

Ташкентский государственный технический университет им. Абу Райхана Беруни

Авиационный факультет

На правах рукописи

КУЗИЕВ КАМОЛ ОЛИМОВИЧ

**ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ГАЗОТУРБИННОГО АВИАДВИГАТЕЛЯ
В ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Специальность: 5А310403 – «Техническая эксплуатация авиационных
электросистем и пилотажно навигационных комплексов»

Научный руководитель

д.т.н., профессор Ибодуллаев М.

Ташкент – 2014

Содержание

Введение

Глава 1. Расчет режимов работы по располагаемой мощности привода газоперекачивающего агрегата (ГПА). §

- §1.1. Назначение и основные технические характеристики дожимной компрессорной станции 7
- §1.2. Расчет оптимальных режимов дожимной компрессорной станции 11
- §1.3. Сводные результаты расчетов 21
- §1.4. По результатам расчета исследование влияния различных факторов на режимы работы турбокомпрессорного агрегата

Глава 3. Устройства и принцип действия газоперекачивающего агрегата.

Турбокомпрессорный агрегат

- 3.1.1. Основные технические характеристики турбокомпрессорного агрегата ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1

- §3.1. 33
- 3.1.2. Устройство и принцип работы агрегата 34

	ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1	
3.1.3.	Турбоблок	39
§3.2.	Газотурбинный авиадвигатель НК-16-18СТ	48
3.2.1.	Электрооборудование газотурбинного авиадвигателя НК-16-18СТ	61
3.2.2.	Система электроснабжения газотурбинного авиадвигателя НК-16-18СТ	65
§3.3.	Система контроля, обеспечивающая оптимальные режимы работы авиадвигателя НК-16-18СТ	66
3.3.1.	Система контроля	66
3.3.2.	Датчик измерения частоты вращения ДЧВ-2500А (ДЧВ-2500)	76
3.3.3.	Приемники температуры П-77 вар. 2	77
3.3.4.	Датчики температуры торможения П-98	78
3.3.5.	Термопары Т-93 вар. 4	79
3.3.6.	Дифференциальный сигнализатор давления	80
3.3.7.	Теплостойкий сигнализатор давления	81
3.3.8.	Виброустойчивый теплостойкий сигнализатор давления	83
3.3.9.	Сигнализатор предельных оборотов	84
3.3.10.	Система защиты от помпажа	85
3.3.11.	Регулятор температуры РТ-12-9А сер. 4 (РТ-12-9А)	88
3.3.12.	Аппаратура контроля вибрации авиадвигателя НК-16-18СТ	90
3.3.13.	Теплостойкий сигнализатор давления МСТ-14АСМ	93
	Заключение	95
	Литература	96

ВВЕДЕНИЕ

Узбекистан обладает огромными углеводородными ресурсами. На Устюрте, в Бухаре, Хорезме, Сурхандарье и Фергане открыты более 170 месторождений углеводородного сырья. Узбекский газ в поставляется в южные регионы России и перепродается в Европу. По оценкам ведущих специалистов газовой промышленности России для ОАО «Газпром» экономически выгоднее и целесообразнее экспортировать среднеазиатский газ, чем российский. Узбекистан поставляет газ и соседним странам – Казахстану, Кыргызстану, Таджикистану. Помимо этого, ускоренными темпами развивается экспорт газа и в азиатские страны. Так газопровод «Центральная Азия-Китай» сдан в эксплуатацию 15 декабря 2009 года. В конце прошлого года была введена в эксплуатацию вторая ветка газопровода «Узбекистан-Китай». В связи с этим, можно с уверенностью говорить о том, что узбекский газ пользуется большим спросом на внешнем рынке и его экспорт в перспективе будет увеличиваться.

Между тем пластовое давление на некоторых длительно эксплуатируемых газоконденсатных месторождениях не позволяют эффективно подготовить газ к транспортировке. Для этого на таких месторождениях строятся Дожимные компрессорные станции (далее по тексту ДКС).

Определение установленной мощности дожимных компрессорных станций и выбор типа приводов для компрессорных агрегатов является актуальной задачей. Правильный выбор двигателя позволяет решить оптимизацию объемов капитальных вложений на строительство ДКС, минимизировать потребление энергоресурсов, уменьшать выбросы в окружающую среду, повышению эффективности инвестиций, без которых невозможно приступить к реализации инвестиционного проекта. Серьезные инвестиции в «дорогие проекты ДКС» возможны только при условии должного внимания к выбору мощности газоперекачивающих и типа двигателя. Важней задачей при строительстве ДКС является выбор авиадвигателя, обеспечивающий оптимальный режим с минимальным энергопотреблением и с высокой КПД.

