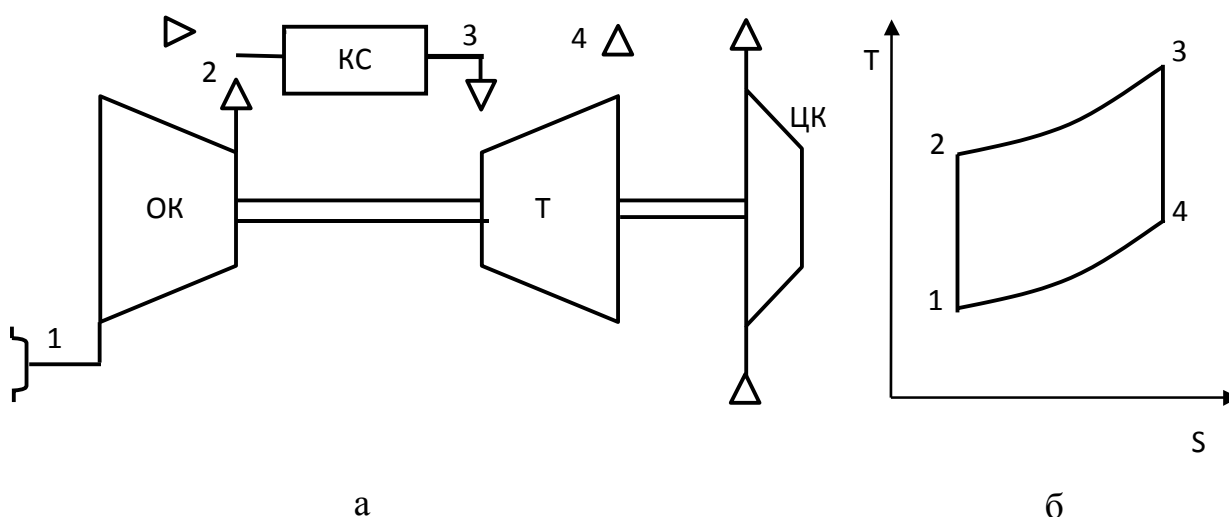


Рис.2.6.Схема (а) и цикл в T-S диаграмме (б) одновальной ГТУ

Отличительной особенностью этой схемы является то, что роторы осевого компрессора ОК, газовой турбины Т и центробежного компрессора ЦК кинематически связаны и при работе все они имеют одну и ту же частоту вращения. Кинематическая связь часто выполняется прямым соединением роторов муфтами, более того, часто рабочие колеса компрессора и турбины находятся на одном валу. Поэтому эта схема называется одновальной. Такая схема ГТУ обеспечивает эффективную работу центробежного компрессора ЦК в ограниченном диапазоне по частоте вращения. Это привело к тому, что в настоящее время одновальные ГТУ для перекачки газа на газопроводах практически не используются [2].

Повышения эффективности работы центробежного компрессора в широком диапазоне частоты вращения позволяет ГТУ, выполненная по схеме с разрезным валом и свободной силовой турбиной (рис.2.7). В отличие от предыдущей схемы здесь имеется две турбины, а именно: ТВД – турбина высокого давления, ССТ – свободная силовая турбина низкого давления.

ГТУ по такой схеме работает следующим образом. Осевой компрессор всасывает воздух из атмосферы и сжимает его от состояния 1 до состояния 2.

При этом возрастает как давление, так и температура воздуха. В дальнейшем воздух поступает в камеру сгорания КС, куда подается также топливный газ. При сгорании газа выделяется тепло и температура продуктов

сгорания значительно повышается.

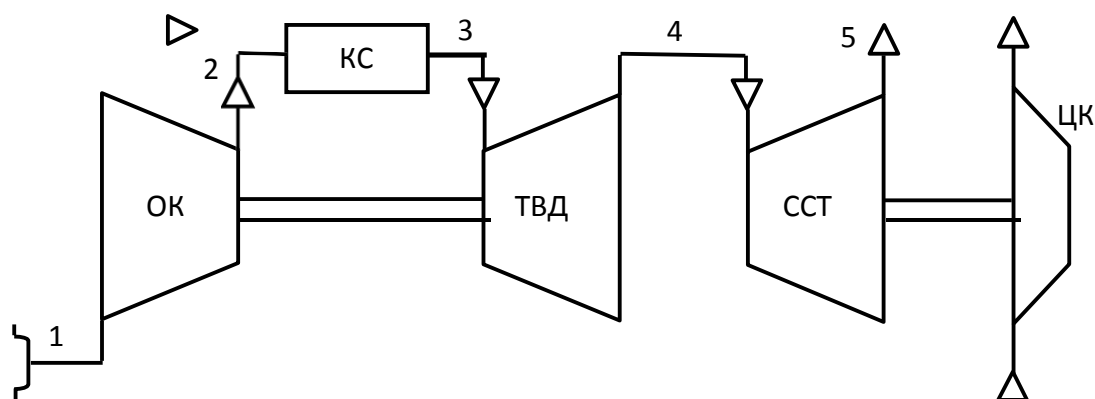


Рис.2.7. Схема двухвальной ГТУ со свободной силовой турбиной

В дальнейшем продукты сгорания поступают в турбину высокого давления ТВД, где при расширении в процессе 3–4 часть энергии продуктов сгорания превращается в механическую. Механическая энергия ТВД полностью передается осевому компрессору ОК. Продукты сгорания после ТВД поступают в свободную силовую турбину ССТ низкого давления. Здесь также происходит процесс расширения 4–5 продуктов сгорания и выработка механической энергии. Энергия ССТ затрачивается на привод центробежного компрессора ЦК, сжимающего природный газ, перекачиваемый по магистральному газопроводу. Продукты сгорания после ССТ выбрасываются в атмосферу. Как видно из схемы, роторы ТВД и ССТ между собой кинематически не связаны. ССТ выдает энергию потребителю, т.е. совершает полезную работу, поэтому называется свободной силовой турбиной. Остальные элементы ОК, КС, ТВД предназначены для получения рабочего тела для силовой турбины. Поэтому их в совокупности называют еще газогенератором.

Дальнейшего повышения эффективности ГТУ можно добиться (рис.2.8), используя высокую температуру выхлопных газов ($\sim 400^{\circ}\text{C}$), путем организации регенеративного теплообмена. В случае использования регенеративного теплообмена горячие выхлопные газы после турбины ССТ в состоянии 6 поступают в регенеративный теплообменник РТ, где, охлаждаясь до состояния 7, отдают тепло сжатому в ОК воздуху. Таким образом, воздух перед входом в камеру сгорания КС дополнительно подогревается за счет теплоты выхлопных газов от состояния 2 до состояния 3. Следовательно, в КС на прогрев воздуха

тратится меньше топлива.

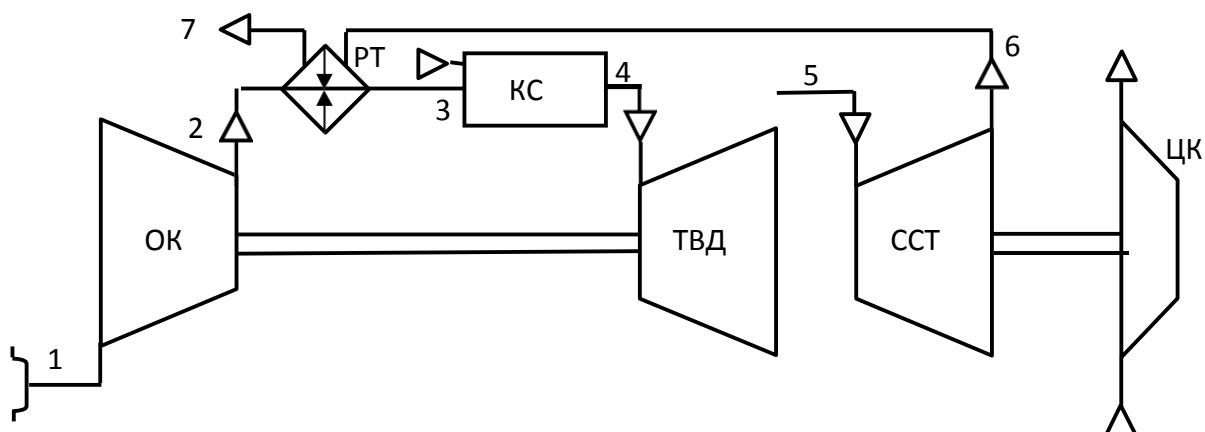


Рис.2.8. Схема двухвальной ГТУ с регенерацией тепла отходящих газов

Это приводит к снижению затрат газа на собственные нужды и повышению общего КПД установки.

Высокой экономичности в ГТУ простого цикла можно добиться также путем повышения отношения давлений $p = p_{\text{вых}}/p_{\text{вх}}$. Однако для увеличения p требуется и большее количество ступеней компрессора ОК и при этом резко отличаются объемные расходы газа на входе и выходе из него. Это усложняет создание единой эффективной проточной части компрессора. Кроме того, на нерасчетных режимах работы происходит значительное рассогласование работы ступеней. Поэтому, начиная с $p \geq 10...12$ целесообразно разделить газогенераторную часть турбогруппы на каскады [10]. Такая схема представлена на рис.2.9.

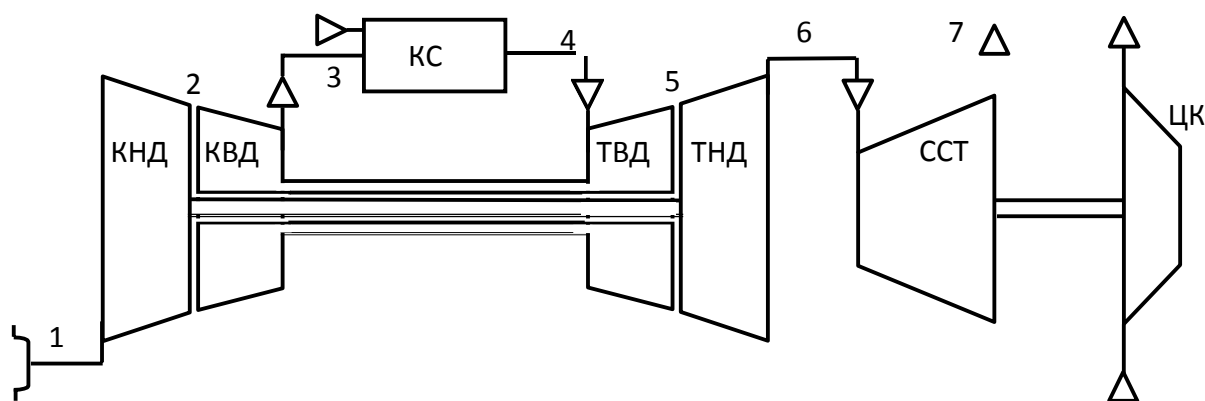


Рис.2.9. Схема двухкаскадной трехвальной ГТУ

Как видно из схемы, турбина низкого давления ТНД газогенератора вращает компрессор низкого давления КНД, а турбина высокого давления ТВД – компрессор высокого давления КВД. Как правило, ротор каскада высокого давления имеет более высокую частоту вращения, чем ротор каскада низкого давления, что позволяет сохранять оптимальные соотношения размеров каскада при малых объемных расходах и лучшее согласование ступеней компрессора при работе на нерасчетных режимах. Конвертированные авиационные и судовые двигатели, как правило, выполняют по схемам (рис.2.7, 2.9) без регенератора. Однако, в настоящее время для повышения экономичности наблюдается тенденция повышения сложности газодинамических схем ГТУ и применения комбинированных (парогазовых) установок.

Одна из конструкций ГТУ, выполненная по двухкаскадной трехвальной схеме (рис.2.9), представлена на рис.2.10. Она содержит раму двигателя 1, газотурбинную установку 2, установленную на опоры 3, 4, электростартер 5, привод 6 и маслоагрегат 7. Газотурбинная установка 2 состоит из составного корпуса 8, роторов 9, 10, 11 с невращающимися и вращающимися направляющими аппаратами, которые образуют входной патрубок 12, компрессор низкого давления 13, , компрессор высокого давления 14, турбину высокого давления 15, турбину низкого давления 16, свободную силовую турбину 17. Между компрессором и турбиной высокого давления в корпусе установлена трубчато-кольцевая камера сгорания 18. Механическая энергия свободной силовой турбины 17 на вал промежуточной опоры передается через муфту 19.

ГТУ для ГПА часто компоуется в виде единого блока двигателя (рис.2.11). На общей раме 1 монтируется рама двигателя 2 с установленными на ней двигателем 3 и кожухом 4, рама 5 с промежуточной опорой 6, кожух газотовада 7 и газотовод 8. Механическая энергия с вала промежуточной опоры на промежуточный вал (поз.16, рис.2.1) между двигателем и центробежным компрессором передается муфтой 9 (рис.2.11). Такая компоновка позволяет к месту монтажа поставить полностью собранный и испытанный двигатель с максимальной заводской готовностью.

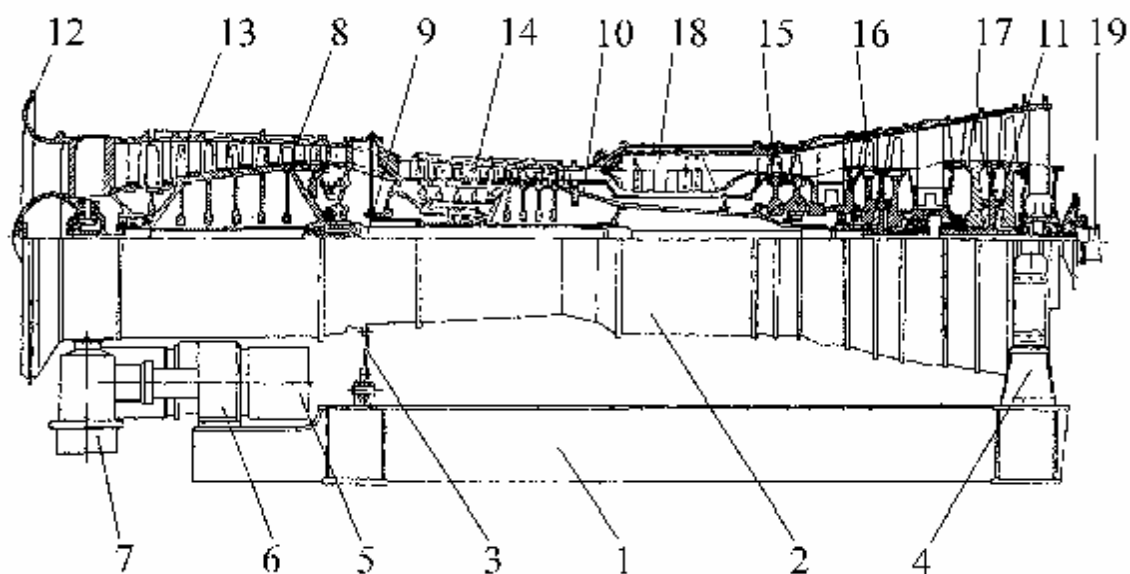


Рис.2.10.Конструктивная схема двухкаскадной трехвальной ГТУ

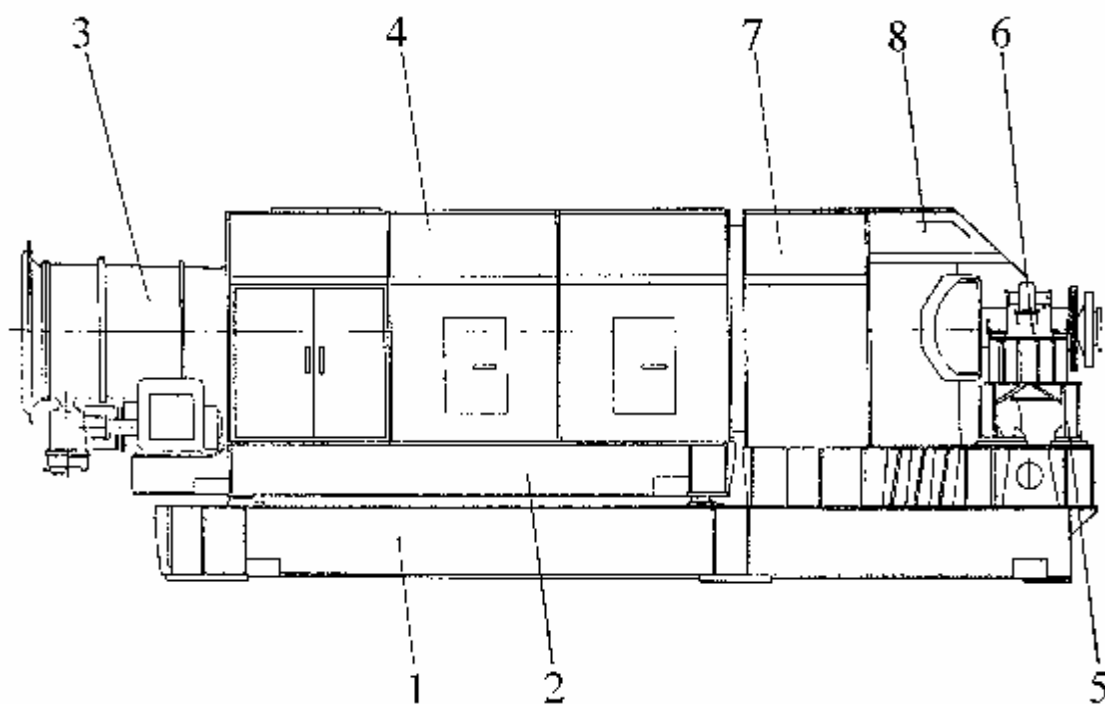


Рис.2.11.Блок двигателя ГПА

Более подробно устройствами и работой различных ГТУ для привода центробежных компрессоров можно ознакомиться по литературе [2, 6, 10].

2.3 Центробежные компрессоры

Основным элементом ГПА, в котором происходит технологический процесс повышения давления транспортируемого газа, является центробежный компрессор. Особенностью центробежных компрессоров магистральных газопроводов является умеренная частота вращения роторов (3700...8200 об/мин), связанная с частотой вращения силовой турбины и отсутствием промежуточного мультипликатора. Вместе с этим необходимость перекачки больших объемов и масс газа приводит к увеличению габаритных размеров компрессора.

Центробежные компрессоры магистральных газопроводов можно классифицировать по количеству ступеней на одно- двух- и трехступенчатые. Одноступенчатые компрессоры более просты по конструкции, однако они обеспечивают отношение давлений лишь в пределах $\pi_k = p_{\text{вых}}/p_{\text{вх}} = 1,25 \dots 1,27$.

Одноступенчатый центробежный компрессор (рис.2.12) конструкции Невского завода им. Ленина (НЗЛ) [2] состоит из сферического корпуса 1, фигурной торцевой крышки 2, ротора 3, закладных деталей 4, образующих совместно с рабочим колесом 5 проточную часть компрессора. Ротор 4 опирается на подшипник-уплотнение 6 и опорно-упорный подшипник 7. Входной 8 и выходной 9 патрубки компрессора расположены горизонтально и направлены перпендикулярно к оси ротора в противоположные стороны.

Внизу корпуса расположены опорные лапы 10, предназначенные для крепления компрессора с рамой 11, а наверху – площадка для установки гидроаккумулятора 12. Концевое уплотнение ротора выполнено двухступенчатым. Первую ступень обеспечивает лабиринтная втулка 13, расположенная между рабочим колесом 5 и подшипником-уплотнением 6. Вторую ступень образует подшипник-уплотнение 6, который обеспечивает полную герметичность компрессора за счет запирания газа масляным затвором. Опорно-упорный подшипник, кроме опорной части 14, содержит два упорных гребня 15, 16, обеспечивающие передачу осевой нагрузки на упорные подушки при любых режимах работы компрессора. Гидроаккумулятор 12 предназначен для обеспечения маслом системы смазки и уплотнения при аварийных ситуациях

до полной остановки компрессора.

Различные требуемые отношения давлений в компрессоре, кроме переменной частоты вращения ротора, может обеспечиваться также применением сменной проточной части (СПЧ).

Использование одноступенчатого компрессора, как правило, не обеспечивает достаточное для условий КС повышение давления газа и приходится использовать последовательное соединение двух компрессоров. В связи с этим одноступенчатые ЦК иногда называют неполнонапорными, хотя такое название не характеризует компрессор, а лишь усложняет их взаимную обвязку. Преимуществом конструкции одноступенчатого компрессора является консольное расположение рабочего колеса и возможность разборки-сборки газодинамического узла через торцевую крышку без демонтажа вала ротора, что удобно в условиях эксплуатации и ремонта.

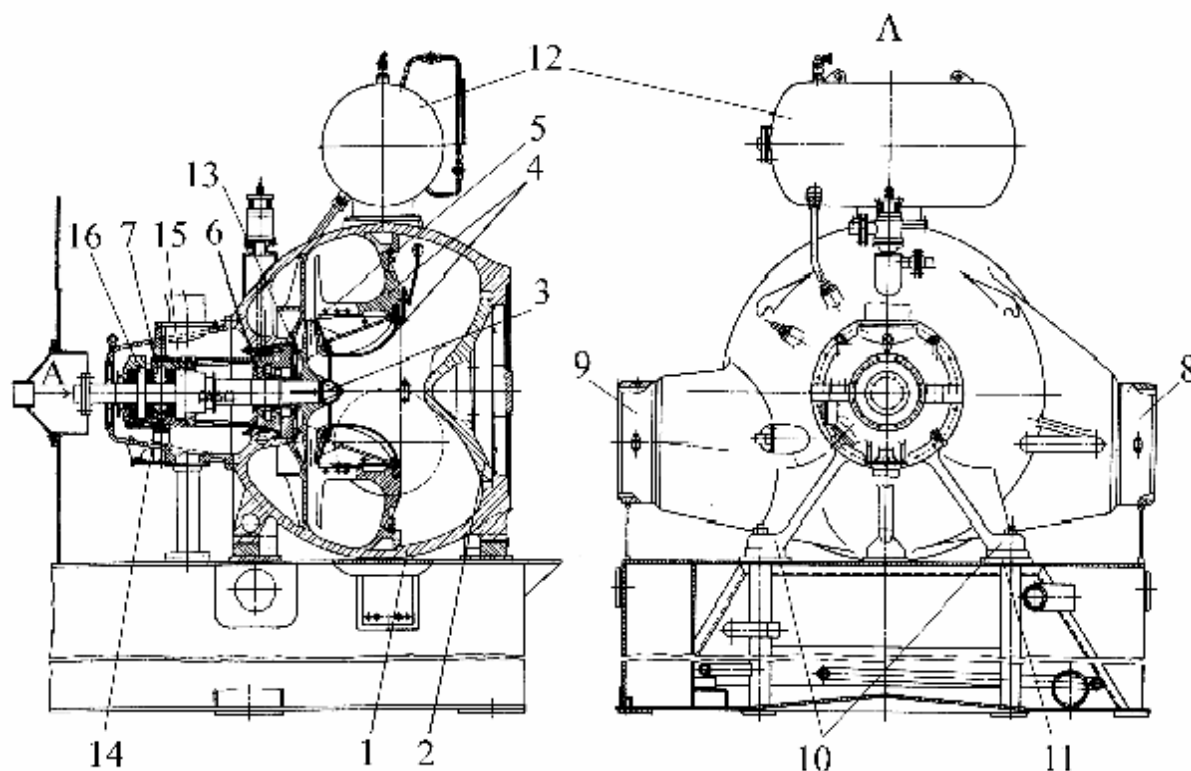


Рис.2.12.Одноступенчатый центробежный компрессор конструкции НЗЛ

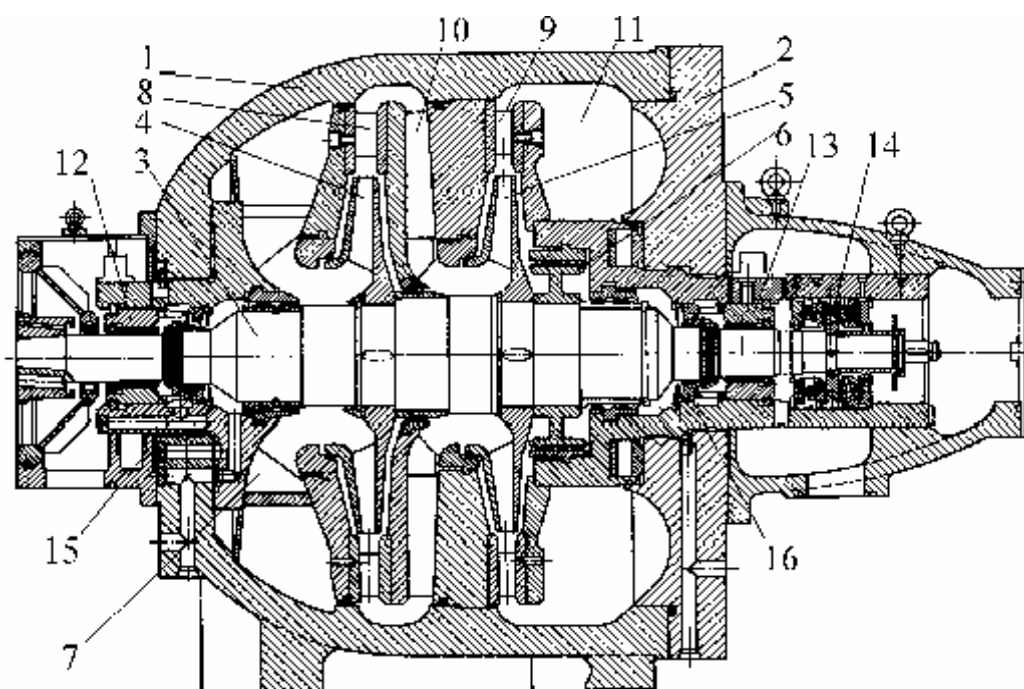


Рис.2.13.Двухступенчатый центробежный компрессор конструкции НЗЛ

Двухступенчатые и трехступенчатые компрессоры обеспечивают отношение давлений π_k из ряда 1,35...1,37 и 1,45...1,51. Например, двухступенчатый центробежный компрессор конструкции НЗЛ (рис.2.13) содержит литой корпус 1 и крышку 2 с фланцевым соединением. Корпус имеет надежное крепление к опорной раме, а присоединительные фланцы патрубков компрессора расположены соосно. Ротор 3 с рабочими колесами 4,5, думмисом 6 и закладными деталями, образующими входную камеру 7, лопаточные диффузоры 8, 9, обратно направляющий аппарат 10, сборную камеру 11 составляют сборочную единицу, которая вставляется внутрь корпуса через торец и закрывается крышкой 2. Закладные детали сборочной единицы имеют горизонтальный разъем, что обеспечивает сборку с неразборным ротором. Имеется также модификация сборочной единицы без горизонтального разъема закладных деталей и съемным рабочим колесом первой ступени 4. Положение ротора относительно корпуса и закладных деталей с необходимыми зазорами обеспечивается двумя опорными 12, 13 и одним упорным 14 подшипниками. Герметичность полости компрессора по валу обеспечивается двумя торцовыми уплотнениями 15, 16. Лопаточныедиффузоры 8, 9, хотя и обеспечивают высокий

КПД на расчетном режиме, однако частая работа компрессора на нерасчетных режимах существенно его снижает.

В настоящее время значительную долю технического парка КС составляют газотурбинные ГПА с ГТД авиационного типа. Первый отечественный ГПА-Ц-6,3 с конвертированным авиационным двигателем был разработан в 1972 Специальным конструкторским бюро по компрессоростроению (г.Казань). Центробежный двухступенчатый с горизонтальным разъемом компрессор (рис.2.14) агрегата ГПА-Ц-6,3 [1] состоит из двух звеньев: статора и ротора. Статор в свою очередь состоит из литого стального сферического корпуса 1, прикрепленных к нему с торцов корпусов 2, 3, в которых установлены опорный 4 и опорно-упорный 5 подшипники. Диафрагмы 6, 7, установленные в корпусе 1, совместно с ним образуют такие неподвижные элементы компрессора как камеру всасывания 8, диффузоры 9, обратно направляющий аппарат 10, сборную камеру 11 и задуммисное пространство 12. Подшипники 4, 5 обеспечивают необходимое положение ротора относительно статора компрессора в радиальном и осевом направлениях. Ротор компрессора состоит из вала 13, рабочих колес 14, 15 с промежуточной втулкой 16, думмиса 17, втулок 18, обладающих высокой износостойкостью с элементами крепления и герметизации, упорного диска 19 с элементами крепления, зубчатой полумуфты 20 и упругой торсионной муфты 21. Вращательное движение ротору сообщается через полумуфту 20. В свою очередь, торсионная муфта 21 передает вращательное движение основному насосу системы смазки и уплотнений 22.

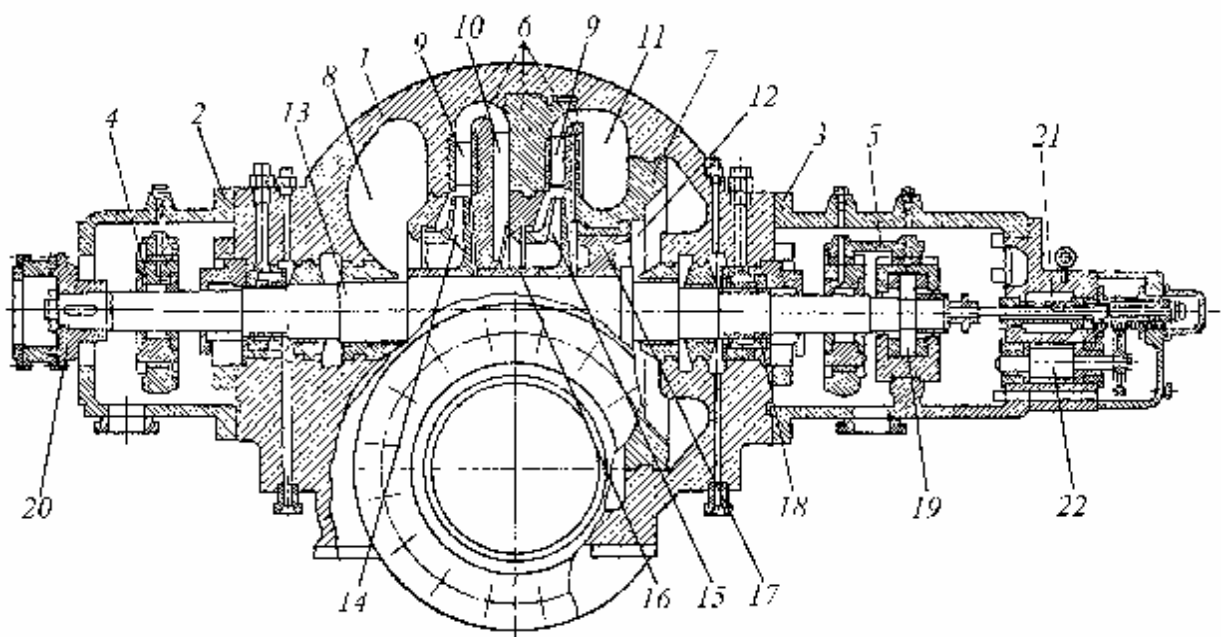


Рис.2.14. Двухступенчатый центробежный компрессор с горизонтальным разъемом корпуса ГПА-Ц-6,3 [2]

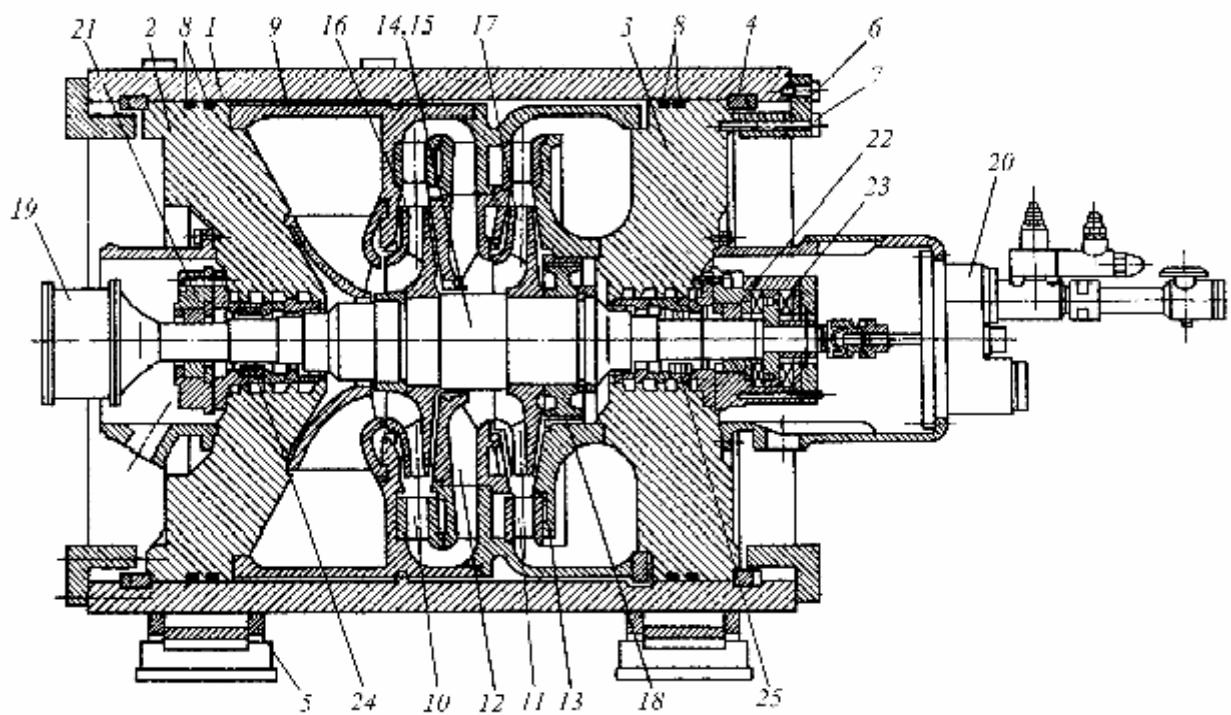


Рис.2.15. Двухступенчатый центробежный компрессор с вертикальным разъемом корпуса ГПА-Ц-16 [2]

Следующим ГПА с авиационным приводом, выпускаемый СМПО им. Фрунзе, является ГПА-Ц-16. В качестве привода здесь используется авиационный двигатель НК-16СТ мощностью 16 МВт.

Центробежный компрессор агрегата (рис.2.15) состоит из кованного цилиндрического наружного корпуса 1, закрытый с торцов крышками 2 и 3. Крышки в корпусе фиксируются разрезными кольцами 4. Входной и выходной патрубки компрессора, которые на рисунке не показаны, приварены к наружному корпусу в горизонтальной плоскости, проходящей через ось ротора и направлены в разные стороны. К корпусу приварены опорные лапы 5 и торцов прикреплены кронштейны 6 с отжимными болтами 7. На корпусе имеются также крюки для транспортировки компрессора, направляющие шпонки и кронштейн для установки гидроаккумуляторов системы смазки.

Герметичность компрессора обеспечивается резиновыми кольцами 8 круглого поперечного сечения.

Внутренний корпус 9 с осевым горизонтальным разъемом устанавливается в наружный и центрируется по отношению к нему с помощью крышек 2, 3. Во внутреннем корпусе установлены лопаточные диффузоры 10, 11, обратно направляющий аппарат 12, диафрагма сборной камеры 13 и другие закладные детали, образующие проточную часть компрессора. Внутренний корпус вместе с ротором 14 можно демонтировать из наружного без отсоединения компрессора от газопроводов.

Ротор 14 компрессора является отдельной сборочной единицей и представляет собой вал 15, с посаженным на него с натягом рабочими колесами 16, 17 и втулками, думмисом 18. Со стороны привода на вал насажена муфта торсиона 19, а к другому концу вала через промежуточный валик присоединен блок маслососов 20. Ротор по отношению к крышкам 2,3 и, следовательно, к корпусам, фиксируются с помощью двух радиальных 21, 22 и одного осевого 23 подшипников скольжения с самоустанавливающимися подушками. Герметичность компрессора по валу обеспечивается двумя концевыми уплотнениями 24, 25 с плавающими кольцами и с гидравлическим затвором.

Компрессор имеет надежную систему противопомпажной защиты путем перепуска части перекачиваемого газа по байпасной линии с нагнетания на вход. Регулирование режима работы компрессора осуществляется изменением частоты вращения силовой турбины. Во вновь создаваемых современных ГПА, например, типа “Волга” применяются центробежные компрессоры (рис.2.16) с сухими газодинамическими уплотнениями со спиральными канавками и магнитными подшипниками. Центробежный компрессор, в отличие от рассмотренного выше (рис.2.15), исполнен трехступенчатым и его ротор опирается на два радиальных 1 и один осевой 2 магнитных подшипника. Для обеспечения надежности работы компрессора в случае аварии с магнитными подшипниками предусмотрены два предохранительных подшипника качения 3, которые обеспечивают выбег ротора при аварийной остановке. Сухие газодинамические уплотнения 4 со спиральными канавками работают при очень малых зазорах (3...5 мкм) и поэтому пропускают небольшое количество газа, который можно направить на свечу.

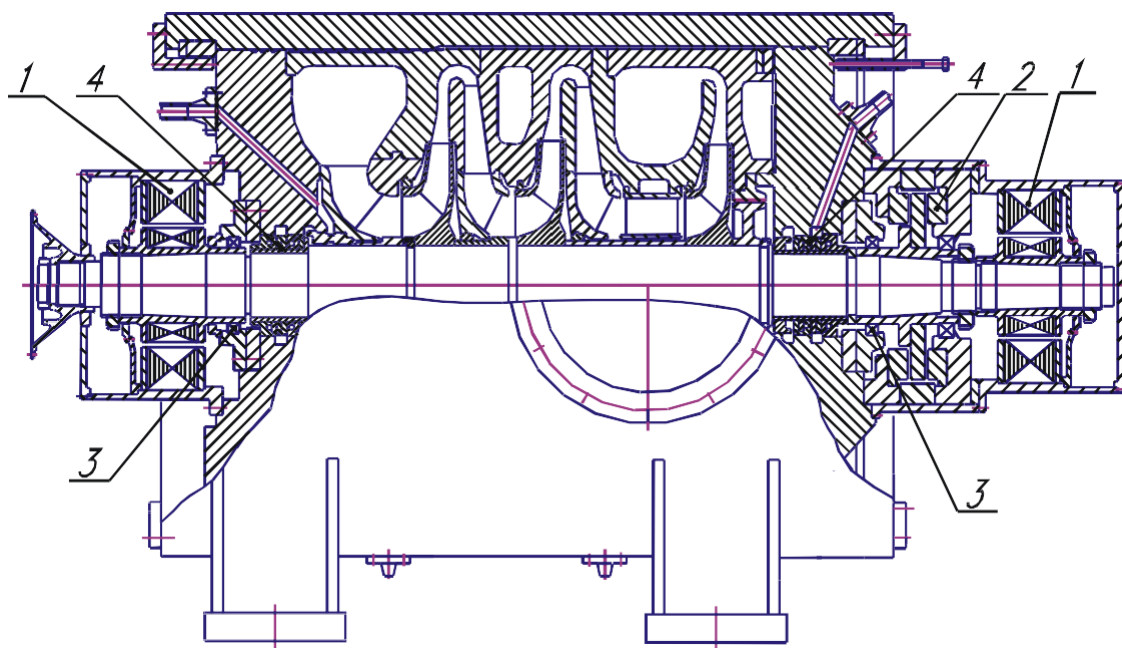


Рис.2.16. Трехступенчатый центробежный компрессор с вертикальным разъемом ГПА “Волга” конструкции НИИтурбокомпрессор

Преимуществом применения сухих газовых уплотнений является отсутствие загрязнения перекачиваемого газа маслом, резкое сокращение

потерь на трение в самих уплотнениях и исключение масляных систем смазки и уплотнений. Недостатком этих уплотнений является негерметичность, т.е. имеется выпуск некоторого, хотя и небольшого, количества газа на свечу.

Использование магнитных подшипников совместно с газодинамическими уплотнениями позволяет создать полностью сухой компрессор. Кроме того, магнитные подшипники позволяют уменьшить потери на трение в этих узлах. Однако это достигается за счет усложнения системы управления магнитными подшипниками, надежность которого в основном определяется надежностью системы управления.

Требования, предъявляемые к центробежным компрессорам ГПА

При создании центробежных компрессоров ГПА следует учитывать следующие требования [36]:

1. Номинальные параметры компрессора должны определяться при следующем расчетном составе и термодинамических свойствах природного газа (ГОСТ 23194-83) [19]:

- состав (мольные %): CH_4 -98,63; C_2H_6 -0,12; C_3H_8 -0,02; C_4H_{10} -0,1; CO_2 -1,01; N_2 -0,12;

-плотность (при +20°C и 0,101325 МПа), кг/м³ 0,682;

-удельная газовая постоянная, Дж/(кг*К) 506,9;

-температура на входе, °C +15.

2. Диапазон изменения параметров газа в различных газопроводах:

-плотность (при +20°C и 0,101325 МПа), кг/м³ 0,66...0,8;

-удельная газовая постоянная, Дж/(кг*К) 430–520;

-теплота сгорания, МДж/м³ 31,8–36.

3. Концентрационные пределы воспламенения газа от 5 до 17% (в смеси с воздухом при +20°C и 0,101325 МПа).

4. Изменение температуры газа на входе от –30°C до +60°C.

5. Допустимые примеси в газе:

-механические не более, мг/ м³ 3;

-при этом частицы размером более 20 мкм не более, мг/ м³ 0,15;

-максимальная относительная влажность при условиях

- всасывания, % 100;
- допускается кратковременное содержание жидких фракций,
 - массовая концентрация сероводорода не более, г/ м³ 0,07;
 - массовая концентрация меркаптановой серы не более, г/ м³ 0,016;
6. Рекомендуемый ряд номинальных значений отношений давлений: 1,25-1,35-1,44-(1,5)-1,7-2,2-3,0.
7. Рекомендуемый ряд расчетных давлений: 5,5-7,45-8,3 МПа для линейных КС. Для других КС эти значения можно найти в [36].
8. Политропный КПД компрессора на номинальном режиме должен соответствовать современному техническому уровню [36]. Например, для компрессоров ЛКС с давлением на выходе 5,5-7,45 МПа он должен находиться в пределах 0,82-0,85.
9. Номинальная мощность, потребляемая компрессором, должна соответствовать ряду мощностей ГПА, приведенной в разделе 2.3.4.
10. Номинальная производительность компрессора определяется расчетом при условиях п.п.1, 6, 7, 8, 9, 10.
11. Должна быть обеспечена устойчивая работа компрессора в диапазоне объемных производительностей 65-100% от номинальной без перепуска газа на линию всасывания.
12. Параметры модификаций компрессора при изменении отношения давлений в пределах 1,25; 1,35; 1,44 (1,5); 1,7 и давления на выходе в пределах 5,5; 7,45; 8,3 МПа должны обеспечиваться в оптимальном числе унифицированных корпусов за счет применения сменных проточных частей.
13. Конструкция компрессора должна обеспечивать работоспособность системы уплотнений во всем рабочем диапазоне давлений и не допускать попадание газа в машинный зал.

Прогрессивное техническое решение – исполнение опорно-уплотнительных узлов компрессора в “сухом”, безмасляном исполнении.

При использовании масляных опорно-уплотнительных узлов безвозвратные потери масла не должны превышать 0,2 кг/час. Должно быть исключено попадание масла в проточную часть компрессора.

14. Рабочий диапазон регулирования частоты вращения ротора компрессора должен быть в пределах не менее 70 – 105 % от номинальной частоты вращения.

15. Конструкция компрессора должна обеспечить удобство ремонта и переоснастки сменной проточной частью в условиях эксплуатации. Для этого должны быть предусмотрены необходимые приспособления.

16. Входные и выходные патрубки компрессора с технологическим газопроводом должны соединяться, как правило, с помощью фланцев.

17. Конструкция компрессора должна обеспечивать возможность проведения гидроиспытаний его технологической (газовой) обвязки.

18. Должно быть обеспечено измерение объемной производительности компрессора с погрешностью не более 3% для технологических нужд, а также для системы противопомпажного регулирования. Для этой цели рекомендуется применять внешний конфузор на входе компрессора.

19. Температура газа на выходе из компрессора линейных КС не должна превышать 80°C [25]. При достижении этой температуры система автоматического управления ГПА должна дать предупредительный сигнал.

20. Опорная рама компрессора должна быть выплонена отдельно от рамы ГТУ. При необходимости должно быть обеспечено монтажное соединение обеих рам без дополнительной подгонки.

21. Конструкция и материалы корпуса компрессора должны обеспечивать полный расчетный ресурс работы не менее 200 тыс. часов.

2.4 Воздухоочистительное устройство (ВОУ)

ВОУ предназначено для очистки от пыли и других механических примесей атмосферного воздуха поступающего в компрессор газотурбинного двигателя. Кроме того, ВОУ обеспечивает подвод горячих выхлопных газов или горячего воздуха к фильтровальным элементам с целью предотвращения обмерзания воздухозаборного тракта.

ВОУ (рис.2.17) состоит из каркаса 1 закрытого кожухом 2. Сбоку кожуха в нижней части имеется два окна 3 для поступления воздуха, прикрытые козырьками 4 от атмосферных осадков. Нижняя часть каркаса выполнена в виде рамы 5 с решеткой из круглых прутков. Она предназначена для выпуска очищенного воздуха и соединения с глушителем шума.

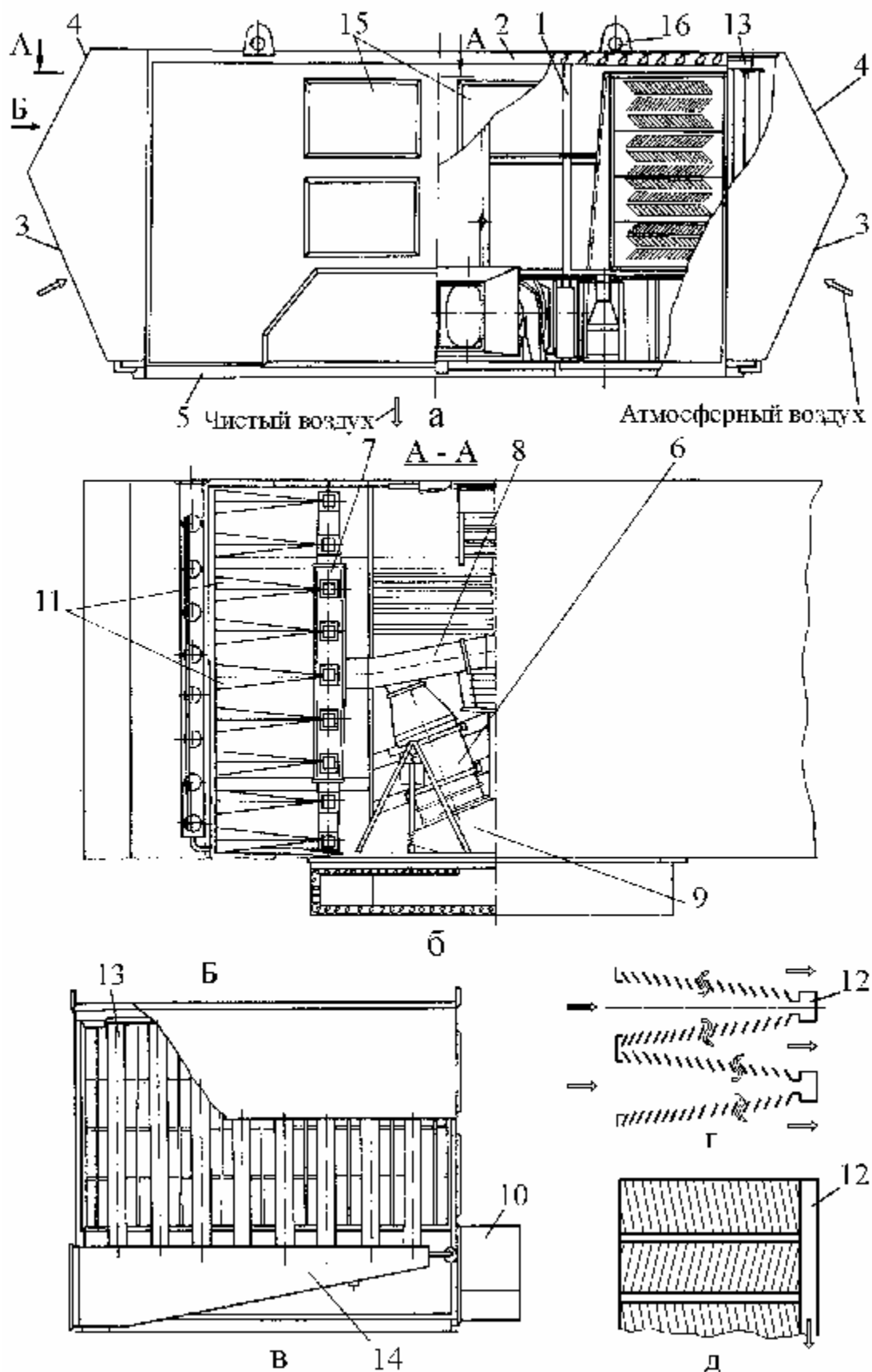


Рис.2.17. Блок воздухоочистительного устройства (БОУ) []:
а – фронтальная проекция; б – вид сверху; в – профиль;
г – схема инерционно-жалюзийного элемента; д – разрез элемента

На раме кожуха установлены вентиляторы б и короба отсоса пыли 7, 8, 9.