Целью настоящей диссертационной работы является исследование основных параметров агрегата для оптимального выбора типа газотурбинного авиадвигателя ДКС.

Объектом исследования диссертационной работы является приводы нагнетателя газоперекачивающих агрегатов, работающие на природном газе - газотурбинные авиадвигатели.

Предметом исследования является определение оптимальной мощности газоперекачивающих агрегатов и выбор газотурбинного авиадвигателя для проектируемой дожимной компрессорной станции.

Задачами диссертационной работы являются:

1. Решение прикладной задачи по выбору компрессорного оборудования и оптимизация режимов работы.
2. Исследование параметров влияющих на мощность и КПД турбокомпрессорного агрегата при динамическом режиме.
3. Назначение и устройство системы электроснабжения электрооборудования и контроля режима работы авиадвигателя.

Методы решения задач

1. Работа имеет прикладное значение и выполнено на основе договора с СП ООО «GISSARNEFTGAZ» (г. Карши).
2. Расчеты режимов работы компрессорной станции по располагаемой мощности привода газоперекачивающих агрегатов.

Научная новизна

1. Замена устаревших и исчерпавших свой ресурс ГПА многочисленных компрессорных станций с маломощными газоперекачивающими агрегатами в системе АК «Узтрансгаз» на новые агрегаты ТКА-Ц-16 на базе авиадвигателя НК-16-18СТ позволяющий уменьшить капиталоемкость проектов.

2. Сэкономить топливно-энергетические ресурсы, улучшит экологическую обстановку за счет уменьшения количества выбросов в окружающую среду
3. Повышение КПД ГТУ, сокращение межремонтного периода машин.

Практическая ценность

1. Предложенные технические решения позволяют определения оптимальной мощности газотурбинного авиадвигателя для ДКС. Строительство ДКС, в условиях истощения пластовой энергии месторождений СП ООО «GISSARNEFTGAZ», необходимо для поддержания давления сырьевого влажного сероводородсодержащего газа на входе в установки низкотемпературной сепарации газа.
2. Применение более современных мощных высокоэффективных авиадвигателей позволил сэкономить ресурсы около 186 млн. сумов и улучшил экологическую обстановку региона.

Основные положения диссертации опубликованы и должны:

- на расширенном научно-техническом совете СП ООО «GISSARNEFTGAZ» г. Карши;
- на заседании кафедры «Эксплуатация радиоэлектрооборудования летательных аппаратов и аэропортов» и на ежегодной научно-технической конференции профессорско-преподавателей Авиационного факультета Ташкентского государственного технического университета им. А.Р. Беруни.

По результатам выполненных работ опубликованы 2 статьи в материалах научно-практической конференции ТашГТУ.

Глава 1.

Расчет режимов работы по располагаемой мощности привода газоперекачивающего агрегата (ГПА).

§1.1. Основные технические параметры дожимной компрессорной станции

Основные технические параметры ДКС приведены в таблице 1.1:

Таблица 1.1

Год	Объем газа, млн. м ³ /сут.	Параметры			
		На входе ДКС		На выходе ДКС	
		Р, МПа	Т, °С	Р, МПа	Т, °С
2012	7,40	2,4	26-40	10,0	50,0
2013	6,33	2,4	26-40	10,0	50,0
2014	4,84	2,4	24-40	10,0	50,0
2015	4,08	2,4	23-40	10,0	50,0

Температурные условия района строительства (г. Гузар) изменяются:

Температура наружного воздуха, 0С

- абсолютная минимальная	минус 22,9
- абсолютная максимальная	плюс 48,1
- средняя наиболее жаркого месяца	плюс 38,1
- средняя наиболее холодного месяца	минус 1,4
- расчетная для выбора располагаемой мощности привода ГПА	плюс 43,1

В рисунках 1.1 и 1.2 показаны принципиальная схема транспорта газа с месторождений с расположением проектной ДКС, а также принципиально-технологическая схема самой ДКС.