Пыль и механические примеси выбрасываются в атмосферу через глушитель шума 10.

Вентиляторы отсоса пыли соединены с коробами 8, 9 через эластичные компенсаторы. В коробах перед вентиляторами установлены автоматические заслонки, которые перекрывают проход для воздуха через неисправный вентилятор. На коробах отсоса пыли 7 установлены фильтровальные элементы 11, фланцы которых приварены к окнам в стенках камеры. Элементы представляют собой сужающиеся камеры с прямоугольным входным окном. Вертикально сходящиеся листы камер с прорезями (см. рис.2.17 г) работают как инерционно-жалюзийные сепараторы. В них отделение пыли происходит за счет резкого изменения направления движения. Пыль, имеющая большую инерцию из-за её высокой плотности по сравнению с воздухом, движется в прямом направлении и попадает в вертикальный короб 12. Стекая по коробу 12 (см. рис.2.17 д) вниз, в короб 7, пыль в дальнейшем отсасывается через короба 8, 9 вентиляторами 6. Вместе с пылью удаляется также около 10% поступающего в ВОУ воздуха. Инерционные фильтры эффективны для крупной пыли с размерами частиц более 10...15 мкм. В некоторых ГПА используются мультициклонные инерционные фильтры. В инерционных фильтрах удаляется от 85 до 95 % пыли. Для удаления мелкой пыли с размерами частиц менее 10 мкм, в качестве второй ступени очистки, используются рулонные (барьерные) фильтры с полотном из стекловолокна или других несгораемых материалов. Недостатком этих фильтров является повышенное сопротивление к потоку воздуха и его увеличение в процессе эксплуатации ГПА.

Решетки 13, изготовленные из труб и прямоугольных коробов 14 переменного сечения, установлены снаружи камеры и подсоединены фланцами к системе подогрева циклового воздуха. Они предназначены для подвода горячих выхлопных газов или горячего воздуха к фильтровальным элементам с целью предотвращения обмерзания воздухозаборного тракта.

На одной из стенок камеры размещены два байпасных клапана 15 для впуска воздуха в случае обмерзания фильтровальных элементов. Клапан представляет собой два сварных металлических щита прямоугольной формы,

закрепленных на осях и соединенных между собой системой рычагов с грузами. Грузы установлены подвижно и при открытии байпасных клапанов перемещаются на роликах по рычагам, фиксируя клапан в открытом положении.

Клапаны автоматически открываются при достижении в камере ВОУ разрежения 80 мм вод. ст., отключая при этом камеру от системы подготовки циклового воздуха. При снижении разрежения до 50 мм вод. ст., клапаны закрываются, грузы перемещаются в исходное положение. Для предотвращения примерзания щитов предусмотрен их обогрев по периметру прилегания к стенке камеры. С наружной стороны на окнах байпасных клапанов установлены металлические сетки.

Для осуществления транспортных и монтажных работ ВОУ снабжен грузовыми крюками 16.

2.5 Глушитель шума

Глушители предназначены для снижения уровня шума, возникающего при работе ГТУ. Глушитель шума, применяемый в ГПА, пластинчато- щелевого типа (рис.2.18) состоит из каркаса 1, панелей 2 и элементов глушения шума 3.

Каркас глушителя представляет собой сварную конструкцию, выполненную из швеллеров. Внутренняя стенка 4, изготовленная из гнутых профилей, делит проходное сечение глушителя на две равные части. К стенке и к внутренним сторонам каркаса крепятся обтекаемой формы пластины 5. Сварной каркас пластин выполнен из гнутых профилей и обшит с двух сторон перфорированным стальным листом. Пространство между листами обшивки заполнено звукопоглощающим материалом 6. Проемы каркаса закрыты приваренными панелями-щитами 2.

Панель представляет собой сварной прямоугольный каркас из гнутых профилей, обшитый с наружной стороны цельным, а с внутренней стороны перфорированным стальными листами. Пространство между листами заполнено звукоизоляционными матами.

Во входном тракте после ВОУ и на выхлопном тракте двигателя

устанавливаются по два глушителя шума. Глушители входного и выходного трактов изготавливаются из различных материалов. Герметичность стыков глушителей шума с соединяемыми устройствами обеспечивается асбестовым шнуром.

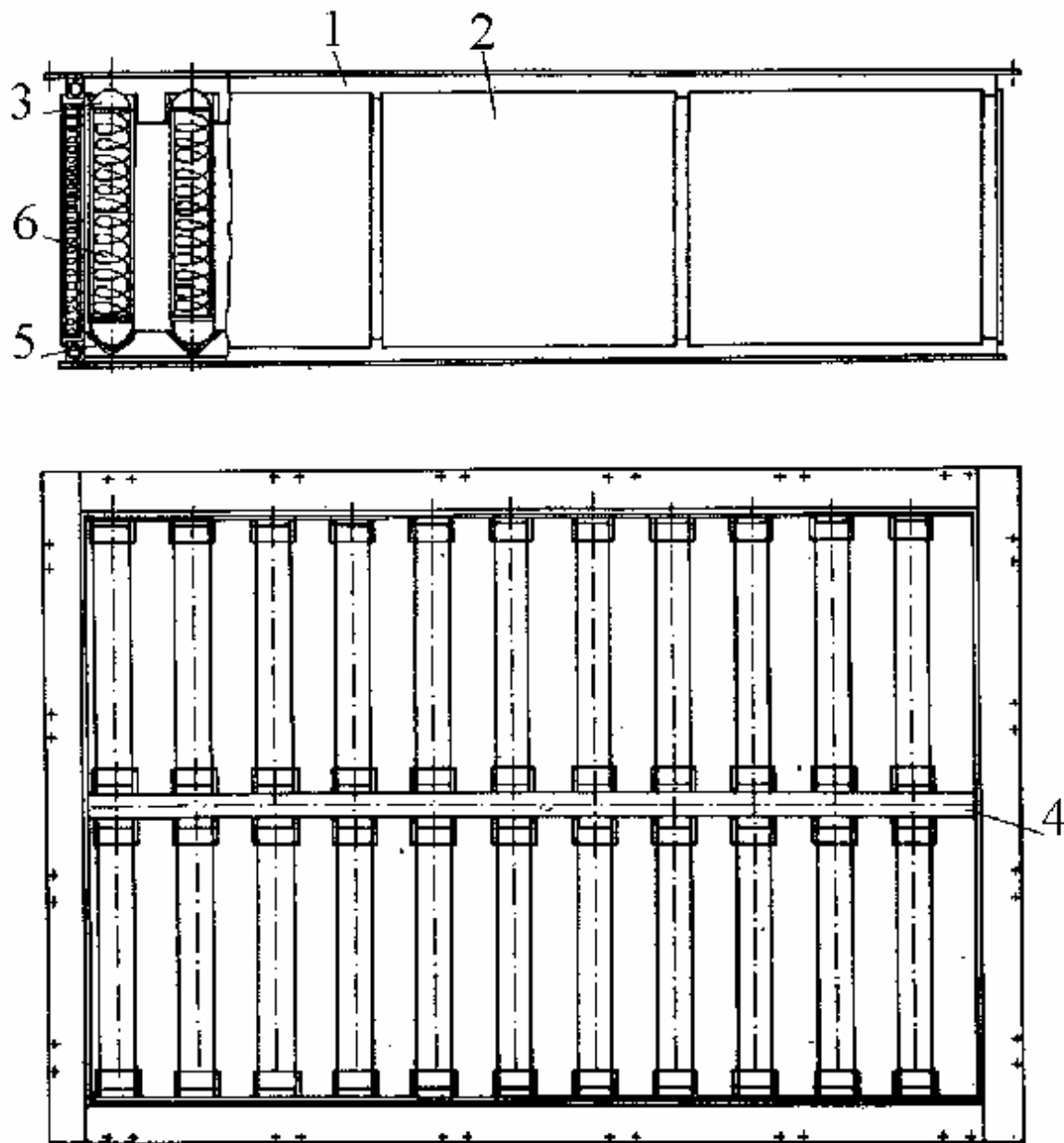


Рис.2.18. Глушитель шума

2.6 Камера всасывания

После выхода из второго глушителя шума воздушный поток попадает в камеру всасывания. Камера всасывания предназначена для поворота и формирования воздушного потока на входе в осевой компрессор ГТУ.

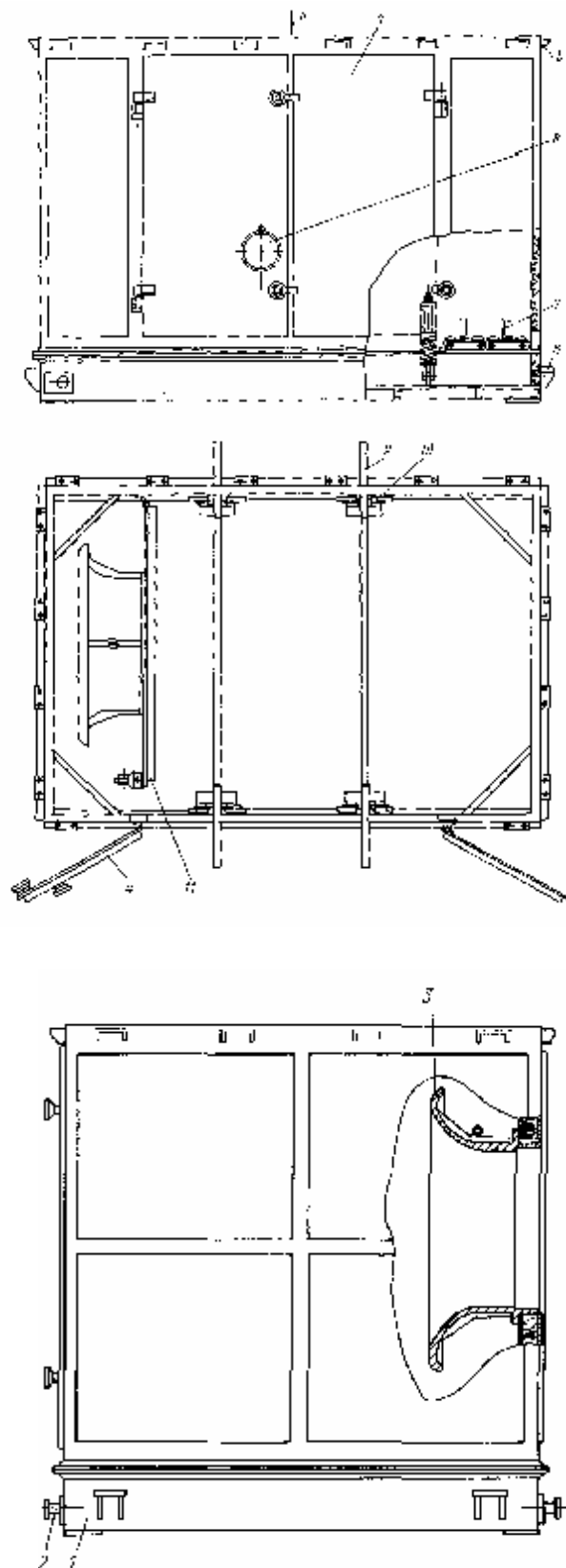


Рис.2.19. Камера всасывания

3 ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА И ПУСКОНАЛАДКИ ГПА

3.1 Монтаж стационарных ГПА

Монтаж стационарных ГПА состоит из установки оборудования, обвязки трубопроводами, кабелями и соединении с внешними источниками, например, импульсного, пускового и топливного газа, электроэнергии, воды т.д. Работы ведутся по правилам, используемым при общем монтаже технологического оборудования и стационарных компрессорных установок

Одним из важнейших этапов монтажа является установка оборудования на фундамент. Установка оборудования начинается с приемки залитого фундамента или установленных фундаментных плит заводской готовности. Приёмка фундамента под оборудование заключается в проверке его геометрических размеров и соответствии их чертежным данным. Особое внимание следует обратить на расположение и размеры анкерных колодцев под фундаментные болты. Поверхность фундамента должна быть чистой, без трещин, подтёков масла. Места установки подкладок, рам должны быть обработаны слабым раствором соляной кислоты и промыты водой. Также должна быть справка строительной лаборатории, подтверждающая фактическое качество бетона фундамента.

После приемки фундаментов начинается транспортировка оборудования к месту монтажа и его установка. Для транспортировки оборудования в КС и ГРС чаще всего используется подъезд автотранспорта с грузом непосредственно в зону монтажа или подъёмно-транспортных средств. В случае отсутствия такой возможности доставка оборудования осуществляется с помощью временных подъёмно-транспортных средств, например, трубоукладчиков и самоходных кранов. Возможна также доставка оборудования на транспортных платформах с помощью лебедок. Однако, такой способ является малопродуктивной и применяется только при транспортировке тяжелых грузов с большими габаритными размерами при отсутствии других возможностей. В случае транспортировки грузов этим способом категорически запрещается вместо лебедки использовать вертикальные подъёмные средства через блоки, например,

мостовой кран.

3.2 Монтаж блочных ГПА

При блочной поставке монтаж ГПА состоит из монтажа отдельных её блоков. В этом случае основным требованием к монтажу является правильная установка блоков согласно чертежной документации и их обвязка основными и вспомогательными трубопроводами. Основной сборочной единицей ГПА является турбоблок [2]. Он содержит в себе центробежный компрессор, двигатель и оборудования систем, размещенные на раме-маслобаке в двух отсеках контейнера. Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата, например, ГПА-Ц-16 (рис.3.4) проводят в следующем порядке, изложенном в [2].

Подготавливают опорные поверхности фундамента и на них укладывают плоскопараллельные или парные клиновые подкладки из стали. Толщину подкладок определяют по геодезической съемке фундамента. Площадь контакта между клиновыми подкладками и фундаментными плитами должна составлять не менее 75% от общей площади подкладки.

Для монтажа турбоблока, имеющего массу 70 т, используют либо один кран с грузоподъемностью свыше 70 тонн, либо два крана с грузоподъемностью свыше 40 т. Для подъема, перемещения и установки турбоблока используют траверсу и систему строп. При установке на фундамент необходимо обеспечить совпадение осей блока и фундамента. Горизонтальность установки блока проверяют с помощью уровней. Допустимое отклонение от горизонтальности должно быть не более 0,5 мм на длине 1 м. Высотный уровень и горизонтальность регулируют с помощью клиновых подкладок. По окончании установки турбоблока опускают в колодцы фундамента болты, предназначенные для его крепления. При этом расстояние от болта до стенок колодца должно быть не менее 65 мм. После проверки высотного и планового положений фундаментных болтов колодцы заливают бетоном. После отвердения бетона и достижения прочности не менее 60% производят предварительную затяжку болтов. При этом необходимо следить за показаниями уровней. После окончательной выверки правильности установки рамы блока клиновые и плоские подкладки, а также

опорные плиты фундамента сваривают между собой. Окончательную затяжку болтов производят после полного отвердения бетонной заливки.

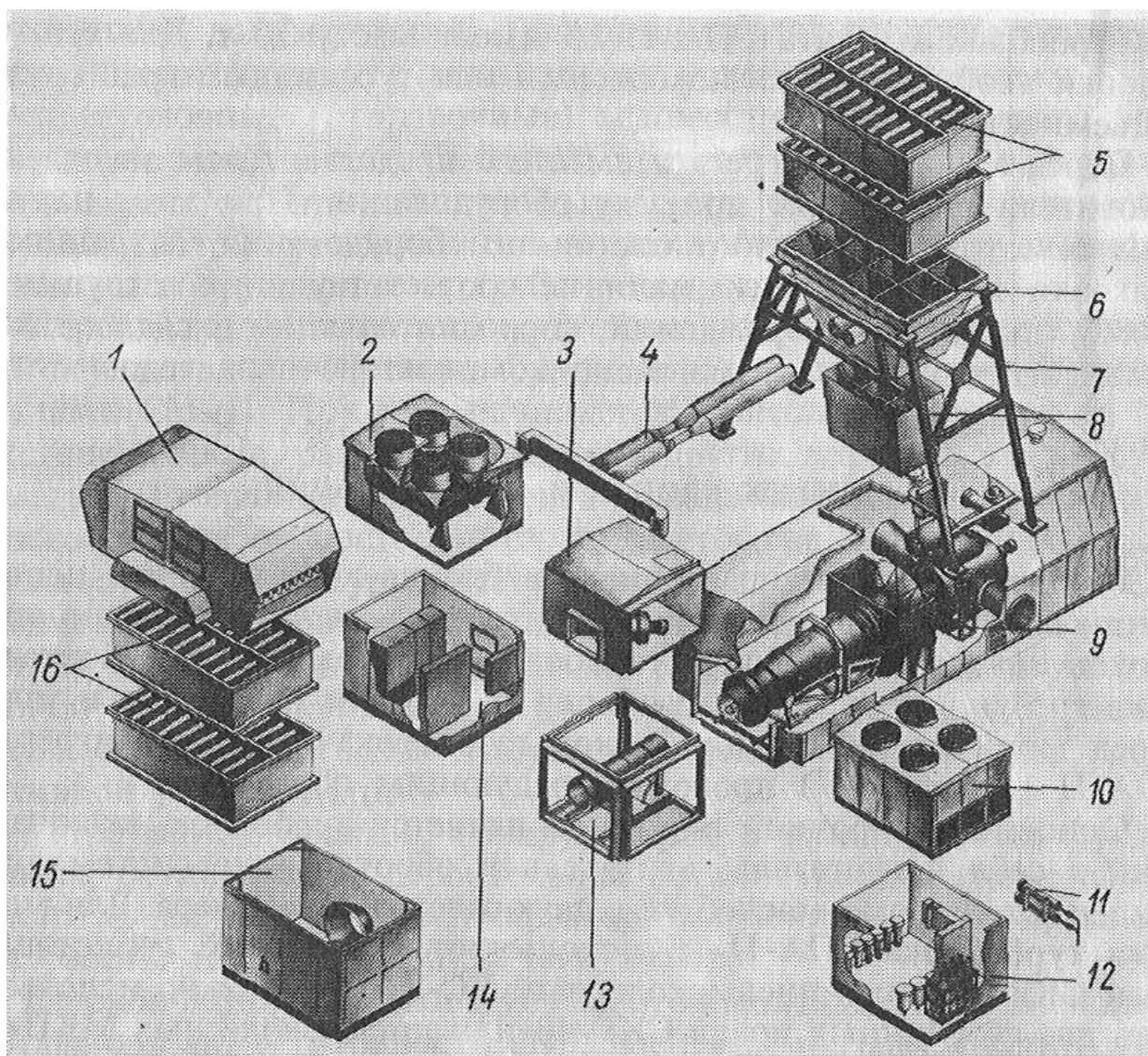


Рис.3.4. Блоки агрегата типа ГПА-Ц-16

1 – ВОУ; 2 – воздушные охладители масла; 3 – отсек вентиляции;
4 – трубопровод обогрева циклового воздуха; 5 –глушители шума
выхлопного тракта; 6 – выхлопное устройство; 7 – опора; 8 – диффузор;
9 – турбоблок; 10 – воздушные охладители масла; 11 – топливный
фильтр; 12 – блок масляных систем; 13 –промежуточная камера; 14 – блок
автоматического управления; 15 – всасывающая камера; 16 –глушители шума
всасывающего тракта

В дальнейшем снимают транспортные заглушки центробежного компрессора и устанавливают всасывающий и нагнетательный патрубки. На выхлопную линию устанавливают переходник. Навешивают переднюю, промежуточную и заднюю стенки контейнера турбоблока и устанавливают

боковые отсеки блока. После монтажа в блоке штатных грузоподъемных устройств устанавливают и закрепляют крыши отсеков двигателя и компрессора.

Следующим шагом является монтаж выхлопного устройства. Для этого на фундамент устанавливают его опору и крепят фундаментными болтами. При этом отклонение оси опоры выхлопного устройства от вертикали не должна превышать 0,5 мм на длине 1 м. На опору выхлопного устройства устанавливают диффузор. Отклонение оси диффузора от оси переходника не должна превышать 5 мм. Зазор по периметру между переходником улитки и фланцем диффузора, составляющий 50 мм, заполняют изоляционными матами и закрывают защитными козырьками. Далее монтируют глушитель шума и лестницу на выхлопное устройство.

Со стороны камеры всасывания отсека двигателя устанавливают переходник и далее монтируют на фундаменте блок систем обеспечения, включающий в себя блок автоматического управления, промежуточную камеру и блок маслоагрегатов. При стыковке блока систем обеспечения и турбоблока необходимо обеспечить совпадение рельсов устройства для выкатывания двигателя. Далее устанавливают переходник и монтируют на фундаменте камеру всасывания. При этом также необходимо обеспечить совпадение рельсов устройства для выкатывания двигателя. После монтажа этих блоков, располагающиеся между ними переходники соединяют с блоками сваркой. Затем производят подливку фундамента смонтированных блоков. Монтаж продолжают после полного отверждения бетона.

Два воздушных охладителя масла и отсек вентиляции устанавливают на блок систем обеспечения, а глушитель шума тракта всасывания – на камеру всасывания и закрепляют. Между отсеком вентиляции блока охладителей масла и глушителем шума тракта всасывания монтируют и приваривают по периметру переходник. На глушитель шума тракта всасывания монтируют устройство для очистки воздуха.

После окончания монтажа основных блоков агрегата монтируют блок фильтров топливного газа двигателя, систему подогрева циклового воздуха, трубопроводы суфлирования маслобаков двигателя и компрессора, коллектор

дренажа, лестницы, ограждения, переходы и ремонтные площадки. Затем стыкуют внутренние и межблочные трубопроводы, устанавливают дефлекторы на крыше отсека компрессора. При стыковке трубопроводов запрещается устранять зазоры между торцами труб или несовпадение осей труб путем нагрева или натяжения. Усилие при стыковке труб должно быть небольшим. Непараллельность фланцев компрессора и подключаемых технологических труб не должна превышать 0,3 мм.

В дальнейшем производят монтаж трубопроводов подвода топливного газа к блоку фильтров двигателя, сброса газа из турбостартера, заправкмасла в баки компрессора и двигателя из стационарной системы и слива в эту же систему, а также коллектора горячего воздуха.

По окончании монтажных работ на агрегате путем направленной подсветки визуально проверяют герметичность разделительных перегородок между отсеками двигателя и компрессора, а также между промежуточным отсеком системы обеспечения и отсеком вентиляции блока охладителей масла.

Как правило, агрегат поставляется к месту монтажа с отцентрованными на заводе-изготовителе роторами силовой турбины двигателя и компрессора. Поэтому после монтажа агрегата осуществляют проверку центровки в соединениях двигатель–торсионный вал и торсионный вал –компрессор, определяя перекося осей. Монтаж муфты и центровка валов приводится ниже. ГПА (рис.5.4) является достаточно сложным, пожаровзрывоопасным объектом и для его монтажа требуется высококвалифицированный персонал. Сложность объекта также можно видеть (рис.3.5) на примере отдельных местпоставок–монтажных блоков ГПА–16 “Волга”, монтаж которой ведется аналогичным образом.

После монтажа компрессора и установки двигателя начинается монтаж соединительной муфты. Однако, перед монтажом необходимо осуществить контроль центровки двигателя с центробежным компрессором и, в случае необходимости, довести её до нормального состояния. Контроль центровки допускается осуществить при температуре воздуха в помещениях не ниже +5°C и перепад температур в них не должен превышать 10°C.



Рис.3.5. Монтажные блоки ГПА–16 “Волга”

Центровку валов двигателя и компрессора рассмотрим на примере ГПА “Волга”. Вследствие того, что центробежный компрессор ГПА обвязан толстостенными трубопроводами большого диаметра и перемещение его затруднено, центровка осуществляется перемещением двигателя вместе с рамой. В ГПА “Волга” для перемещения рамы двигателя в горизонтальной плоскости в продольном и поперечном направлениях используются узлы с винтами 10, а в вертикальном направлении с винтами 9, клиньями 7, 8 и прокладками 5, 6 (рис.5.6). После монтажа непараллельность оси двигателя к плоскости его рамы должна быть не более 0,2 мм на длине 1000 мм, а смещение оси двигателя относительно оси стыковочного узла не более 1 мм и т.д. После монтажа компрессора его ось имеет такие же погрешности расположения относительно стыковочного узла.

С целью обеспечения возможности установки приспособлений с часовыми индикаторами ИЧ 10 осуществляют предварительную центровку валов. Для контроля предварительной центровки к фланцам валов двигателя и компрессора закрепляют приспособления-катушки 1, 2 (рис.3.7) с помощью болтов и гаек 3-6.

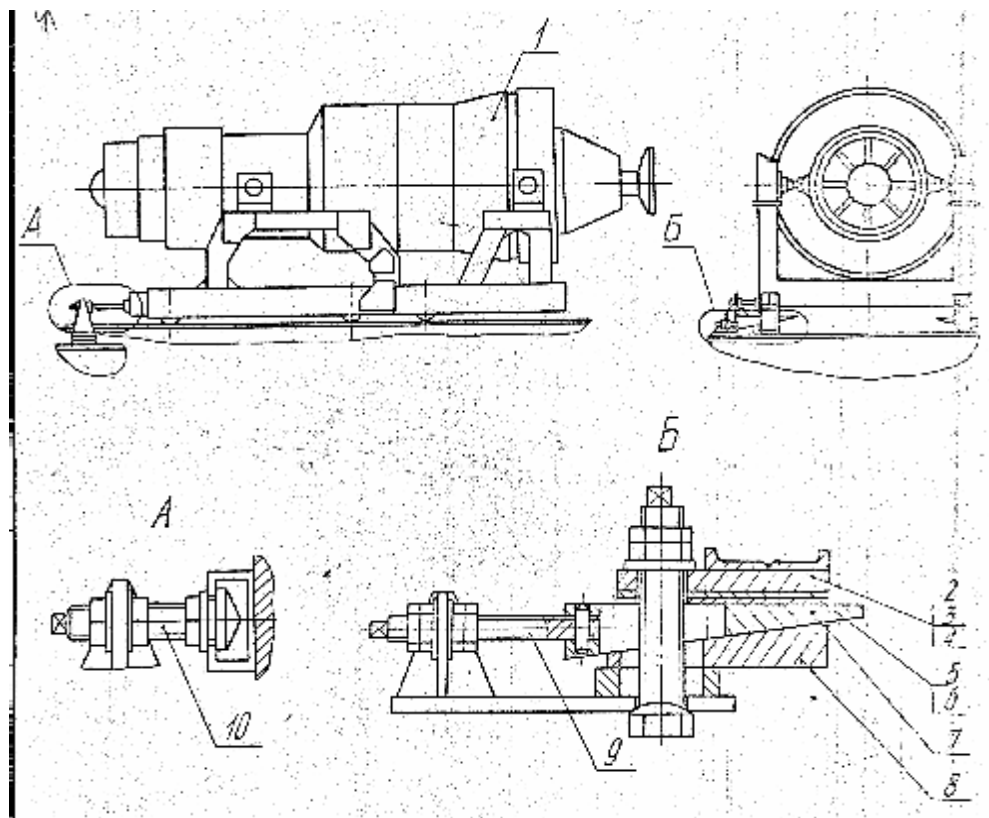


Рис.3.6. Узлы перемещения двигателя при центровке
 1 – двигатель; 2,3,4,5,6,8 – прокладки; 7 – клин; 9,10 – винты вертикального и горизонтального перемещения рамы двигателя

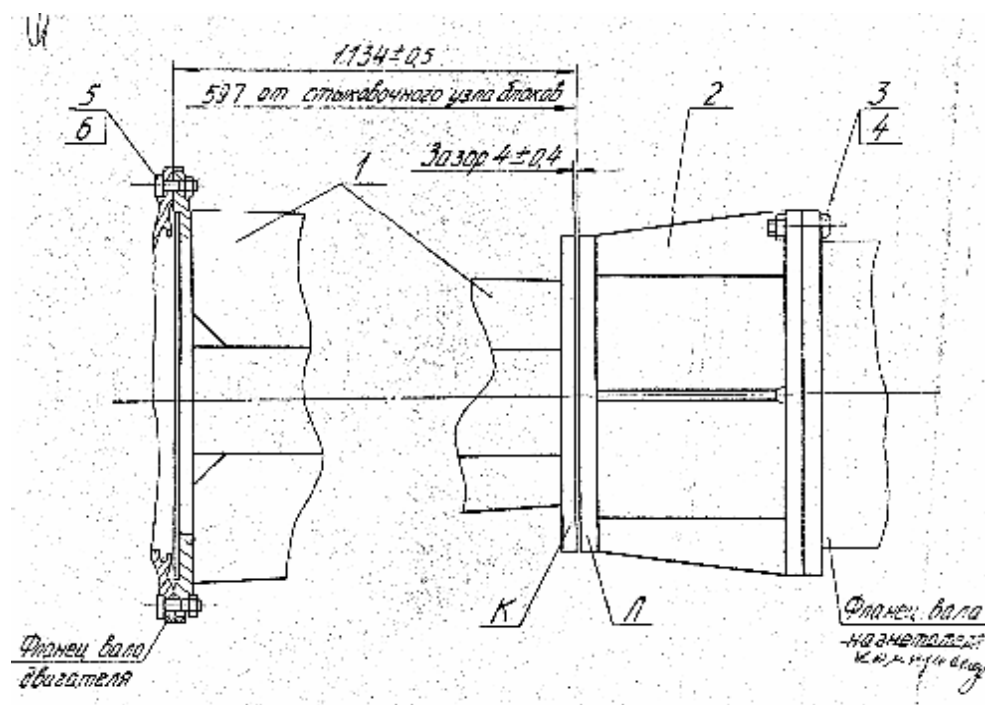


Рис.3.7. Монтаж приспособлений-катушек на фланцы валов двигателя и компрессора

1,2 – приспособления-катушки; 3,5 – болты; 4,6 – гайки

Проверяют зазор $4 \pm 0,4$ мм между фланцами К и Л, а также радиальное смещение этих фланцев, которое не должно превышать 1 мм. Если указанные зазор и смещение находятся в пределах допуска, то можно приступить к окончательной центровке валов двигателя и компрессора. В противном случае следует провести предварительную центровку, перемещая двигатель в нужную сторону с помощью винтов 9, 10 (см. рис 3.6).

С целью обеспечения более точного совмещения осей роторов двигателя и компрессора после предварительной центровки осуществляют окончательную центровку. Контроль производится при помощи приспособления (рис.5.8) с индикаторами. Приспособление позволяет измерить радиальное смещение и перекос осей роторов двигателя и компрессора. Как видно из рисунка, приспособление своим диском 7 закрепляется вместо снятой с фланца 6 вала компрессора катушки- приспособления. Приспособление содержит, закрепленный к фланцу 6, диск 7, кронштейны 8, индикатор 2 для измерения радиального смещения и 3, 4 для измерения перекоса осей. Индикаторы измерительными ножками опираются на фланец катушки-приспособления 1, закрепленного к фланцу 5 вала двигателя. Муфта 9 обеспечивает синхронность вращения роторов и исключает погрешности измерений параметров центровки от погрешностей установки приспособления. Способ измерения параметров расцентровки, т.е. радиального смещения и перекоса осей, а также центровка с указанным приспособлением является классическим и описаны во многих учебниках по монтажу и эксплуатации машин с вращающимися валами, поэтому здесь не рассматривается. Однако, на лабораторных занятиях эти измерения и центровка должны изучаться подробно.

После завершения операции центровки валов приступают к монтажу муфты. Рассмотрим монтаж мембранной муфты, наиболее часто применяющейся в последнее время.

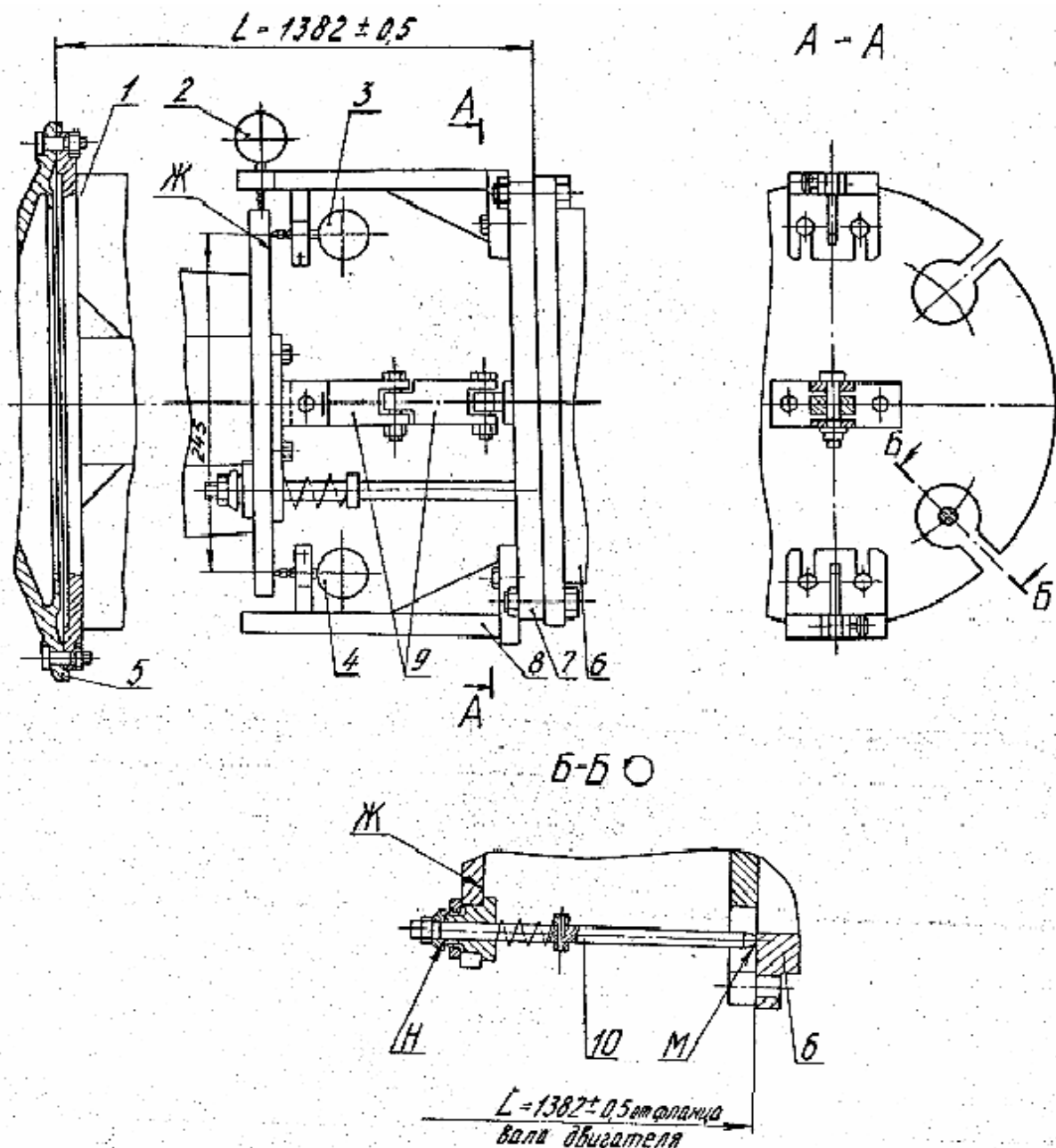


Рис.3.8. Приспособление для центровки

1 – штанга; 2,3,4 – индикаторы часового типа; 5,6 – фланцы валов двигателя и компрессора; 7 – диск; 8 – кронштейн; 9 – переходники; 10 – измерительный шток

Мембранная муфта, по сравнению с зубчатой, обладает следующими преимуществами:

- допускает более высокие значения радиального смещения и перекоса осей валов;

- не требует смазки.

К недостаткам этой муфты следует отнести малое допустимое значение

осевого смещения, значительные габаритные размеры и сложность монтажа.

Монтаж ведется в следующем порядке. После выгрузки муфты из контейнера и расконсервации, используя отжимные болты, т.е. ввинчивая их в отверстия d_2 и d_3 , следует расстыковать её по разъемам И и Е (рис.3.9). Разборку и сборку муфты следует вести аккуратно и избегать ударных нагрузок, а также обеспечить правильную установку болтов 16, 20, 24 и гаек 18, 21, 23 на свои места. Во избежание нарушения балансировки муфты перестановка болтов из одного места на другое не допускается, а также необходимо обеспечить правильную сборку передней мембраны 17, вала 19, и мембранного узла 22 со стороны компрессора в соответствии с маркировкой нулей, нанесенных при балансировке муфты. Необходимо также обратить внимание на сохранность контрящих свойств гаек. Проверка осуществляется путем наворачивания гайки на сопрягаемый болт от руки до упора в обжатую часть. При этом торец болта не должен выступать за торец гайки, однако может быть заподлицо с ним.

Отвернув болты 10, с помощью отжимных болтов, вворачиваемых в отверстия d , извлекают втулку 9 из вала. Вставляют валик 4 во втулку 9 и закрепляют его с помощью стопора 3 и гайки 2. Втулку 9 вместе с валиком 4 устанавливают на валу 1 двигателя и закрепляют болтами 10 с контровками 11, шайбами 12. При этом необходимо обеспечить равномерную затяжку болтов по встречной схеме и контровку для исключения самоотвинчивания. Закрепляют на фланце вала двигателя (рис.5.10) приспособление 1 и измеряют размер h_2 до торца валика 2 с точностью $\pm 0,05$ мм. Определяют размер $L_2 = K + h_2$, где K – размер, маркированный на приспособлении 1. Снимают приспособление с фланца двигателя и вычисляют толщину дистанционного кольца по формуле $T = L_1 - L_2$, где L_1 – размер (рис.5.9), приведенный в паспорте на муфту. Подбирают из набора дистанционное кольцо необходимой толщины с погрешностью не более 0,15 мм.

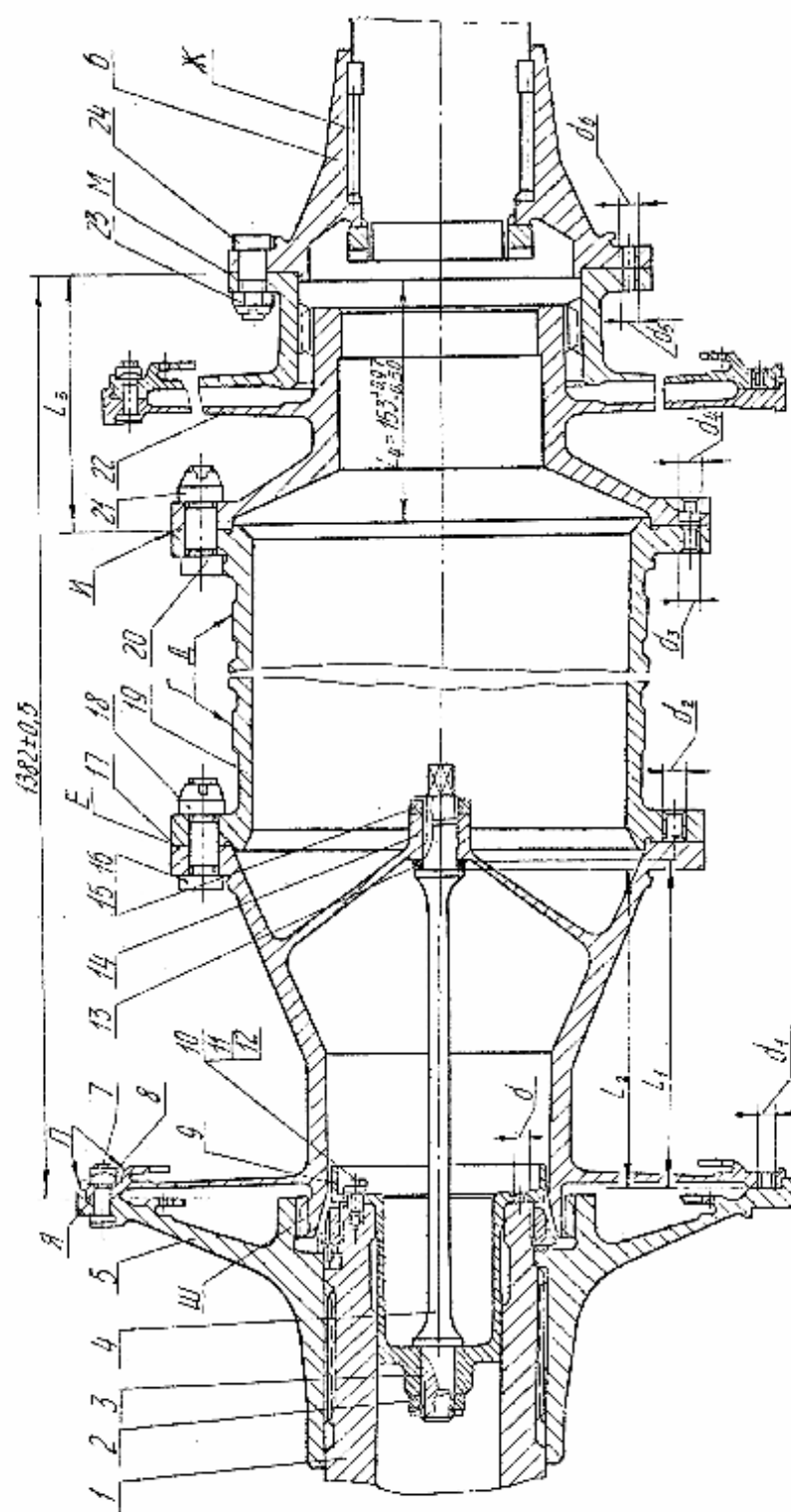


Рис.5.9. Монтажная схема муфты:

1 вал двигателя; 2,7,15,18,21,23 гайки; 3,14 стопор; 4 шпик; 5,6 фланцы вала двигателя и компрессора; 8,11 контровки;
9 втулка; 10,16,20,24 болт; 12 шайба; 17 мембрана передняя; 19 вал муфты; 22 задний мембранный узел

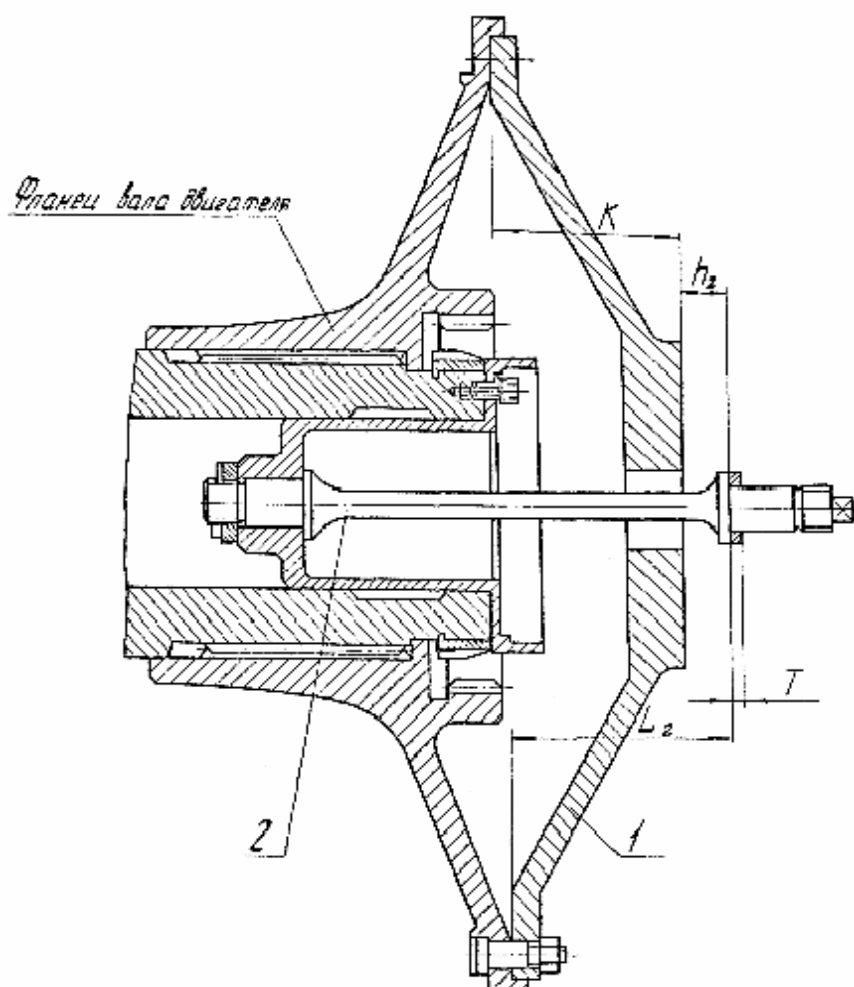


Рис 3.10. Приспособление для измерения
1 – переходник; 2 – валик

Смазывают пастой ВНИИНП–232 шлицы *III* (см. рис.3.9) на фланце двигателя и на передней мембране, затем устанавливают на валик 4 дистанционное кольцо 13, стопор 14 и переднюю мембрану 17. При установке мембраны необходимо совместить маркированные знаки. Для удержания ротора от поворота на фланце мембраны 17 закрепляют фиксатор и равномерно затягивают по встречной схеме гайки 7 в стыке *Я* с заданным в инструкции крутящим моментом. Снимают фиксатор и наворачивают гайку 15 на валик 4. При затяжке гаек 15 следует удерживать валик от поворота ключом. Используя штатный кран блока компрессора ГПА, на переднюю мембрану монтируют вал 19 муфты (см. рис.3.9). При монтаже необходимо совместить нулевые метки взаимного расположения фланцев стыка *Е*, нанесенные при балансировке, а также следить за правильной установкой болтов 16 со своими гайками 18 в

соответствии с маркировкой. Затяжку гаек следует вести равномерно по встречной схеме, указанной в инструкции. Необходимо установить опорную стойку 1 под вал муфты (рис.3.11). С точностью $\pm 0,05$ мм измеряют фактический размер L_3 (см. рис.3.9) между валом 19 муфты и фланцем 6 компрессора. Данные измерения вносят в формуляр установки. Измеряют размер L_4 , обеспечивающий свободный монтаж мембранного узла со стороны компрессора. С помощью сжимающих скоб 1, 2 (рис.3.11), обеспечив равномерное сжатие мембранного узла, и грузоподъемного устройства мембранный узел вводят в пространство между фланцами компрессора и вала муфты. Совмещают нанесенные при балансировке нулевые метки взаимного расположения фланцев стыка *И*. Устанавливают в стык *И* болты 20 и наворачивают гайки 21. Поворачивая ротор компрессора, совмещают крепежные отверстия во фланцах стыка *М* (см. рис 3.9) и устанавливают болты 24 с гайками 23. Освобождают болты стяжных скоб и снимают их с мембранного узла. Убирают опорную стойку из-под вала. На периферии мембранного узла закрепляют фиксатор ротора и затягивают гайки 23 по встречной схеме с крутящим моментом, указанным в инструкции по монтажу. Снимают фиксатор ротора. Проверяют качество монтажа муфты путем измерения радиальных биений поверхностей *Г* и *Д* вала муфты с помощью индикаторных часов и стойки (рис.3.12). Биение поверхностей не должно превышать допустимое, значение которого указано в инструкции по монтажу. Фактические значения биений следует занести в формуляр установки. После этого индикаторная стойка демонтируется.