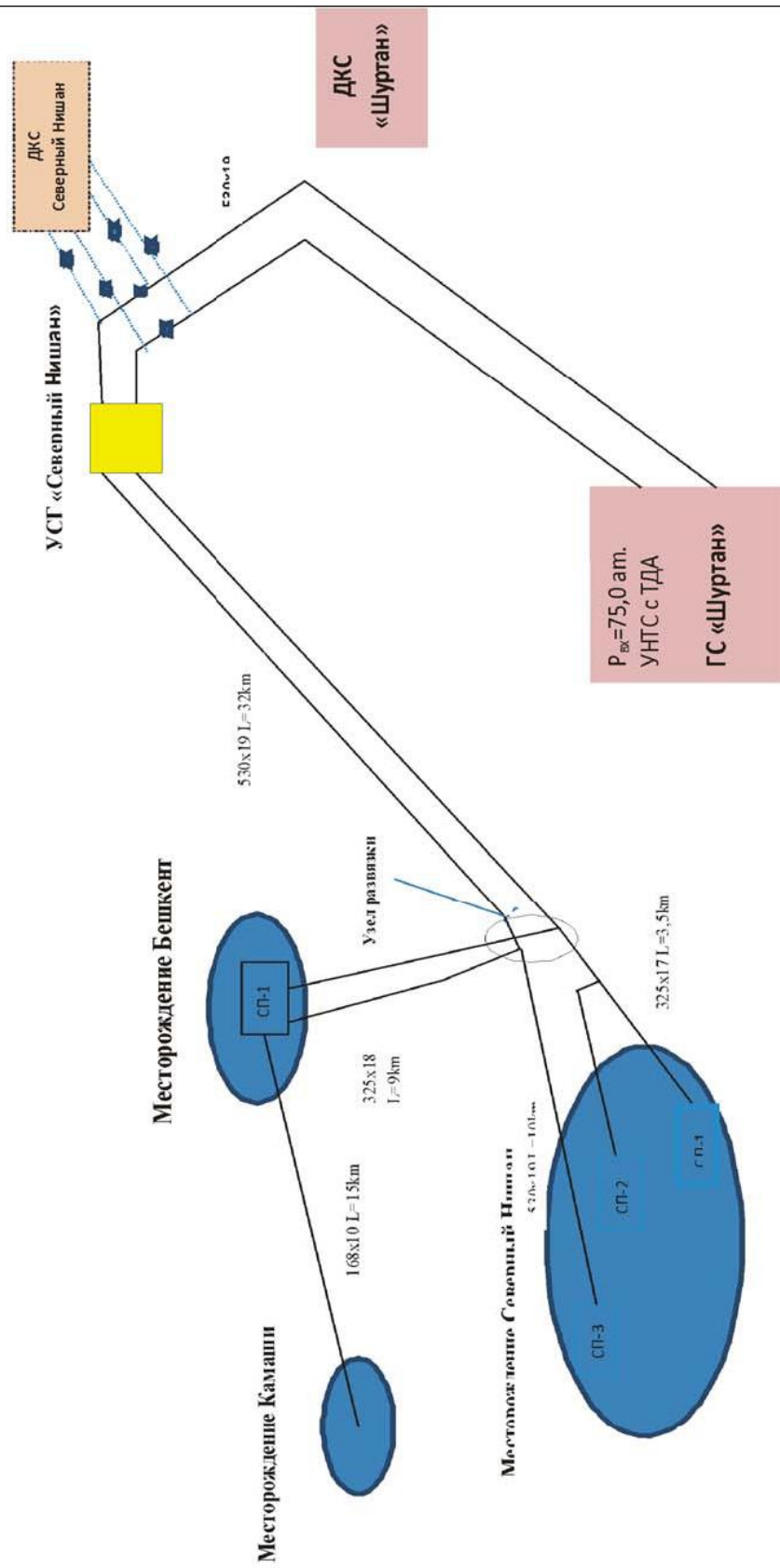
Природный газ из нескольких месторождений по сборному коллектору подается на установку сепарации газа (УСГ), затем подается на проектный ДКС

для компремирования, т.е. повышения давления перед подачей на установки Головных сооружений (ГС).

На ДКС предусмотрен сепаратор-пробкоуловитель С1, блок сепаратора БС101, компрессорный агрегат – К, аппарат воздушного охлаждения АВО 101, блока сепаратора БС102.

Для сбора дренажных стоков предусмотрена дренажная емкость Е1 и емкость для конденсата Е2.