Контроль центровки после монтажа муфты и в процессе эксплуатации осуществляется с помощью приспособлений и по методике, изложенной в разделе по пуско-наладке ГПА. После завершения контроля центровки валов осуществляют монтаж кожуха муфты.

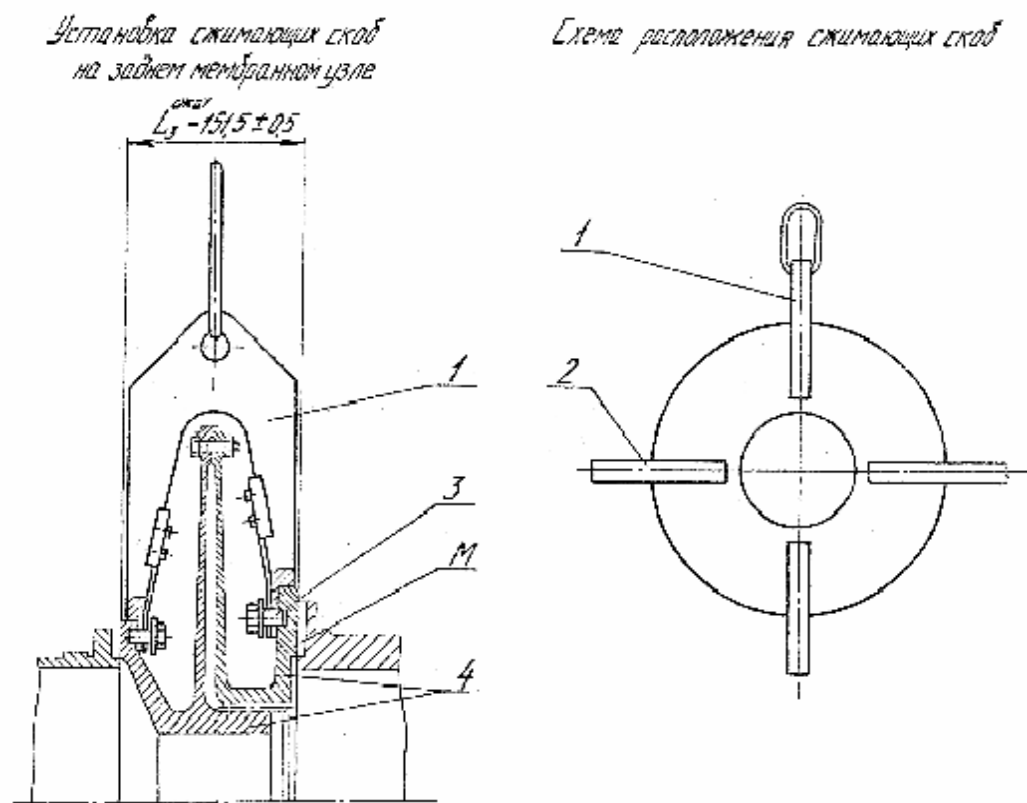


Рис 3.11. Установка сжимающих скоб на заднем мембранном узле

1,2 – скобы; 3 – болт; 4 – задний мембранный узел

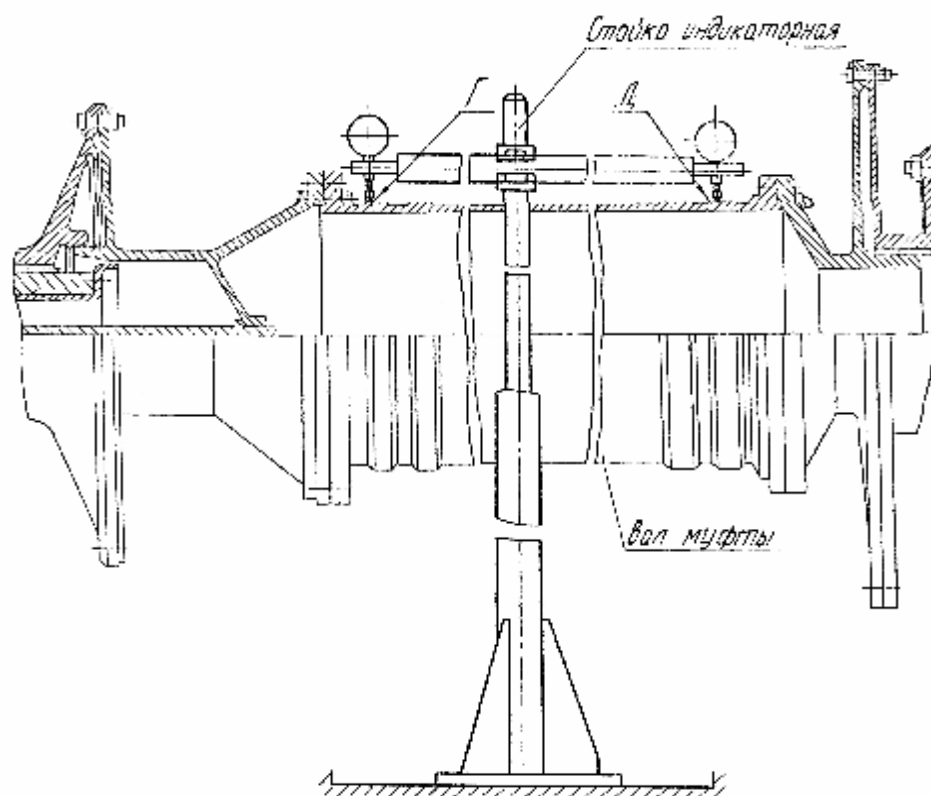


Рис.3.12 Установка индикаторной стойки для контроля биений на валу муфты

3.3 Пусконаладочные работы ГПА

Пуско-наладочные работы должны вестись по заранее разработанной и согласованной с заинтересованными сторонами программе. Все пуско-наладочные работы, ведущиеся на ГПА, должны регистрироваться в специальном журнале с прошитыми и пронумерованными страницами. Пуско-наладочные работы проводятся по блокам, системам ГПА с оформлением акта и исполнительного документа в виде проверочной карты. Поэтому общая программа пуско-наладочных работ состоит из отдельных программ и включает следующие блоки и системы:

- блок компрессора;
- систему управления магнитных подшипников или смазки гидродинамических подшипников компрессора;
- систему концевых уплотнений с гидравлическим или газовым затвором;
- муфты агрегата;
- блок электроснабжения (БЭС) и межблочной кабельной разводки (МКР);
- систему автоматизированного управления (САУ) ГПА;
- блоки воздухозаборной системы;
- блоки системы выхлопа;
- утилизационный теплообменник;
- противообледенительная система (ПОС);
- трубопроводная арматура ГПА;
- блок топливного и пускового газа (пускового воздуха);
- блоки системы обеспечения воздухом;
- блоки системы газовой коммуникации центробежной нагнетательной установки (УНЦ);
- установку приводную газотурбинную (УПГ);
- система автоматического тушения пожара УПГ;
- газотурбинный двигатель;
- МСКУ 4510-18

Пуско-наладочные работы по блоку компрессора включают полную ревизию компрессора с проверкой приспособлений, удобства обслуживания в условиях эксплуатации и обучение ремонтного персонала. Проверяются также работа вентиляторов, тепловых электронагревательных приборов, систем загазованности с включением световых и звуковых сигналов, освещения, работоспособность датчиков давлений, температур, срабатывание защит и блокировок по давлениям и температурам, средства защиты от взрыва и работа систем автоматического тушения пожара с включением световой и звуковой сигнализаций.

Пуско-наладочные работы по системе управления магнитных подшипников должна проводиться с участием специалистов-разработчиков. Они включают проверку сопротивлений цепей датчиков и электромагнитов, а также сопротивления изоляции разобращенных цепей кабелей и подшипников. Следует проверять также сигналы с датчиков положения ротора, функционирование системы в целом с включением электромагнитов. Необходимо снять частотные характеристики включенных каналов системы. Работа завершается проверкой функционирования системы магнитных подшипников при прокрутке ротора в диапазоне частот вращения, указанного в программе, например, 1000...5600 об/мин для ГПА-16 «Волга».

Пуско-наладочные работы по системе смазки гидродинамических подшипников компрессора включает проверку правильности монтажа, комплектности и работоспособности запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов. Также проверяется наличие масла в системе, работоспособность масляных насосов. После этого начинают прокачку системы, включив насосы. Если насосы имеют привод от механизма движения компрессора, то прокачку осуществляют пусковым насосом. При прокачке проверяют поступление масла ко всем смазываемым точкам по контрольным маслоуказателям, либо ослаблением разъемных соединений, либо ощупью по нагреванию узла. Также необходимо проверить слив масла из трубопроводов в маслбак или картер компрессора. Чистоту прокачиваемого масла контролируют установкой сетки с марлевой салфеткой в одном из фланцевых соединений на

нагнетательной линии насоса. Прокачку ведут до тех пор, пока салфетка не будет оставаться чистой. После этого промывают фильтры и заменяют фильтрующие элементы. При прокачке следует проверить работу редукционного клапана и настроить его на соответствующее по документации давление. По окончании промывки масло сливают из системы и заправляют свежим маслом, а слитое масло отправляют на регенерацию.

Пуско-наладочные работы по системе концевых уплотнений с гидравлическим затвором производятся совместно с пуско-наладкой системы смазки. После наладки системы смазки в системе уплотнений необходимо дополнительно проверить герметичность трубопроводов, работу дополнительных насосов, редукционного клапана и настроить его на соответствующее по документации давление. Также необходимо проверять систему уплотнения на обеспечение гидравлического затвора, т.е. поддержания перепада давления между уплотняемым газом и затворной средой.

Пуско-наладочные работы по системе концевых уплотнений с газовым затвором включает проверку герметичности системы, чистоты затворного газа, работы блокировок от неисправности «сухих» уплотнений. Пуско-наладку системы с концевыми уплотнениями следует проводить в присутствии представителей и по программе разработчика.

Пуско-наладочные работы по муфте агрегата включают контроль центровки валов двигателя и компрессора, а в случае необходимости устранение перекоса до нормированного значения, конкретная величина которого берется из технической документации. После оформления акта центровки с фактическими величинами перекосов, муфта в составе агрегата должна работать не менее 24 часов. По истечении установленного времени необходимо вновь осуществить контроль центровки валов двигателя и компрессора. При соответствии центровки нормам необходимо оформить акты с фактическими величинами перекосов и заключением о готовности муфты к предварительным испытаниям в составе ГПА.

Центровка валов двигателя и компрессора ГПА имеют некоторые особенности по сравнению с центровкой вращающихся валов компрессоров

классического исполнения. Из-за больших диаметров входного, выходного патрубков и соединяемых с ними труб, а также значительной толщины стенок труб при центровке за базу принимается центробежный компрессор, и погрешности центровки устраняются за счет перемещения двигателя. Кроме того, промежуточный вал муфты имеет значительную длину и поэтому для контроля центровки используется два приспособления, одно из которых закрепляется у фланца вала двигателя, а другое у фланца вала компрессора. Эти приспособления обеспечивают измерение величин перекосов осей валов двигателя и компрессора относительно оси вала муфты.

Для контроля центровки валов двигателя и компрессора необходимо:

1. Закрепить на валу муфты (рис.5.28) два приспособления 5 и установить в их зажимах индикаторы ИЧ-10 класса 0 ГОСТ 577–68, обеспечив при этом показания малых стрелок 3мм. Между индикаторами 1 (Р) и 2 (Q) должно быть расстояние А (например, для ГПА «Волга» А=480 мм), что соответствует, как правило, их установке по осям крепежных болтов, а между индикаторами 3 (R) и 4 (S) должно быть расстояние Б (например, для ГПА «Волга» Б=290 мм). Индикаторами 1 (Р) и 2 (Q) определяется перекося в соединении «двигатель – вал муфты», а индикаторами 3 (R) и 4 (S) – перекося в соединении «компрессор – вал муфты». Доворачивая шкалу каждого индикатора до совмещения нуля шкалы с большой стрелкой, проверяют работу индикаторов. Производят полный оборот роторов двигателя и компрессора и контролируют возврат стрелок индикаторов в исходное положение.

2 Повернуть роторы двигателя и компрессора на полный оборот, проконтролировав и записав максимальные значения разности S – R и Q – P. Отношения

$$\alpha_k = (S - R)/B \leq [\alpha_k], \quad (3.1)$$

$$\alpha_d = (Q - P)/A \leq [\alpha_d], \quad (3.2)$$

показывают величины углов перекося между осями валов компрессора α_k , двигателя α_d и осью вала муфты. Допустимые значения углов перекося $[\alpha_k]$, $[\alpha_d]$ определяются компенсационной способностью муфты, т.е. её

конструкцией. Однако, с точки зрения удобства проведения центровки чаще всего в инструкциях задают допуск на центровку в виде половины разности показаний индикаторов, т.е.

$$(S-R)/2 \leq \Pi_{д1}, \quad (3.3)$$

$$(Q-P)/2 \leq \Pi_{д2}, \quad (3.4)$$

где $\Pi_{д1}$, $\Pi_{д2}$ допустимые величины перекосов в соединениях «двигатель – вал муфты» и «компрессор – вал муфты».

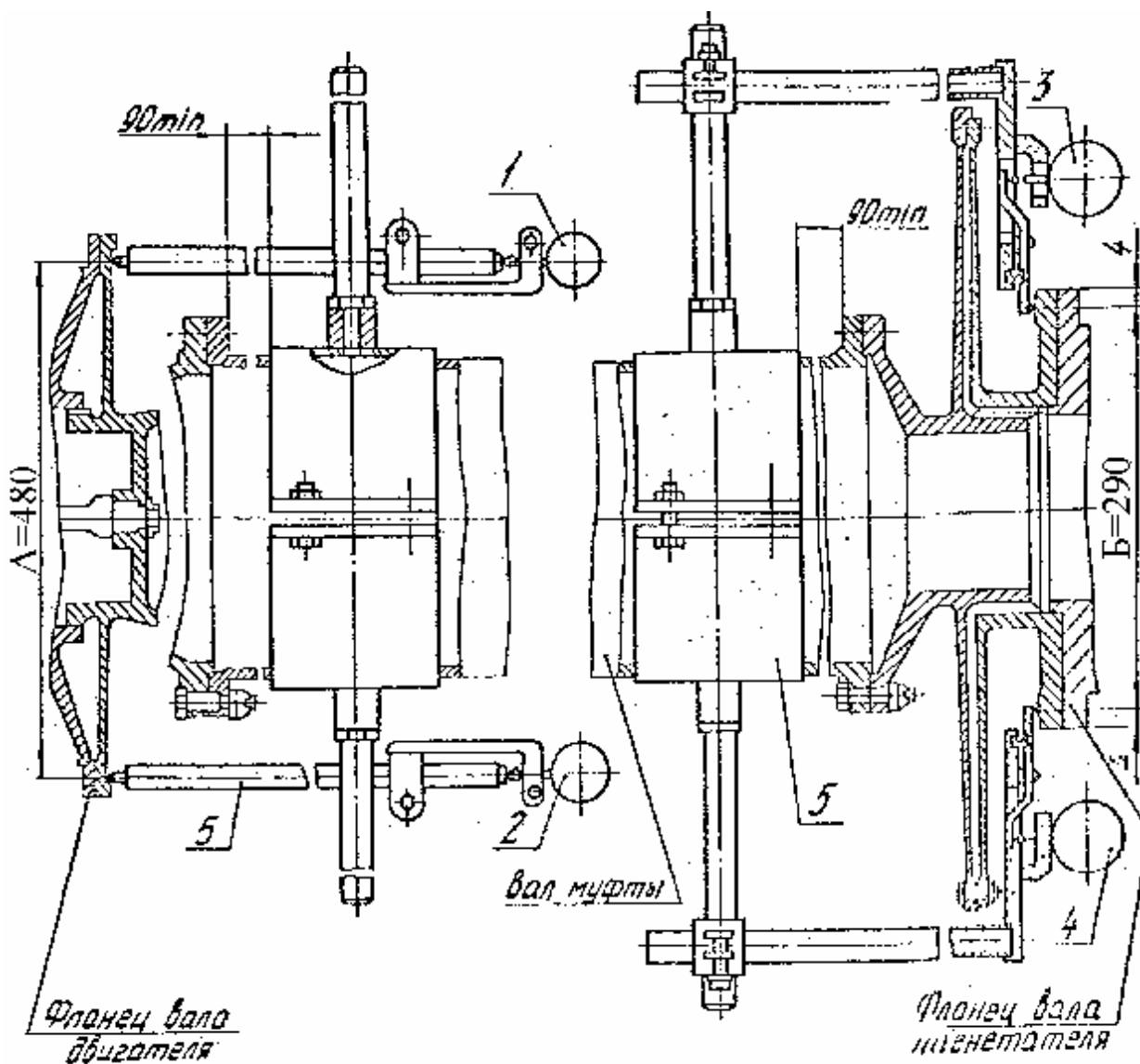


Рис.3.28. Схема установки приспособлений на валу муфты ГПА-16 «Волга» для контроля перекоса осей

1– индикатор Р, 2– индикатор Q, 3– индикатор R, 4– индикатор S, 5– приспособление

Например, для ГПА-16 «Волга» они равны $P_{д1}=0,13$ мм, $P_{д2}=0,07$ мм. Следовательно, если условия (3.3) и (3.4) удовлетворяются, то центровка соответствует норме. Однако допуски $P_{д1}$, $P_{д2}$ могут применяться только для конкретной ГПА при использовании приспособлений со штатными размерами А и Б. При использовании приспособлений с другими размерами А и Б допуски $P_{д1}$, $P_{д2}$ необходимо пересчитать через формулы (3.1), (3.2), обеспечив при этом постоянство допустимых значений $[\alpha_k]$ и $[\alpha_d]$.

Если центровка соответствует норме, то фактические значения перекосов необходимо занести в формуляр и оформить акт о центровке.

Если же условия (3.3) и (3.4) не удовлетворяются, то необходимо определить величины перекосов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, после чего выполнить центровку валов. Для этого необходимо установить индикаторы в вертикальной плоскости и совместить нуль шкалы с большой стрелкой индикаторов (рис.5.29), обеспечив при этом показания малой стрелки 3 мм. Повернуть соединенные роторы на 180° , отслеживая движение стрелок индикаторов и записать их показания, т.е. значения S_v , R_v , Q_v , P_v .

Далее индикаторы устанавливают в горизонтальной плоскости и совмещают нуль шкалы с большой стрелкой индикаторов (рис.5.30), обеспечив при этом показания малой стрелки 3 мм. Поворачивают соединенные роторы на 180° , отслеживая движение стрелок индикаторов и записывают их показания, т.е. значения S_g , R_g , Q_g , P_g .

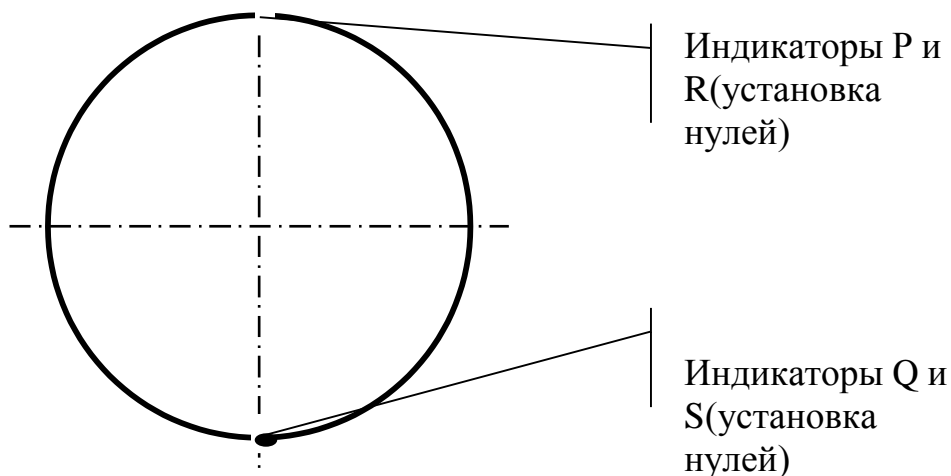


Рис 3.29.Схема измерения расцентровки валов в вертикальной плоскости

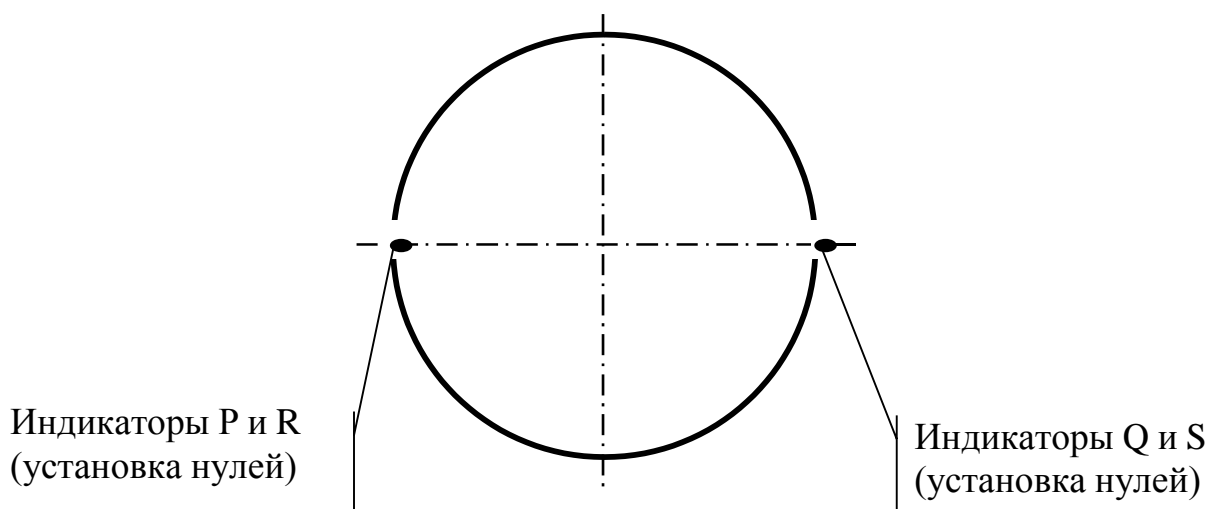


Рис 3.30 Схема измерения расцентровки в горизонтальной плоскости

Если вычисленные величины $(S_B - R_B)/2$ и $(Q_B - P_B)/2$ имеют знак “плюс”, то мембранный узел муфты у фланца компрессора и двигателя сжат в направлении первоначальной установки индикаторов R и P. Если вычисленные величины $(S_G - R_G)/2$ и $(Q_G - P_G)/2$ имеют знак “плюс”, то мембранный узел муфты у фланца компрессора и двигателя сжат в направлении первоначальной установки индикаторов R и P. Проводят подцентровку компрессора и двигателя, контролируя величины перекосов, как описано выше. Подцентровку осуществляют, как правило, путем перемещения рамы двигателя. Например, для устранения перекоса в переднем (у двигателя) мембранном узле ГПА-16 “Волга” на величину 0,1 мм на диаметре 480 мм (рис.5.31) необходимо повернуть двигатель относительно переднего мембранного узла. Величину перемещения рамы двигателя под опорами 4 и 5 можно определить, исходя из следующих соотношений:

$$\text{под опорой 4 } \Delta_4 = 0,1 * K_d / A = 0,1 * 1350 / 480 = 0,28 \text{ мм};$$

$$\text{под опорой 5 } \Delta_5 = 0,1 * (K_d + B) / A = 0,1 * (1350 + 3480) / 480 = 1 \text{ мм}.$$

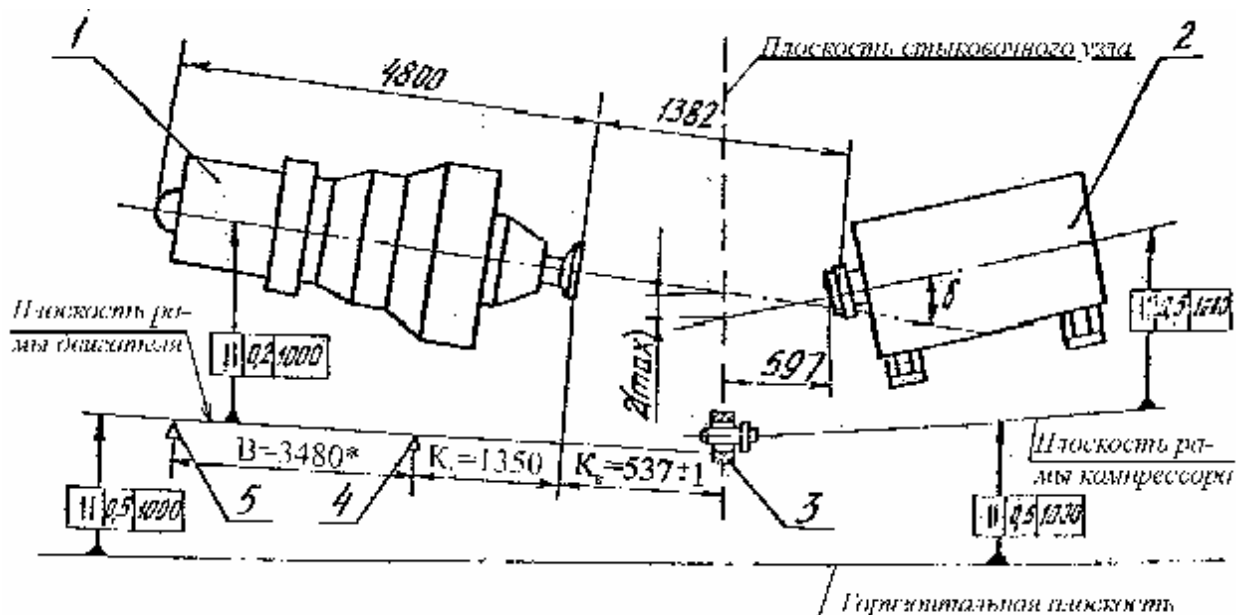


Рис.3.31 Схема расположения двигателя и компрессора после монтажа
1— двигатель, 2— компрессор, 3— стыковочный узел блоков, 4, 5— клинья
вертикального перемещения двигателя

Для устранения перекоса в заднем (у компрессора) мембранном узле на величину 0,1 мм на диаметре 290 мм (рис.5.31) необходимо повернуть двигатель относительно заднего мембранного узла. Величину перемещения рамы двигателя под опорами 4 и 5 можно определить, исходя из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \text{под опорой 4 } \Delta_4 &= 0,1 * (845 + K_k + K_d) / B = 0,1 * (845 + 537 + 1350) / 290 = 0,94 \text{ мм;} \\ \text{под опорой 5 } \Delta_5 &= 0,1 * (845 + K_k + K_d + B) / B = \\ &= 0,1 * (845 + 537 + 1350 + 3480) / 290 = 2,14 \text{ мм.} \end{aligned}$$

После завершения центровки фактические значения перекосов необходимо занести в формуляр и оформить акт о центровке.

Пуско-наладочные работы по блоку электроснабжения (БЭС) и межблочной кабельной разводки (МКР) включают проверку законченности монтажа электрооборудования и кабелей, укомплектованности блока средствами защиты и тушения пожара, замеры сопротивлений изоляции комплектующих устройств, силового щита и всех фидеров при отключенных автоматических выключателях на силовом щите. Необходимо также проверить тепловые и электромагнитные расцепители автоматических выключателей силового щита, тепловые реле магнитных пускателей. Проверить законченность

монтажных работ по МКР, т.е.:

- наличие на кабелях маркировочных бирок;
- заземление кабельных панелей;
- заземление брони и оплеток кабелей;
- наличие кожухов для защиты кабельных трасс и их заземление;
- уплотнение вводов кабелей в блоки;
- уплотнение вводов в электрооборудование, надежность и качество

подключения жил кабелей.

Следует проверить подачу электропитания на силовом щите БЭС с напряжениями 380 В и 220В, частотой 50 Гц, а также постоянного тока с напряжением 27 В. Необходимо проверить на силовом щите переключение вводов с основного на резервный и наоборот. Необходимо измерить освещенность в БЭС от сети основного освещения, проверка перехода на аварийное питание. Следует проверить работу электрических грелок в ручном и автоматическом режимах, настройку реле температуры, функционирование схем ручного и дистанционного управления включения и отключения электрического питания фидеров.

Результаты проверок необходимо оформлять в соответствии с программой и методикой испытаний.

Пуско-наладочные работы по системе автоматизированного управления (САУ) включают проверку: параметров питания и потребляемой мощности комплекса; работоспособности комплекса при питании от резервной сети; ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов; функций управления и автоматического контроля работоспособности САУ; функционирования защит на неработающем агрегате.

На работающем агрегате следует проверять функционирование САУ в процессах пуска и останова, а также при работе на режимах “кольцо”, “магистраль” и при переходе с одного режима на другое и обратно.

Следует проверять также помпажное тестирование и работу противопомпажного регулирования, выполнения информационных функций и функций контроля САУ.

Пуско-наладочные работы по блокам воздухозаборной системы включают проверку герметичности блоков системы, в том числе и плотность закрытия двери, надежности фиксации крепежных деталей внутри блоков. Также необходимо проверить прилегание рамок фильтров тонкой очистки к посадочным местам. Проверка осуществляется после каждой замены фильтра. Щуп толщиной 0,05 мм в посадочное место не должен проходить. Следует проверить работоспособность вентиляторов отсоса пыли, светильников в блоке очистки воздуха и прожектора в блоке всасывания. Необходимо проверить также работоспособность датчиков температуры, давления, влажности в блоках очистки воздуха, всасывания и в районах блока САУ. Следует проверить сварные швы в тракте воздухозаборной системы на отсутствие трещин, шлаков, окалины, а также на отсутствие посторонних предметов и грязи во внутренних поверхностях блоков и тракта. Необходимо проверить соосность воздуховода и входного направляющего аппарата двигателя на соответствие требованиям технической документации. Важным является также проверка положения и надежность крепления элементов системы промывки двигателя.

Пуско-наладочные работы по блокам выхлопной системы включают проверку стыковки и герметичности блоков, функционирования запорного вентиля на трубопроводе отбора проб, затяжки болтов крепления отбойных листов к внутреннему каркасу, герметичности закрытия люков на блоке поворота, внутренних поверхностей улитки и диффузора на отсутствие повреждений, посторонних предметов, воды и масла.

Пуско-наладочные работы по утилизационному теплообменнику (УТО) включают проверку наличия технической документации и соответствия оборудования к ней. Следует проверить наличие акта о гидроиспытаниях утилизатора с обвязкой в составе агрегата. Необходимо проверить целостность теплоизоляций обвязки УТО. Необходимо также проверить арматуру на отсутствие внешних дефектов в виде трещин, раковин, глубоких забоин, а также на функционирование и плавность хода органа управления. Следует проверить возможности ручного подрыва предохранительных клапанов, целостность, плотность закрытия и плавность поворота заслонок байпаса и пучков. Необходимо проверить функционирование термоэлектрических нагревателей

обогрева механизма электрического однооборотного (МЭО) в ручном режиме от автоматов в БЭС и в автоматическом режиме. Необходимо также проверить функционирование и заземление шкафов МЭО. Следует проверять функционирование механизмов ручного управления заслонками, в том числе блокировки одновременного закрытия заслонок байпаса и тепловых пучков. Перед пуском заслонки тепловых пучков и байпаса должны находиться в положении “открыто”.

Пуско-наладочные работы по противообледенительной системе (ПОС) включают проверку наличия асбестовых шнуров и прокладок в стыках трубопроводов, затяжки фланцевых соединений, целостности теплоизоляции на трубопроводах и работоспособности задвижек в ручном и автоматическом режимах. Положение задвижек должны отражаться на мониторе пульта управления, причем одна из задвижек должна быть полностью открыта.

Пуско-наладочные работы по трубопроводной арматуре агрегата ГПА включают проверку наличия технической документации, клеймения, записей на арматуре, на отсутствие внешних дефектов в виде трещин, раковин, свищей. Необходимо проверить также наличие акта о проведении гидравлического испытания на прочность и плотность. Следует проверить запорную арматуру с ручным приводом на плавность хода органа управления без подачи давления в трубопровод. Также проверяется запорная арматура с электропневмоприводом путем их перекрытия с подачей силового газа (воздух, азот) давлением 1–10 МПа. Работа проводится с подачей напряжения на ЭПУУ дистанционно и с помощью ручных дублеров по месту, однако без подачи давления в трубопровод. Должна быть обеспечена свобода и плавность хода рабочих органов. Следует настроить концевые выключатели ЭПУУ. В случае проверки шаровых кранов большого диаметра необходимо проверить работоспособность ручных насосов. Проверка регулирующей арматуры с мембранным исполнительным механизмом проводится подачей силового воздуха в пневмоэлектропозиционер и электрического сигнала 4–20 мА. При этом необходимо следить за плавностью хода рабочего органа арматуры и срабатыванием концевых выключателей. При проверке антипомпажных

клапанов и другой более сложной запорной арматуры следует привлекать специалистов фирмы– поставщика оборудования.

Все работы по проверке запорно-регулирующей арматуры следует повторить при наличии рабочего давления в трубопроводах, где смонтирована арматура.

Пуско-наладочные работы по блоку топливного газа и пускового воздуха включает проверку исполнительной документации, паспортов сосудов и комплектующих изделий, актов проведения гидравлических испытаний, приемки монтажных работ. Следует проверить соответствие оборудования конструкторской документации и прокладку импульсных и кабельных проводов требованиям ПБ и ПУЭ. Необходимо проверить работоспособность арматуры, установленной в блоках, в соответствии с программой. Следует проверить наличие и целостность фильтрующих патронов в фильтрах топливного газа и воздуха. При необходимости произвести их замену из комплекта ЗИП.

Перед стыковкой с двигателем необходимо продуть систему топливного газа технологическим газом до появления чистого газа. Перед этим необходимо вынуть фильтрующие элементы из корпуса. Проверка чистоты газа проводится установкой тампона или белой салфетки в поток, давление при этом необходимо снизить до 2 МПа. По окончании продувки систему топливного газа соединяют с системой двигателя и устанавливают фильтрующие элементы.

Пуско-наладочные работы по блокам системы обеспечения воздухом проводятся аналогично, т.е. проверяется исполнительная техническая документация, соответствие оборудования конструкторской документации, работоспособность арматуры, установленной в блоках. Следует проверить работоспособность жалюзей, установленных на теплообменных аппаратах, редукционного клапана. Давление на выходе из редукционного клапана не должно превышать значение, указанное в документах.

Собранную систему обеспечения сжатым воздухом до включения к потребителю следует продуть воздухом давлением 1,3 МПа до момента появления чистого и сухого воздуха. После окончания продувки необходимо установить фильтры и соединить систему с потребителем.

Пуско-наладочные работы по блоку газовой коммуникации компрессора

Подготовка системы газовой коммуникации включает контроль выполнения всех монтажных работ по документам, испытания на прочности плотность. Проверяют всасывающий и нагнетательный трубопроводы на отсутствие посторонних предметов, наличие защитной решетки, сняты ли заглушки, удалена ли вода после испытаний на прочность. Затем проверяют запорно-регулирующую арматуру как внешним осмотром на комплектность, так и приводя в действие с пульта управления. При этом необходимо отметить положения регулирующих органов арматуры и соответствие их с рабочей документацией, а также плавность работы механизмов движения. Также необходимо проверить срабатывание предохранительных клапанов.

После этих работ необходимо осуществить продувку системы сухим чистым воздухом или азотом и система готова к пуску.

Пуско-наладочные работы на газотурбинной приводной установке (УПГ) включают внешний осмотр двигателя и систем установки на целостность, на наличие и сохранность пломб, укомплектованность по формуляру и сопроводительной документации, осмотр проточной части двигателя, а также наличие специального инструмента и приспособлений.

Необходимо проверить легкость вращения роторов, т.е. на отсутствие заеданий, и постороннего шума при вращении. Прокрутку роторов разрешается проводить при температуре в отсеке двигателя выше $+5^{\circ}\text{C}$.

Следует проверить агрегаты систем смазки, вентиляции, ПОС на отсутствие внешних повреждений.

Проверка и пуско-наладка системы смазки двигателя осуществляется в следующем порядке:

- производится прокачка системы смазки после монтажа и при техническом обслуживании через 12000 часов работы агрегата.

Температура воздуха при этом в блоке системы смазки должна быть не ниже 15°C ;

- осуществляется мойка и осушка сжатым воздухом маслобака системы;

- выполняется ревизия и устранение замеченных неисправностей запорной арматуры;
- проводится ревизия фильтров и при необходимости осуществляется промывка фильтрующих элементов. Осуществляется также промывка и сушка корпусов фильтров;
- в корпус фильтра устанавливают штатные фильтрующие элементы;
- закрывают вентили сливных линий и осуществляют заправку системы маслом от стационарной системы через фильтр до срабатывания сигнализации максимального уровня в баке;
- проводят подготовку системы под прокачку согласно инструкции;
- включают электроподогреватель, нагревают масло до 80 °С и подготавливают арматуру системы смазки для прокачки;
- включив стационарную центрифугу тонкой очистки масла, производят прокачку системы при расходе масла не менее 80 л/мин при давлении 0,3...0,4 МПа. При отсутствии центрифуги прокачку осуществляют штатным насосом. Прокачку необходимо вести до полного соответствия масла требованиям стандарта или технических условий на применяемое масло. Пробы масла для контроля следует брать из маслобака с интервалом в 1...2 часа;
- в процессе прокачки через каждые два часа необходимо провести осмотр системы смазки и в случае обнаружения утечек и других неисправностей их следует устранить;
- после окончания прокачки необходимо остановить центрифугу, слить масло из баков и фильтров;
- необходимо промыть “Нефрасом” и просушить баки, корпуса фильтров, трубопроводы, не задействованные при прокачке;
- необходимо установить в фильтры штатные фильтрующие элементы, в сигнализатор стружки его рабочий элемент и привести систему смазки в исходное состояние;
- в дальнейшем следует заправить маслобак системы, выполнить настройку регулятора температуры, редукционного клапана на заданные температуры и давление;
- если температура окружающей среды ниже +5 °С, то необходимо

прогреть отсек двигателя до этой температуры, а масло в баке до +15°C;

– при работе двигателя в каждой группе фильтров должен быть резервный или находящийся на регенерации фильтр.

Проверка и пуско-наладка системы промывки проточной части двигателя осуществляется внешним осмотром, агрегатов, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и креплений. Необходимо подключить установку к источнику электропитания и проверить правильность направления вращения электронасоса. Следует также заправить рабочие емкости системы моющим раствором, водой, а также проверить подачу пара.

Необходимо проверить систему освещения, включив светильники с кнопочных постов. До пуска агрегата замеченные недостатки следует устранить. Также необходимо проверить и отрегулировать уровень звука системы ларингофонной связи.

Следует проверить работоспособность системы обогрева отсека двигателя и блока маслосистемы. Также необходимо проверить работу вентиляционных систем отсека двигателя и блока системы смазки.

Перед запуском ГПА необходимо проверить срабатывание предупредительной сигнализации и аварийных защит. Результаты проверки необходимо занести в карты предпусковой проверки.

Пуск агрегата при выполнении пуско-наладочных работ включает предпусковую проверку, холодную прокрутку, запуск, проверку нормальной и аварийной остановок.

Перед пуском агрегата необходимо проверить во всасывающем и выхлопном трактах двигателя отсутствие посторонних предметов, конденсата или масла, крепление воздухопроводов и выхлопного газохода, а также закрытие створок защитного кожуха двигателя и двери в отсек улитки. Следует проверить, что утилизационный теплообменник находится в нерабочем режиме, на агрегат подано питающее напряжение, температура воздуха в отсеке и блоках не менее +5°C, температура масла в баке не менее +15°C, уровень масла находится в норме, выполнен контроль функционирования аппаратуры систем управления, контроля и защиты двигателя, открыты краны

на одном из фильтров блока топливного газа, на линиях подачи масла из бака и маслоохладителей в двигатель. Необходимо также проверить, открыты ли жалюзи воздухозаборников на боковых стенках сняты ли чехлы вентиляторов отсека двигателя, готова ли система автоматического тушения пожара, закрыты ли двери ВОУ, камеры всасывания и блока двигателя. Следует проверить наличие необходимого давления в блоке обеспечения сжатым воздухом. После всех этих работ необходимо составить акты о готовности агрегата к запуску и станционных систем к пуску.

Холодная прокрутка (ХП) выполняется для заполнения системы смазки двигателя и САР маслом, для продувки газозвдушного тракта, для проверки отсутствия постороннего шума в двигателе при вращении на выбеге роторов и для окончательной проверки готовности всех систем к работе.

Холодная прокрутка осуществляется следующим образом.

1. На пульте управления следует выбрать режим ХП. При этом на пульте должно загореться табло «Готов к пуску».

2. Следует нажать кнопку «Пуск». Холодная прокрутка осуществляется автоматически по заданному алгоритму системой автоматического управления ГПА.

3. После работы ГПА в режиме «ХП», в течении времени, предусмотренной технической документацией, осуществляется его остановка. При этом на пульте должно загореться табло «ХП окончена».

При успешном завершении этапа холодной прокрутки можно приступить к запуску ГПА.

Запуск ГПА осуществляется следующим образом. На пульте управления следует выбрать режим работы ГПА – «Кольцо» или «Магистраль». При этом на пульте должно загореться табло «Агрегат готов к пуску». Следует нажать кнопку «Пуск». При этом на пульте загорается табло «Пуск». Запуск осуществляется системой автоматического управления ГПА по заданному алгоритму, например, в следующем порядке:

1. Открывается байпасный кран К4 (рис.5.32). При этом в течение одной минуты осуществляется продувка контура компрессора газом через кран К5 на свечу;

2. Закрывается кран К5. Происходит заполнение контура компрессора газом;
3. Открывается кран К6. После этого происходит выравнивание давлений до и после крана К1;
4. Открываются краны К1 и К2;
5. Включается электростартер или открывается клапан пускового газа. Пусковой газ приводит в действие турбостартер. При этом начинается разгон ротора турбины высокого давления газогенератора;
6. При достижении частоты вращения ротора 20% от номинального осуществляется продувка камер сгорания в течение двух минут;
7. При достижении частоты вращения ротора 30% от номинального осуществляется зажигание горючей смеси в камерах сгорания;

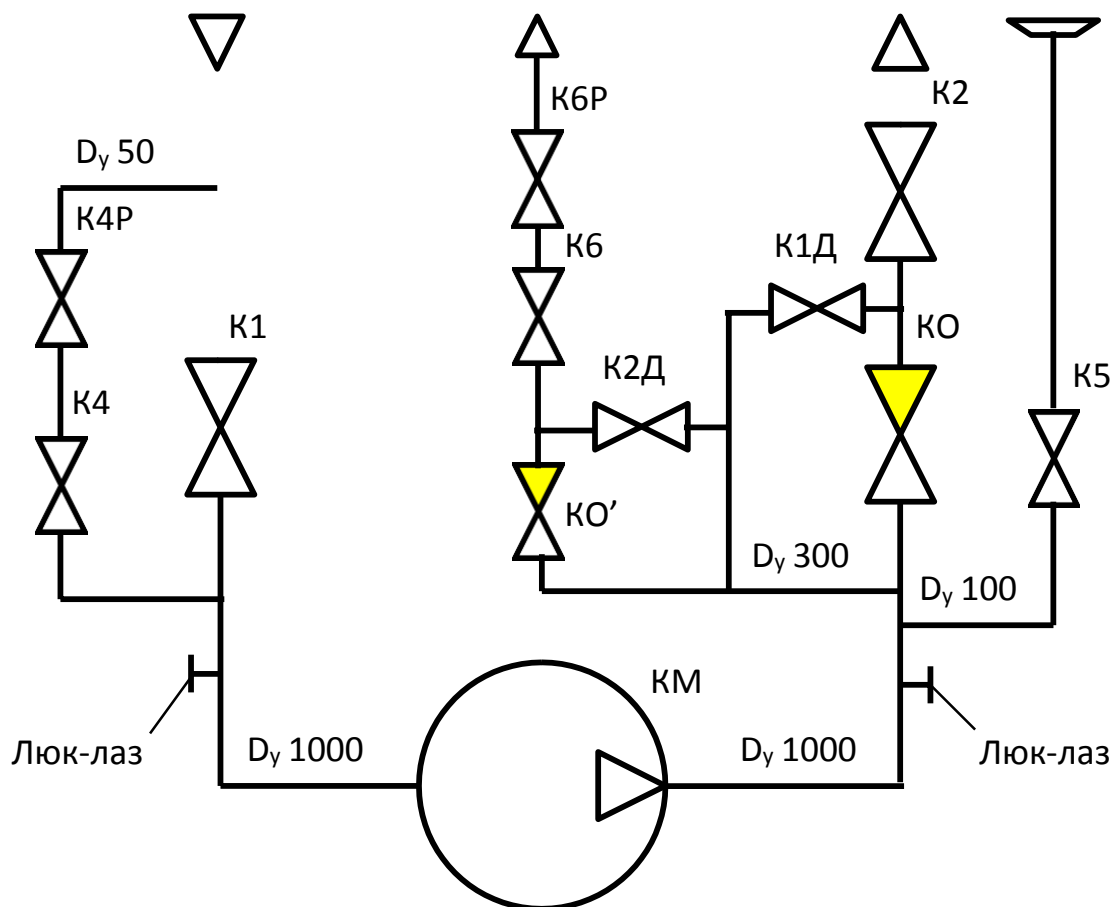


Рис.3.32 Схема обвязки центробежного компрессора ГПА

8. Увеличивается подача горючей смеси в камеры сгорания и одновременно происходит ускорение вращения ротора турбины;
9. При достижении частоты вращения ротора 60% от номинального осуществляется закрытие клапана пускового газа и отсоединение турбостартера

от турбины газогенератора;

10. В диапазоне частот вращения 84...95% открывается воздушный направляющий аппарат;

11. При достижении частоты вращения ротора 98% от номинального осуществляется закрытие клапана сброса воздуха;

12. При достижении частоты вращения ротора 100% включается система защиты агрегата. Частота вращения ротора силовой турбины при этом находится в режиме 65% от номинальной частоты вращения;

13. В данном режиме осуществляется прогрев агрегата в течение 20...30 минут в зависимости от сезонного изменения температуры окружающего воздуха;

14. В дальнейшем с помощью ключа управления частота вращения ротора силовой турбины устанавливается в режиме (80...100%), заданная диспетчером;

15. В случае закрытия крана К6 ГПА начинает работать на магистраль.

Остановка ГПА может осуществляться как в нормальном, так и в аварийном режимах. Остановка осуществляется следующим образом.

В случае запланированной остановки производят так называемый нормальный останов «НО» с любого режима работы агрегата. Для этого необходимо нажать кнопку «НО» на пульте управления. После этого автоматически происходит нормальная остановка агрегата в следующем порядке:

1) уменьшается подача горючей смеси в камеры сгорания. Частота вращения ротора силовой турбины снижается до 60% от номинального;

2) закрывается клапан топливного газа;

3) открываются клапаны сброса воздуха;

4) закрываются краны К1 и К2 в газовом тракте компрессора;

5) открывается кран К5. При этом происходит сброс газа с контура обвязки компрессора;

6) осуществляется цикл охлаждения ротора газогенератора путем его поворота с помощью поворотного механизма. Время охлаждения можно найти в инструкции по эксплуатации конкретного ГПА. Например, для газоперекачивающих агрегатов типа ГПА-16 составляет около 60 мин.