Рис. 1.1.1 Принципиальная схема транспорта газа с месторождений «Северный Нишан», «Камаша», «Бешкент» и расположением проектной ДКС «Северный Нишан»



Условные обозначения:

СП – сборочный пункт газа

ГС – газовое сооружение

ДКС – дожимная компрессорная станция

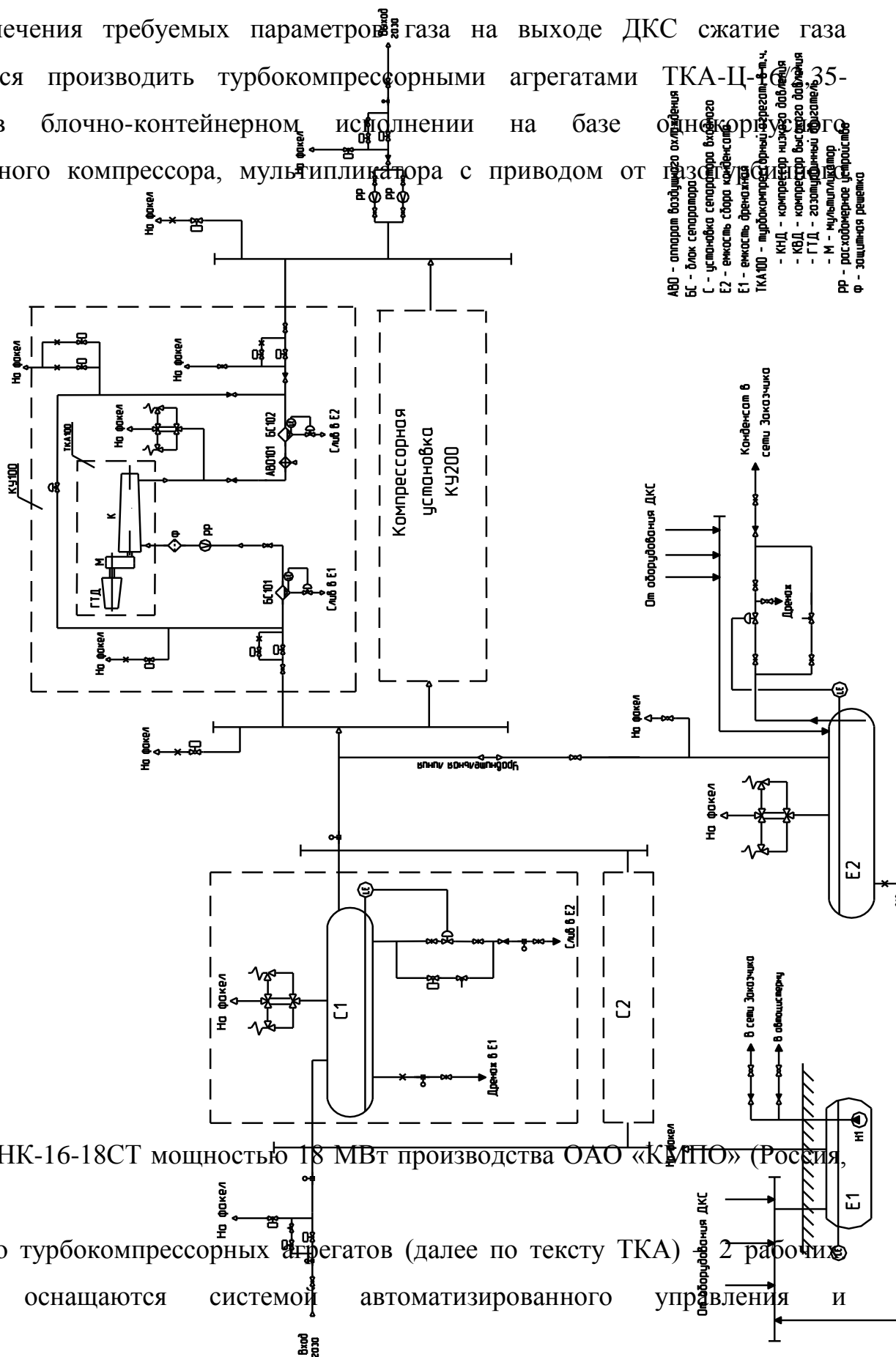
УНТС – установка предвзрывительной подготовки газа

УСТ – установка сепарации газа

----- проектные сооружения

Рис 1.2. Принципиально-технологическая схема ДКС

Для обеспечения требуемых параметров газа на выходе ДКС сжатие газа предлагается производить турбокомпрессорными агрегатами ТКА-Ц-С-35-10,1М1 в блочно-контейнерном исполнении на базе оборудования центростремительного компрессора, мультипликатора с приводом от



двигателя НК-16-18СТ мощностью 18 МВт производства ОАО «КМПО» (Россия, г. Казань).