Аварийная остановка ГПА с любого режима работы производится при

срабатывании защит или при нажатии кнопки «АО». При этом происходит автоматическая остановка агрегата согласно алгоритму системы автоматического управления ГПА. При этом загорается табло «АО» и прекращается подача топлива в двигатель. Аварийная остановка ГПА может осуществляться как без сброса, так и со сбросом газа из полости компрессора.

При холодной прокрутке часто удается выявить неполадки ГПА, которые не приводят к аварии благодаря быстрой остановке. Поэтому после остановки производят ревизию ГПА: осматривают основные детали, несущие нагрузку, рабочие поверхности подшипников и уплотнений, проверяют крепления узлов и деталей друг к другу, двигательной и компрессорной установки к фундаменту, производят вновь сборку. Если после холодной прокрутки пришлось устранить существенные недоделки (например, заменить подшипник), то её необходимо повторить. При устранении мелких недоделок, например, подчистке рабочей поверхности подшипника, уже можно перейти к запуску ГПА на холостом ходу.

Обкатка компрессора на холостом ходу должна проводиться на менее одного часа. Иногда длительность обкатки составляет до 24 часов. За время обкатки трущиеся узлы ГПА приобретают рабочую температуру и происходит расконсервация его внутренних узлов и деталей. Время обкатки обычно указано в инструкции по монтажу и эксплуатации.

После обкатки производят полную ревизию механизмов движения ГПА. При отсутствии существенных неполадок после сборки и запуска ГПА его можно перевести на работу в режиме “Магистраль” и проводить предварительные испытания компрессора под нагрузкой. Неполадки, возникающие при испытании ГПА под давлением, разрешается устранять только после снятия давления и остановки компрессора. Если результаты предварительного испытания положительны, то после ревизии приступают к испытаниям компрессора под полной нагрузкой. Длительность испытания зависит от типа и марки компрессора и обычно указывается в технической документации на компрессор.

Предварительные испытания опытного образца ГПА организует и проводит предприятие-разработчик с привлечением, при необходимости, предприятия-изготовителя и соисполнителей. Испытания ГПА должны

проводиться, как правило, на месте эксплуатации. Однако допускается проведение испытаний отдельных элементов, например, двигателя, центробежного компрессора предварительно на стендах предприятия-изготовителя. Для проведения испытаний создается комиссия, в состав которой включаются представители разработчика, изготовителя, а также заказчика. Объем и содержание испытаний определяются программой и методикой испытаний.

К началу испытаний комиссии должны быть представлены:

- 1) техническое задание;
- 2) программа и методика испытаний;
- 3) комплект технической документации;
- 4) журнал испытаний;
- 5) акт приемки ОТК сборки ГПА;
- 6) акт приемки испытательного стенда;
- 7) перечень отступлений от чертежей, подписанный ОТК и согласованный с разработчиком;
- 8) формуляры двигателя, компрессора и др., заполненные построечными данными;
- 9) паспорта контрольно-измерительных приборов с результатами проверки поверителя, подтверждающими срок использования;
- 10) сертификаты, а в случае их отсутствия лабораторные анализы, подтверждающие марки заправляемых масел, взятых из емкостей и анализ рабочего или модельного газа.

На основе проведенных испытаний составляется протокол испытаний и акт с заключением о возможности представления ГПА на приемочные испытания.

Приемочные испытания организует предприятие-разработчик, или предприятие-изготовитель, или заказчик по соглашению. В испытаниях должны участвовать все три стороны. В основном приемочные испытания ГПА и КС проводятся на месте эксплуатации у заказчика комиссией в составе: представителя заказчика (председателя), разработчика и изготовителя. Порядок, объем и содержание приемочных испытаний устанавливается программой и методикой испытаний, составляемой разработчиком. В рамках приемочных

испытаний ГПА должен отработать под нагрузкой на КС не менее 3000 часов без замены основных элементов (двигателей, ходовых и проточных частей компрессора) [40]. Приемочные испытания также могут проводиться отдельно на двух объектах: проверка параметров – на стенде, длительные испытания – на КС.

Приемочной комиссии предъявляют следующие документы:

- 1) техническое задание;
- 2) программу и методику приемочных испытаний;
- 3) комплект технической и эксплуатационной документации;
- 4) журнал испытаний;
- 5) протокол и акт предварительных испытаний;
- 6) акт приемки монтажных работ;
- 7) акт готовности к испытаниям ГПА в составе КС или ГПА и КС в составе магистрального газопровода;
- 8) паспорта контрольно-измерительных приборов с результатами проверки госповерителя, подтверждающими срок годности;
- 9) сертификаты, либо лабораторные анализы, подтверждающие марки заправляемых масел, взятых из емкостей и анализ рабочего газа;
- 10) протокол испытаний системы автоматики на заводе-изготовителе.

На основе проведенных приемочных испытаний составляется протокол.

На основе рассмотрения представленных документов опытного образца, прошедшего испытания, протокола приемочных испытаний приемочная комиссия определяет соответствие опытного образца требованиям технического задания, стандартов и технической документации, дает рекомендации по установлению категории качества. Все это оформляется актом приемки опытного образца. В акте указывается приемка опытного образца изделия в эксплуатацию, рекомендации по улучшению качества продукции, а также решение о производстве установочной партии (до 10 шт.), в которых должны быть реализованы мероприятия, рекомендованные приемочной комиссией.

Решение о серийном производстве принимается по результатам проверки эффективности этих мероприятий на основе дополнительных испытаний и анализа данных подконтрольной эксплуатации, осуществляемых по специальной

программе.

ГПА серийного производства подвергаются приемо-сдаточным, эксплуатационным и периодическим испытаниям [40]. Допускается раздельное проведение приемо-сдаточных испытаний на предприятиях-изготовителях составных элементов ГПА (ГТУ или двигатель, центробежный компрессор, САУ, ВОУ, рекуператор, утилизатор тепла и др.). Приемо-сдаточные испытания ГПА и их элементов проводятся совместно с группами ведомственной приемки ОАО «Газпром» по программам-методикам, согласованным между изготовителем и потребителем. При приемо-сдаточных испытаниях ГТУ в качестве нагрузки могут быть применены различные устройства, обеспечивающие необходимую точность проверки рабочих характеристик. Приемо-сдаточные испытания центробежного компрессора проводятся на воздухе при атмосферном давлении и частоте вращения ротора в диапазоне от 0 до 105% номинальной.

Эксплуатационные испытания проводятся на КС после ввода ГПА в эксплуатацию. Длительность испытания ГПА под нагрузкой – не менее 72 часов.

Периодические испытания проводятся на предприятии-изготовителе и (или) на месте постоянной эксплуатации. Все измерения и проверки допускаются проводить на различных ГПА независимо друг от друга. Периодичность испытаний устанавливается в технических условиях на ГПА конкретных типов.

Программа и методика испытаний является одним из основных документов при испытании ГПА и обычно содержит следующие разделы:

- 1) титульный лист;
- 2) содержание;
- 3) введение;
- 4) цель испытаний;
- 5) порядок проведения испытаний;
- 6) требования к стенду;
- 7) требования безопасности;
- 8) объем испытаний;
- 9) методика проведения испытаний;
- 10) методика обработки результатов испытаний.

Указанные разделы присущи как для программы и методики испытаний основного элемента ГПА – центробежного компрессора, так и для привода – ГТУ. Вначале рассмотрим кратко программу и методику испытаний центробежного компрессора.

Цель и порядок проведения испытаний были рассмотрены выше.

В разделе программы «Требования к стенду» следует привести технологическую схему стенда (рис.5.33, 5.34) с указанием элементов и связей между ними. Здесь же указываются все необходимые измерительные приборы.

В зависимости от рода рабочего газа стенд может иметь два вида: с открытым воздушным контуром; с замкнутым газовым контуром.

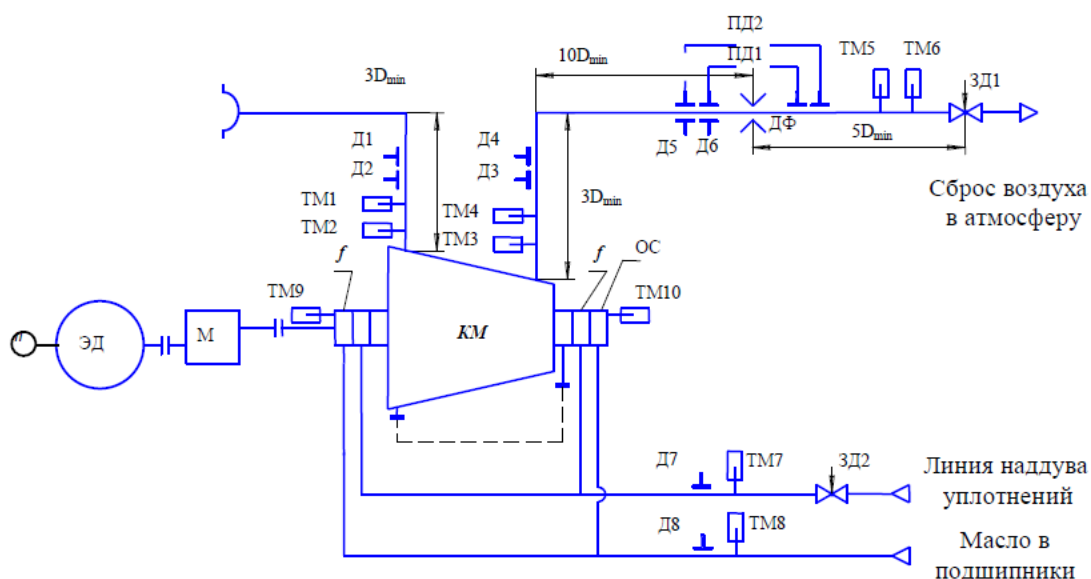


Рис. 3.34 Технологическая схема испытаний компрессора на месте эксплуатации:

Т–турбина, КМ–компрессор, КР–кран регулирующий, ДФ–диафрагма расходомерная, D_{\min} –минимальная длина прямого участка трубопровода, Д–отбор импульса давления, ТМ–отбор импульса температуры, длина прямого участка трубопровода, Д–отбор импульса давления, ТМ–отбор импульса температуры,

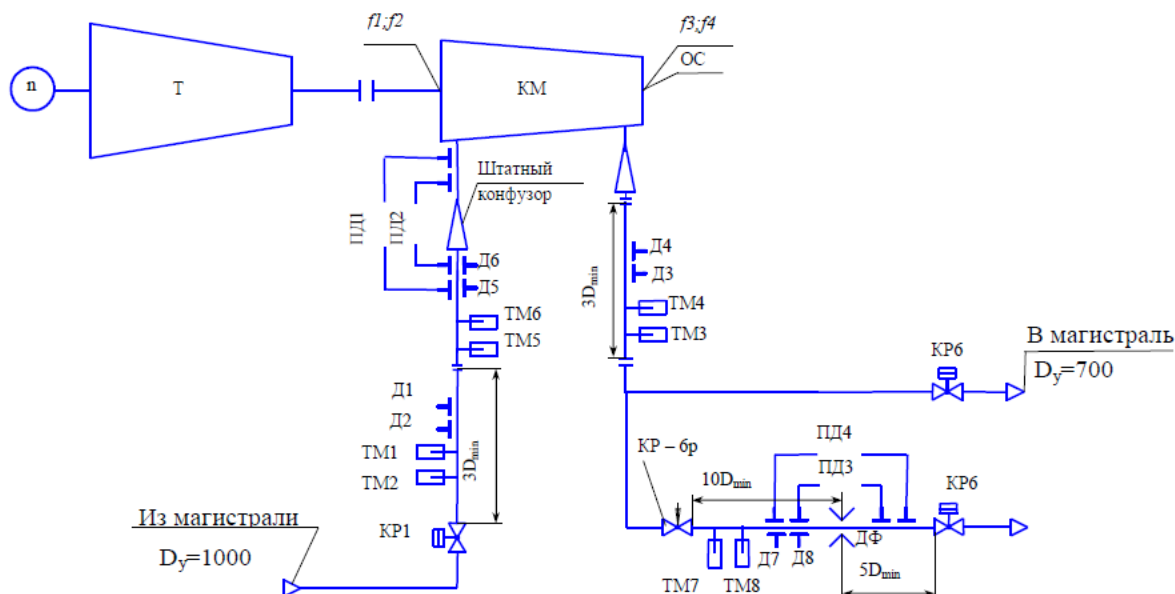


Рис.3.34. Технологическая схема испытаний компрессора на месте эксплуатации:

Т–турбина, КМ–компрессор, КР–кран регулирующий, ДФ–диафрагма расходомерная, D_{\min} –минимальная длина прямого участка трубопровода, Д–отбор импульса давления, ТМ–отбор импульса температуры,

ПД–отбор импульса перепада давлений, f –отбор импульса вибрации, ОС–отбор импульса осевого сдвига, n –частота вращения ротора силовой турбины

В разделе должны быть приведены основные параметры, которые должен обеспечить стенд при испытании компрессора, как то: производительность компрессора; давление газа на входе и выходе; температура газа на входе; в случае замкнутого контура остаточное давление вакуумирования и давление заполнения модельным или рабочим газом.

Кроме этого, приводятся требования и параметры системы смазки и уплотнений, например, расходы масла, давления и температуры в коллекторах, тонкость фильтрации, перепады давлений между газом и маслом.

Требования к системе КИП и А заключаются в обеспечении дистанционного управления всеми механизмами и арматурой, визуального контроля и регистрации измеряемых параметров, предаварийной сигнализации и аварийной защиты из пульта управления. Обычно система дистанционного управления обеспечивает пуск и остановку газотурбинного или электрического привода компрессора, насосов систем смазки, уплотнений, управление задвижками воды при водяном охлаждении стенда и газового контура.

Перечень измеряемых параметров и допустимых погрешностей измерений обычно приводят в табличной форме, где указываются номера позиций по схеме, измеряемый параметр, диапазон и предельные допускаемые основные погрешности измерения, количество приборов. Здесь же приводятся значения параметров, при достижении которых должна сработать предаварийная сигнализация и аварийная остановка компрессора.

Основными параметрами предаварийной сигнализации и аварийной остановки компрессора являются: давления на входе и выходе, температура газа на выходе компрессора, температура подшипников компрессора, мультипликатора, электродвигателя, давление и температура масла в подводном коллекторе системы смазки, перепад давлений “масло-газ” в системе уплотнений, вибрация и осевой сдвиг ротора. В них включаются также параметры, определяющие работу центробежного компрессора в режиме помпажа. Если при испытаниях в качестве привода используется ГТУ, то в качестве параметров предаварийной сигнализации и аварийной остановки стенда должны быть включены также параметры ГТУ.

После выполнения монтажных работ необходимо проверить системы газовых коммуникаций, смазки и уплотнений стенда на герметичность.

При изложении раздела “Требования безопасности” необходимо пользоваться “Правилами устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов” [30], “Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением” и ГОСТ 12.2.016-81. В этом разделе должны быть оговорены порядок допуска лиц к испытаниям компрессоров, противопожарные средства (ГОСТ 12.1.004-85), порядок работы с электрооборудованием [34], порядок устранения неисправностей стенда и указаны предполагаемые экстренные ситуации и пути выхода из этих ситуаций.

Объем испытаний является одним из основных разделов программы и методики испытаний. Испытания центробежного компрессора, применяемого в ГПА, обычно проводятся в два этапа:

- 1) механические испытания компрессора, агрегата, установки, станции;
- 2) термогазодинамические испытания компрессора.

Целью проведения механических испытаний являются определение:

- 1) качества изготовления и сборки компрессора;
- 2) правильность выбора зазоров предохраняющих от задевания элементов ротора об элементы статора;
- 3) работоспособности подшипников, системы смазки и уплотнений;
- 4) динамической устойчивости систем “подшипник-ротор”;
- 5) правильность посадки муфт, центровки соединяемых валов;
- 6) уровня вибрации роторов и корпуса компрессора, агрегата, установки.

Продолжительность механических испытаний ЦК определяется временем выхода на установившийся тепловой режим подшипников, уплотнений и должна составлять не менее двух часов. Они обычно проводится на воздухе с открытым контуром.

Целью проведения термогазодинамических испытаний является определение работоспособности компрессора, соответствия результатов испытаний расчетным характеристикам компрессора на рабочем или модельном газе в условиях, приближенных к рабочим.

При проведении термогазодинамических испытаний ЦК ГПА обычно определяются зависимости отношения давлений p , мощности N , политропной КПД h_n от объемной производительности V , приведенной к условиям всасывания. При этих испытаниях определяются также шумовые, вибрационные характеристики и их соответствие стандартам. Время проведения испытаний определяется временем, необходимым для снятия характеристик компрессора при установившихся режимах.

После проведения как первого, так и второго этапов испытаний осуществляется ревизия компрессора с измерением основных размеров согласно формуляру, прилагаемого к компрессору. После второго этапа испытаний, ревизии, достижения основных целей осуществляется сборка компрессорного агрегата и его контрольный пуск. При нормальной работе в течении часа

испытания компрессора считаются завершенными.

Методика проведения механических испытаний. Испытания любого компрессора начинаются с определения механических характеристик, т.е. с механических испытаний. Во время испытаний обслуживание компрессора должно вестись в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Перед началом механических испытаний необходимо проверить:

- работу системы смазки;
- работу системы уплотнений;
- работу системы охлаждения;
- работу системы КИП и А;
- работу арматуры газовой системы;
- направление вращения электродвигателя компрессора

при отсоединенной муфте.

После проведения этих работ осуществляется пробный пуск компрессора согласно инструкции по эксплуатации. При пробном пуске необходимо прослушать компрессор на отсутствие посторонних шумов, стуков, ударов. После остановки проводят ревизию подшипников и других узлов трения. В случае нормальной работы и хорошего состояния всех узлов трения компрессора проводят его механические испытания. Длительность испытания не менее двух часов. За это время контролируют следующие параметры: давление и температуру подачи масла в узлы трения, температуры подшипников или масла на сливе, давление и перепады давлений “масло-газ” в системе масляных уплотнений и газа в случае применения “сухих” газовых уплотнений, вибрацию роторов и корпуса компрессора и других узлов. После проведения испытаний производят полную ревизию компрессора. Результаты испытаний заносят в протокол.

В случае нормальных результатов механических испытаний составляют акт об окончании механических испытаний и приступают к термогазодинамическим испытаниям компрессора, т.е. ко второму этапу испытаний.

Методика проведения термогазодинамических испытаний. Если термогазодинамические испытания проводятся в условиях завода изготовителя компрессора, то в качестве модельного газа используется воздух, а стенд имеет

открытый контур. Если же термогазодинамические испытания проводятся на месте эксплуатации, то необходимо осуществить продувку контура рабочим газом.

Запуск и испытания компрессора осуществляют в следующем порядке:

- 1) проверяют и запускают систему смазки;
- 2) проверяют и запускают систему охлаждения;
- 3) проверяют и запускают систему уплотнений;
- 4) основную задвижку на линии нагнетания газового контура устанавливают в открытое положение;
- 5) производят пуск электродвигателя компрессора. Если термогазодинамические испытания проводятся на месте эксплуатации, то запуск ГПА осуществляется согласно инструкции по эксплуатации, описанной выше в разделе 5.9.4;
- 6) отработывают не менее одного часа в режиме холостого хода;
- 7) плавно закрывая задвижку на линии нагнетания, устанавливают первый режим компрессора по производительности;
- 8) после стабилизации режима по температуре производят одновременный отсчет показаний всех приборов. Температурный режим считается установившимся, если разность температур на линиях нагнетания и всасывания изменяется в течении 10 минут не более чем на 0,1 градус;
- 9) аналогично переходят на другие режимы по производительности и, после стабилизации режима, снимают показания приборов. Для построения характеристик компрессора в интервале производительностей от максимальной до помпажной необходимо снять показания приборов в не менее шести режимах. В местах резкого изменения параметров следует снимать дополнительные точки;
- 10) все результаты измерений заносятся в протокол испытаний;
- 11) остановку компрессора осуществляют после плавной разгрузки и выхода на «холостой» ход путем отключения электродвигателя;
- 12) остановку систем смазки, уплотнения и охлаждения осуществляют по истечении некоторого времени, необходимой для охлаждения узлов трения.

Измерение шумовых и вибрационных характеристик осуществляют при

работе компрессора на расчетном режиме, указанном в ТЗ и ТУ. Точки замеров уровня шума и вибрации должны быть указаны в программе и методике испытаний.

Обработку результатов испытаний производят по методике, приведенной в программе. На основе обработанных данных строят характеристики компрессора. В случае соответствия расчетной точки характеристики величине, указанной в ТЗ и ТУ, испытания можно считать завершенными.

После завершения испытаний производят ревизию компрессора. Если состояние компрессора удовлетворительное, то осуществляют его сборку и контрольный пуск с последующей работой в течении одного часа.

Методика обработки результатов испытаний ГПА

При обработке результатов теплотехнических и газодинамических испытаний газотурбинных газоперекачивающих агрегатов рекомендуется пользоваться методическими указаниями ВНИИГАЗа [33], учитывающие требования международных стандартов. Эти методические указания устанавливает правила и методы обработки результатов предварительных, приемочных, эксплуатационных испытаний, в частности, определения их выходных показателей, т.е. характеристик ГТУ (мощность и КПД в зависимости от частоты вращения ротора и расхода топливного газа и т.д.) и центробежного компрессора (отношения давлений, потребляемой мощности, КПД от производительности).

Расчет показателей центробежного компрессора. В основу расчета показателей как компрессора, так и ГТУ положен термодинамический анализ процесса сжатия газа, предусматривающий использование различных термодинамических и калорических функций реального газа [33].

Для обработки результатов испытаний должны быть известны следующие исходные данные: основные геометрические размеры устройства для измерения расхода газа и конфузора входного патрубка компрессора, барометрическое давление P_0 , начальные и конечные избыточные давления P_n , P_k и температуры t_n , t_k . Также должны быть известны частота вращения ротора компрессора n_k , давление и температура газа перед устройством измерения расхода, перепад

давления на стандартном сужающем устройстве – диафрагме и состав газа, на котором производится испытание.

При проведении испытаний на месте эксплуатации состав газа может меняться в широких пределах. Поэтому вначале обработки данных необходимо определиться с составом газа, используемого при испытаниях. Наиболее точным является определение состава газа на основе хроматографического анализа пробы, полученной при испытаниях. Тогда на основе данных о составе следует определять следующие параметры газа:

$$p_{кр} = \sum_i p_{кри} r_i , \quad (5.3)$$

псевдокритическое давление смеси

псевдокритическая температура смеси

$$T_{кр} = \sum_i T_{кри} r_i , \quad (5.4)$$

$$\text{приведенные давление и температура } p_{пр} = p/p_{кр} , T_{пр} = T/T_{кр} , (5.5)$$

газовая постоянная смеси

$$R = 8314,51 / \sum_i \mu_i r_i , , \quad (5.6)$$

где $p_{кри}$, $T_{кри}$ – критические давления и температуры,

r_i – объемная доля,

m_i – молярные массы i – ых компонентов смеси.

Значения $p_{кри}$, $T_{кри}$ и m_i для индивидуальных газов можно найти в приложении Г.

При обработке результатов испытаний ГПА используется уравнение состояния реального газа:

$$pv = ZRT , \quad (3.7)$$

где Z – коэффициент сжимаемости, учитывающее реальные свойства газа.

При применении политропного метода Шульца для определения параметра Z , а также коэффициентов X , Y , учитывающие изобарную и изотермную сжимаемости газа, можно использовать диаграммы, построенные по закону соответственных состояний [42]. В методических указаниях ВНИИГАЗа для определения этих параметров рекомендуется использовать уравнение состояния

“Бенедикта- Вэбба-Рабина” (BWR). В этом случае параметр Z определяется решением уравнения [33]

$$Z = 1 + \left(\frac{a_1}{T_{np}} - \frac{a_2}{T_{np}^2} - \frac{a_3}{T_{np}^4} \right) \frac{P_{np}}{Z} + \left(\frac{a_4}{T_{np}^2} - \frac{a_5}{T_{np}^3} - \frac{a_6}{T_{np}^5} \right) \frac{P_{np}^2}{Z^2}, \quad (3.8)$$

где коэффициенты для стандартного состава газа с компонентным составом по ГОСТ 23194-83 [21] можно принят равными [33]:

$$a_1=0,1237; a_2=0,3468; a_3=0,1188; a_4=0,0291; a_5=0,0273; a_6=0,0390.$$

Для газов с содержанием метана в диапазоне 95-100% в составе смеси следует использовать коэффициенты $a_1...a_6$, определенные для стандартного газа с составом по ГОСТ 23194– 83 [20], в диапазоне 90-95% – для состава газа № 1, в диапазоне 85-90% – для состава газа № 2 (Приложение Д).

Коэффициенты X и Y вычисляются по уравнениям [33]:

$$\frac{1}{Y} = 1 + \frac{1}{Z} \left[Z - 1 + \left(a_4 - \frac{a_5}{T_{np}} + \frac{a_6}{T_{np}^3} \right) \frac{P_{np}^2}{T_{np}^2 Z^2} \right], \quad (5.9)$$

$$X = \frac{Y}{Z} \left[\left(\frac{a_2}{T_{np}} + \frac{3a_3}{T_{np}^3} \right) \frac{P_{np}}{Z T_{np}} + \left(\frac{a_5}{T_{np}} - \frac{3a_6}{T_{np}^3} \right) \frac{P_{np}^2}{Z^2 T_{np}^2} + Z \right] - 1. \quad (5.10)$$

Обработку результатов следует вести по следующему алгоритму:

1 Вычислить абсолютные значения давлений газа:

- 1) на входе в компрессор $p_1 = p_n + p_{\delta}$,
- 2) на выходе из компрессора $p_2 = p_k + p_{\delta}$,
- 3) перед стандартной диафрагмой $p_{\delta} = p_{1\delta} + p_{\delta}$.

2 Вычислить отношение давлений

$$p = p_2 / p_1.$$

3 Вычислить абсолютные значения температур газа:

- 1) на входе в компрессор $T_1 = t_n + 273,15$;
- 2) на выходе из компрессора $T_2 = t_k + 273,15$;
- 3) перед стандартной диафрагмой $T_{\delta} = t_{\delta} + 273,15$.

4 Пользуясь формулами (5.3-5.6), определить газовую постоянную смеси R .

5 Пользуясь формулами (4.38-4.40), либо программным модулем [26], вычислить массовый q_m и объемный расход q_v , приведенный к стандартным условиям.

6. Вычислить плотность и объемный расход газа, приведенные к начальным условиям, пользуясь формулами:

$$\rho_{вс} = p_{вс} / (RT_1) ,$$

$$V_{вс} = q_m / \rho_{вс} .$$

7 Пользуясь диаграммами, построенными по закону соответственных состояний [42], или уравнениями (5.8-5.10), определить коэффициенты Z , X , Y на входном, выходном сечениях компрессора и средние их значения:

$$Z_{cp} = (Z_1 + Z_2) / 2 , \quad X_{cp} = (X_1 + X_2) / 2 , \quad Y_{cp} = (Y_1 + Y_2) / 2 .$$

8 Определить удельные изобарные теплоемкости газа на входном c_{p1} , выходном c_{p2} сечениях компрессора и среднее его значение

$$c_{p1} = c_{p01} + \Delta c_{p1}, \quad c_{p2} = c_{p02} + \Delta c_{p2}, \quad c_{pcp} = (c_{p1} + c_{p2}) / 2 ,$$

$$\text{где } c_{p0k} = (a + bT_k + cT_k^2 + dT_k^3) / \mu ,$$

$$\Delta c_{pk} = R \left[\frac{Z_k (1 + X_k)^2}{Y_k} + \frac{6a_3 p_{npk}}{Z T_{npk}^4} - \frac{3a_6 p_{npk}^2}{Z^2 T_{npk}^5} - 1 \right] . \text{ Коэффициенты } a, b, c, d$$

и молярная масса m рассчитываются по формуле типа:

$$a, b, c, d, \mu = \sum_i (a_i, b_i, c_i, d_i, \mu_i) r_i .$$

Значения молярной массы m_i и коэффициентов a_i, b_i, c_i, d_i можно определить из приложений Г и Е.

9 Определить температурный и объемный коэффициенты политропы:

$$m_T = \ln(T_2 / T_1) / \ln \pi ; \quad m_v = 1 - Y_{cp} + m_T (1 + X_{cp}) .$$

10. Определить политропную удельную работу и КПД компрессора

$$\ell = \frac{Z_1 R T_1}{m_v} (\pi^{m_v} - 1); \quad \eta_{пол} = \frac{Z_{cp} \cdot R}{m_T \cdot c_{pcp} - Z_{cp} \cdot R \cdot X_{cp}}$$

11 Определить потребляемую мощность компрессора

$$N = \ell \cdot q_m / (\eta_{пол} \cdot \eta_{мех}),$$

где $\eta_{мех}$ – механический КПД, который определяется на основе механических испытаний.

11. По результатам обработки данных для всех режимов испытаний строят следующие характеристики компрессора:

$$p = f(V_{вс}, n); N = f(V_{вс}, n); \eta_{пол} = f(V_{вс}, n).$$

При обработке результатов, кроме метода Шульца, можно использовать также метод «энтальпий», описанной в методических указаниях ВНИИГАЗа [33]. В этих же указаниях приведены методы расчетов расхода топливного газа, показателей ГТУ по ГОСТ 20440–75 [19], пример расчета, а также расчетные формулы для вычисления приведенных показателей компрессора и ГТУ.

Правила техники безопасности

Техническую, пожарную безопасность при проведении индивидуальных испытаний оборудования несут [30] Генподрядчик, монтажные организации и Заказчик, а при комплексном опробовании оборудования – Заказчик.

При проведении пуско-наладочных работ должны соблюдаться следующие основные правила техники безопасности:

- зона проведения индивидуальных испытаний, комплексного опробования оборудования и пуско-наладочных работ должна быть огорожена. В зоне проведения работ не должны находиться посторонние предметы и лица, не имеющие отношение и не принимающие участие в проведении и приемке пуско-наладочных работ;

- персонал, принимающий участие в пуско-наладочных работах, должен быть проинструктирован Заказчиком с оформлением соответствующих

документов;

- пуск оборудования категорически воспрещается при: непроверенной и невыполненной системе защит; не отлаженной системе централизованного контроля оборудования; неисправных органах регулирования; незадействованных системах тушения пожара, контроля загазованности, вентиляции; всех других неполадках и неисправностях, которые могут повлечь за собой аварию агрегата;

- запрещается проведение каких-либо строительно-монтажных работ без разрешения руководителя пускового комплекса;

- огневые работы проводятся только по специальному разрешению Заказчика;

- подача и снятие электрического напряжения, а также подача и стравливание газа производится только Заказчиком с уведомлением всех участвующих в работах организаций;

- земляные работы в зоне пуско-наладочных работ производятся только по специальному разрешению руководителя пускового комплекса;

- оборудования, не принятые к пуско-наладочным работам, должны быть отключены от всех видов энергии, а также по газу и по маслу;

- зона пуско-наладочных работ должна быть обеспечена необходимыми плакатами, предусмотренными правилами техники безопасности.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ГПА

После завершения пусконаладочных работ и подписания акта приемки начинается этап эксплуатации и обслуживания ГПА. В условиях производства четко различаются две сферы хозяйствования [11], которым соответствуют две службы – эксплуатации и обслуживания оборудования. Служба эксплуатации эксплуатирует оборудование на основании соответствующих правил, положений, инструкций и т.д., при этом осуществляет непрерывный круглосуточный контроль, а служба обслуживания следит за состоянием оборудования, устанавливает диагноз, “лечит” и совершенствует его.

Для большей четкости изложения основных целей и задач этих служб в дальнейшем используем термины “Технологическая служба” и “Техническая служба”. Кроме того, в КС имеются также “Вспомогательные службы”, предназначенные для обеспечения её жизнедеятельности.

При эксплуатации КС может находиться в двух основных состояниях:

1. **Работа.** Станция в этом состоянии осуществляет перекачку газа изменяя его основные параметры, например, повышая давление и регулируя расход газа;
2. **Перепуск.** Станция в этом состоянии перепускает газ через байпасный кран К20 (см. рис.2.3) узла подключения, не изменяя его параметры.

В состоянии перепуска могут находиться вновь строящиеся или полностью вышедшие из строя станции, а также станции по распоряжению центрального диспетчерского пункта, если это целесообразно с точки зрения экономической работы газопровода или по другим причинам.

Эксплуатирующаяся КС может включать от трех до десяти ГПА. Эти агрегаты могут находиться в следующих состояниях:

1. **Работа.** Агрегат в этом состоянии находится под нагрузкой, т.е. осуществляет перекачку газа по магистрали;
2. **Текущая эксплуатация.** На остановленном агрегате осуществляется некоторые виды работ по техническому обслуживанию;
3. **Горячий резерв.** На агрегате выполнены все предпусковые условия и

он готов к моментальному пуску;

4. **Резерв.** На агрегате разрешается выполнить некоторые предпусковые условия. Пуск агрегата с этого состояния должен проводиться в течение двух часов;

5. **Ремонт.** Агрегат находится в ремонте. Различают три вида ремонтов: текущий ремонт осуществляется – по истечении 8000, средний ремонт – по истечении 16000, а капитальный ремонт – по истечении 32000 часов наработки;

6. **Консервация.** Агрегат выводится из эксплуатации.

Агрегаты находящиеся в состояниях 1–4 находятся в распоряжении технологической службы, а в состоянии 4 частично, в состояниях 5, 6 полностью находятся в распоряжении технической службы.

4.1 Технологическая эксплуатация КС

Основной целью технологической службы КС является обеспечение нормальной работы магистрального газопровода. Для достижения этой цели она решает следующие задачи:

1) обеспечивает заданный центральным диспетчерским пунктом технологический режим, т.е. параметры газа на выходе из станции – давление, температуру и производительность;

2) регистрирует основные технологические и технические параметры и осуществляет непрерывный круглосуточный контроль за состоянием технологического оборудования.

Осуществляемая технологической службой эксплуатация КС включает в себя следующие этапы: подготовка к пуску, пуск, управление технологическим режимом, остановку станции и отдельных ГПА. В процессе эксплуатации подготовка к пуску, пуск и остановка ГПА осуществляются по алгоритмам, описанным в разделе 3 по монтажу и пуско-наладочным работам.

Из-за изменения потребления газа происходит как суточные, так и сезонные изменения расхода газа через магистральный газопровод. Изменение потребления газа осуществляется, как правило, изменением характеристики

оборудования потребителей (например, подключение или отключение новых потребителей, уменьшение или увеличение проходного сечения горелочных устройств и т.д.). Это приводит к изменению характеристики всего газопровода, в том числе и магистрального. Поэтому для уменьшения или увеличения пропускной способности газопровода и обеспечения заданных параметров газа на выходе из КС в режиме “Работа”, необходимо осуществить управление работой станции.

Совместный стационарный рабочий режим газопровода и станции устанавливается в точке пересечения их характеристик в точке А (рис.4.1).

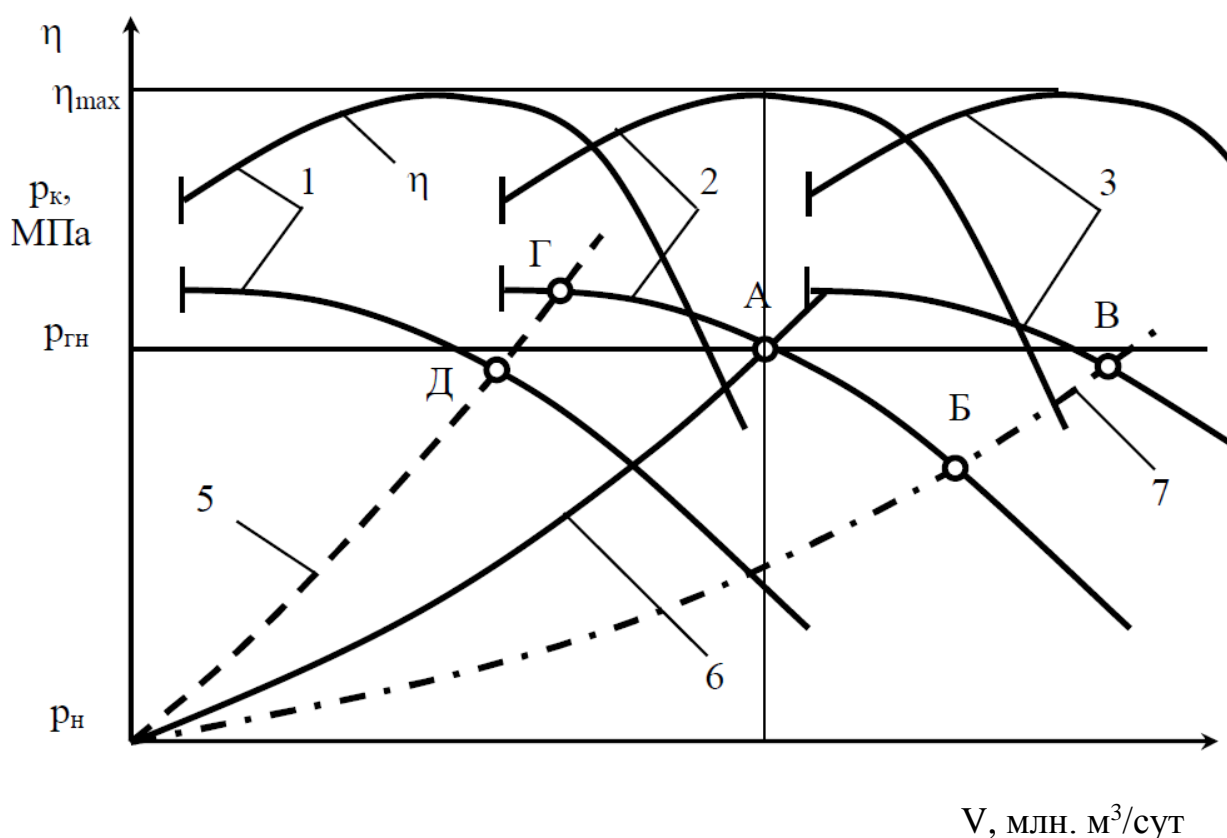


Рис.4.1. Характеристики: 1, 2, 3 – станции при параллельной работе одного, двух, трех одинаковых ГПА; 5, 6, 7 – газопровода при малом, номинальном и большом потреблении газа

Газодинамическая характеристика КС (см. рис.4.1) представляет собой суммарную характеристику работающих ГПА. При параллельной работе одинаковых агрегатов на равных частотах вращения роторов характеристику станции можно получить смещением характеристики одиночного агрегата 1 (см. рис.6.1) в сторону увеличения производительности 2, 3, пропорционально кратности параллельно включаемых ГПА. При уменьшении внешнего сопротивления, например, увеличении проходного сечения газопровода, происходит снижение давления на выходе центробежного компрессора, связанное падением давления на его внутренних элементах-сопротивлениях. Поэтому характеристика компрессора имеет падающий вид. Наоборот, при постоянном сечении и увеличении расхода газа через газопровод его сопротивление возрастает. Поэтому характеристика газопровода-сети является возрастающей, причем зависимость давления от расхода близка к квадратичной параболе.

Для установления желаемого режима станции и перевода её с одного режима на другой служит система управления КС. В систему управления КС включаются системы автоматического регулирования её параметров, например, частоты вращения центробежного компрессора путем изменения расхода топливного газа в камеры сгорания или поворота лопаток соплового аппарата силовой турбины двигателя. Управление работой КС производится путем ручной, дистанционной или автоматической настройки систем регулирования на поддержание желаемых значений регулируемых параметров.

Управление КС, т.е. изменение её газодинамической характеристики, в основном осуществляется тремя независимыми способами:

- 1) запуском резервного агрегата или остановкой и переводом в резервное состояние работающего ГПА, т.е. параллельным соединением компрессоров;
- 2) изменением характеристик центробежных компрессоров, т.е. режимов работающих ГПА тем или иным способом, например, изменением частоты вращения роторов центробежных компрессоров;
- 3) перепуском части перекачиваемого газа по байпасной линии КС, т.е.

изменением характеристики сети.

Допустим КС работает в расчетном режиме с максимальным КПД η_{\max} и на выходе в газопроводе обеспечивает номинальное давление $p_{\text{гн}}$ (см. точку А характеристики, рис. 4.1). Если в результате увеличения потребления газа произошло существенное изменение характеристики сети (линия 7, рис.4.1), то точка пересечения характеристик перемещаясь от А по характеристике станции (линия 2, рис. 4.1) остановится в точке Б. В этой точке установится новый рабочий режим КС, где давление на выходе из станции также существенно снизится. Установить новое, более высокое и близкое к $p_{\text{гн}}$, давление можно осуществив запуск третьего ГПА. В этом случае рабочий режим станции установится в точке В. При этом существенно возрастет и пропускная способность газопровода. Если же наоборот происходит существенное уменьшение потребления газа и характеристики сети (линия 5, рис.4.1), то точка пересечения характеристик перемещаясь от А по характеристике станции (линия 2, рис. 4.1) остановится в точке Г. В этой точке установится новый рабочий режим КС, давление на выходе из станции существенно повысится и она приблизится к режиму помпажа. Установить новое, более близкое к $p_{\text{гн}}$, давление можно останавливая одного из работающих ГПА. В этом случае рабочий режим станции установится в точке Д. При этом значительно возрастает запас по помпажу, заметно возрастет КПД η агрегата и существенно снизится потребление газа на собственные нужды из-за остановки одного из агрегатов.

Способ пуска, остановки агрегатов, т.е. параллельное соединение компрессоров позволяет осуществить наиболее экономичное регулирование расхода газа в сети с кратностью номинальной производительности применяемого компрессора. Однако, этот способ имеет и свои недостатки. Наиболее существенным из них является резкое изменение производительности КС, причем с увеличением единичной мощности ГПА оно возрастает.

Плавность изменения производительности КС может быть обеспечена при дополнительном использовании третьего способа, т.е. при перепуске части перекачиваемого газа по байпасной линии КС. Однако регулирование байпасным перепуском с линии нагнетания является хотя и достаточно простым,

но крайне неэффективным способом, ведущим к значительному перерасходу энергии.

Плавного изменения технологического режима КС можно добиться используя второй способ управления, т.е. изменяя характеристики центробежных компрессоров, осуществляемых перекачку газа. Изменение характеристики компрессора можно осуществить (п.3.1–3.4, табл. 4.1) изменением частоты вращения роторов, геометрии проточной части, газодинамических параметров потока компрессора и комбинацией этих способов.

Регулирование характеристики изменением частоты вращения ротора применялось еще на раннем этапе развития турбокомпрессоров. Это, по-видимому, связано с применением для их привода в большинстве случаев паровых турбин, которые позволяют легко изменять частоту вращения их ротора. В ГПА для привода центробежного компрессора и изменения частоты вращения его ротора в основном используется газовая турбина. Этот способ регулирования характеристики компрессора позволяет обеспечить при постоянстве КПД значительную экономию затрачиваемой на сжатие газа мощности. Мощность привода практически изменяется пропорционально кубу частоты вращения ротора. Поэтому, управляя в определенных пределах частотой вращения ротора, можно получить поле характеристик компрессора “расход – отношение давлений” и в пределах полученного поля.

Можно изменять расход и отношение давлений в любых соотношениях. Построение газодинамических характеристик при различных частотах вращения ротора можно производить на основании опытных данных или пересчетом характеристик по формулам, приведенным в [13].

К недостаткам этого способа управления компрессором следует отнести уменьшение отношения давлений при уменьшении частоты вращения ротора и несколько узкий диапазон устойчивой работы компрессора, чем при дросселировании на линии всасывания. Следует отметить также сложность создания как компрессора, так и турбины с переменной частотой вращения ротора из-за необходимости отстройки ротора от резонансов во всем

диапазоне частот вращения, а не только при расчетной частоте.

Таблица 4.1

Способы регулирования		
1.Изменение характери- стики сети	1.1.Перепуск (байпасирование)	
	1.2.Дросселирование на нагнетании	
	1.3.Дросселирование на линии всасывания	
	1.4.Комбинация способов	
2.Параллельное или последовательное подключение нескольких потоков или компрессоров		
3.Изменение характери- стики компрессора	3.1.Изменение частоты вращения роторов	3.1.1.Паровая или газовая турбины
		3.1.2.Регулируемый электропривод
		3.1.3.Гидро и электромагнитные муфты
		3.1.4.Вариаторы
	3.2.Изменение геометрии проточной части	3.2.1.Подвижные кольца диски, диафрагмы на входе в РК
		3.2.2.Лопаточные ВРА
		3.2.3.Поворотные лопатки в РК
		3.2.4.Поворотные лопаточные диффузоры (ПЛД)
		3.2.5.ЛД с регулируемой шириной участка БЛД
		3.2.6. Комбинация способов
		3.3.Изменение газодинами- ческих пара- метров потока
	3.3.2.Изменение кинети-ческой энергии потока в эжекторах	
	3.3.3. Изменение закрутки потока в вихревых устройствах	
	3.3.4. Комбинация способов	
	3.4.Комбина- ция способов	
	4.Комбина- ция способов	4.1.Перепуск газа через рекуперационную турбину
4.2. Изменения характеристики сети и геометрии проточной части		
4.3.Перепуск с использованием энергии газового потока в газодинамических устройствах		

4.2 Техническое обслуживание КС

Основной целью технической службы является обеспечение работоспособного состояния технологического оборудования КС. Для достижения этой цели она решает следующие задачи:

1) на основе анализа зарегистрированных технических параметров, замечаний технологической службы регулярно изучает состояния работающих ГПА станции и ставит диагноз;

2) проводит техническое обслуживание работающего оборудования, что позволяет восстанавливать исходное состояние, которое ухудшилось в ходе эксплуатации;

3) проводит ремонт или отправляет в централизованную ремонтную службу оборудование, подлежащее текущему, среднему или капитальному ремонту;

4) осуществляет консервацию оборудования, выводящегося из эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов.— М.: Нефть и газ, 1999.—463 с.
2. Ревзин Б.С., Ларионов И.Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. Справочное пособие. – М.: Недра, 2011. – 303с.
3. Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам.— М.: ВНИИГАЗ, 2009.-68 с.
4. Апанасенко А.И., Крившич Н.Г., Федоренко Н.Д. Монтаж, испытания и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов в блочно-контейнерном исполнении. – Л.: Недра, 2015. – 361 с.
5. Хадиев М.Б., Палладий А.В. Компрессорные станции: Учебное пособие /Казан. хим.-технол. ин-т; Казань, 1991.-72 с.
6. ГОСТ 21199–82. Установки газотурбинные. Общие технические требования.
7. ГОСТ 23194-83.Нагнетатели центробежные для транспортирования природного газа. Основные параметры.
8. ОСТ51.40–83. Газы горючие природные,подаваемые в магистральные газопроводы. Технические условия.
9. ПБ12–245–98. Правила безопасности в газовом хозяйстве / Горгостехнадзор России.—М.:—НПО ОБТ, 1999.—124с.
10. СНиП 3.05.02–88*. Газоснабжение. 11.СНиП 2.04.08–87*. Газоснабжение.
11. Хадиев М.Б. Газоперекачивающие агрегаты магистральных газопроводов: учебное пособие / Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2004.— 103с.
12. Стаскевич Н.Л. и др. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра. 2012. – 762.
13. Шайхутдинов А.З. Повышение энергетических показателей проточных частей нагнетателей газоперекачивающих агрегатов, применяемых на предприятиях ОАО “Газпром”: Автореф. Дис...канд. техн. наук.— Казань, Казан.

гос. Технол. ун-т.–2000.– 18 с.

14 ГОСТ 28567–90. Компрессоры. Термины и определения. М.: изд. Стандартов.– 26 с.

15 Апанасенко А.И., Малюшенко В.В. Газоперекачивающие агрегаты для газовой промышленности. Обзорная информация. Серия ХМ-5. Москва, ЦИНТИхимнефтемаш, 1985.-53 с.

16 ГОСТ 2.701-84. Виды и типы схем. Требования к выполнению схем.

17 Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам.– М.: ВНИИГАЗ, 1997.-68 с.