Количество турбокомпрессорных агрегатов (далее по тексту ТКА) - 2 рабочих

Агрегаты оснащаются системой автоматизированного управления и

регулирования (САУ и Р), антипомпажным регулированием и системами, обеспечивающими нормальную эксплуатацию агрегата.

§1.2. Расчет оптимальных режимов работы дожимной компрессорной станции

Давление газа на входе компрессорного цеха следует вычислять по формуле [5]:

$$P_{вс} = P_{к} - \delta P_{вх}, \quad (1.1)$$

где: $\delta P_{вх}$ - потери давления во входных технологических коммуникациях компрессорной станции.

Потери давления газа в технологических трубопроводах и оборудовании компрессорной станции следует рассчитывать: в трубопроводной обвязке - по проектным геометрическим характеристикам; в оборудовании - по техническим характеристикам заводов-изготовителей оборудования.

Потери давления газа не должны превышать величин, приведенных в таблице 1.2:

Таблица 1.2

Давление в газопровод е	Потери давления газа на КС, МПа
----------------------------------	---------------------------------

(изб.) МПа	Всего		В том числе:		
			на всасывании		на нагнетании
	при 1- ступенчато й очистке газа	при 2-х ступенчатой очистке газа	при 1- ступенчатой очистке газа	при 2-х ступенчатой очистке газа	
5,40	0,15	0,20	0,08	0,13	0,07
7,35	0,23	0,30	0,12	0,19	0,11
9,81	0,26	0,34	0,13	0,21	0,13

Точкой (сечением), определяемым как вход компрессорного цеха, считается точка (сечение) измерения давления в районе (не более 3 м) входного патрубка нагнетателя (или первого в группе последовательно соединенных нагнетателей).

Температуру газа $T_{вс}$ на входе компрессорного цеха следует принимать равной температуре газа $T_{к}$ в конце предшествующего линейного участка газопровода.

Объемную производительность при параметрах на входе в нагнетатель Q м³/мин., необходимо вычислять по формуле[5] :

$$Q = \frac{0,24 \cdot Q_{к} \cdot z_{вс} \cdot T_{вс}}{P_{вс}}, \quad (1.2)$$

где:

$Q_{к}$ - производительность центробежного нагнетателя, млн. м³/сут (при 293,15 К и 0,1013 МПа),

$z_{вс}$, $P_{вс}$, $T_{вс}$ - коэффициент сжимаемости, абсолютное давление (МПа) и температура (К) газа на входе в нагнетатель.

Мощность N , кВт, потребляемую нагнетателем, необходимо вычислять по

формуле [5]:

$$N = \frac{Ni}{0,95 \cdot \eta_m}, \quad (1.3)$$

где: Ni - внутренняя мощность нагнетателя, определяемая по приведенным характеристикам нагнетателей;

0,95 - коэффициент, учитывающий допуски и техническое состояние нагнетателя;

η_m - механический коэффициент полезного действия нагнетателя и редуктора (если имеется), для газотурбинных ГПА должен определяться по табл.1.3; для электроприводных ГПА должен приниматься равным 0,96.

При отсутствии приведенных характеристик нагнетателя допускается приближенное расчетное определение внутренней мощности нагнетателя, кВт, по формуле [5]:

$$Ni = \frac{13,34 \cdot z_{вс} \cdot T_{вс} \cdot Q_k}{\eta_{пол}} \cdot (\varepsilon^{0,3} - 1) = \frac{55,6 \cdot P_{вс} \cdot Q}{\eta_{пол}} \cdot (\varepsilon^{0,3} - 1) \quad (1.4)$$

где $\varepsilon = \frac{P_{наг}}{P_{вс}}$ - степень повышения давления в нагнетателе;

$\eta_{пол}$ - политропический КПД нагнетателя, при отсутствии данных, принимаемый равным 0,80.

Расчет рабочих параметров центробежных нагнетателей необходимо выполнять по их приведенным характеристикам, позволяющим учитывать: отклонение параметров газа на входе нагнетателя, а именно $z_{вс}$, R , $T_{вс}$ от их приведенных значений $z_{пр}$, $R_{пр}$ и $(T_{вс})_{пр}$, указанных на характеристиках, где R - газовая постоянная компримируемого газа, $\frac{кДж}{гк \cdot К}$, определяемая по формуле:

$$R = \frac{0,287}{\Delta}. \quad (1.5)$$

Величина относительной плотности газа по воздуху Δ должна приниматься согласно исходным данным для расчетного состава транспортируемого газа.

При расчете рабочих параметров центробежных нагнетателей необходимо использовать следующие приведенные характеристики:

Характеристика центробежного нагнетателя в форме зависимостей степени повышения давления $\varepsilon = P_{наг} / P_{во}$, политропического коэффициента полезного действия $\eta_{пол}$ и приведенной относительной внутренней мощности

$$\left(\frac{Ni}{\gamma_{вс}} \right)_{np} = \frac{Ni}{\delta_{вс}} \cdot \left(\frac{n_n}{n} \right)^3, \quad \frac{\text{кВт}}{\text{кг/м}^3} \quad (1.6)$$

от приведенной объемной производительности $Q_{np} = Q \cdot \frac{n_n}{n}$, м³/мин., при различных значениях приведенных относительных оборотов

$$\left(\frac{n}{n_n} \right)_{np} = \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{z_{np} \cdot (T_{вс})_{np} \cdot R_{np}}{z_{вс} \cdot T_{вс} \cdot R}}, \quad (1.7)$$

где $\gamma_{вс} = \frac{P_{вс} \cdot 10^3}{z_{вс} \cdot R \cdot T_{вс}}$ - плотность газа при условиях на входе в нагнетатель, кг/м³.

Характеристики отдельного центробежного нагнетателя и групп из двух и трех последовательно включенных нагнетателей в форме зависимостей степени повышения давления и приведенной внутренней мощности

$$(Ni)_{np} = \frac{Ni \cdot (P_{вс})_{np}}{P_{вс}} \cdot \sqrt{\frac{z_{np} \cdot (T_{вс})_{np} \cdot R_{np}}{z_{вс} \cdot T_{вс} \cdot R}}, \quad \text{кВт}, \quad (1.8)$$

от приведенной производительности

$$(Q_k)_{np} = Q_k \cdot \sqrt{\frac{z_{вс} \cdot T_{вс} \cdot R_{np}}{z_{np} \cdot (T_{вс})_{np} \cdot R}} \text{млн. м}^3/\text{сутки}, \quad (1.9)$$

и давления на входе при различных значениях приведенных относительных оборотов

$$\left(\frac{n}{n_n} \right)_{np} = \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{z_{np} \cdot (T_{вс})_{np} \cdot R_{np}}{z_{вс} \cdot T_{вс} \cdot R}}. \quad (1.10)$$

При расчетах по групповым приведенным характеристикам значение $(Ni)_{np}$ следует определять для последнего нагнетателя в группе.

Параметры работы нагнетателей при давлении на выходе, отличающемся от номинального значения, следует находить с помощью линий постоянной приведенной объемной производительности

$$(\mathcal{Q})_{np} = \mathcal{Q} \cdot \sqrt{\frac{z_{np} \cdot (T_{\text{вс}})_{np} \cdot R_{np}}{z_{\text{вс}} \cdot T_{\text{вс}} \cdot R}},$$

нанесенных на полях приведенных характеристик;

Характеристика отдельного центробежного нагнетателя в форме зависимости повышения температуры газа в нагнетателе $\Delta t_n (\Delta T_n)$ от его приведенной объемной производительности для различных значений приведенных относительных оборотов

$$\left(\frac{n}{n_n} \right)_{np} = \frac{n}{n_n} \cdot \sqrt{\frac{z_{np} \cdot R_{np}}{z \cdot R}}. \quad (1.11)$$

Расчет рабочих параметров центробежных нагнетателей необходимо выполнять в следующем порядке:

определение приведенных значений заданных параметров;

определение рабочих точек КС на приведенных характеристиках расчетного элемента (нагнетатель или группа последовательно включенных нагнетателей);

определение приведенных значений искомых параметров по координатам рабочих точек КС на приведенных характеристиках;

определение истинных значений искомых параметров.

Политропический КПД нагнетателя для линейных КС на расчетном режиме, определенный по приведенным характеристикам, должен быть не менее 0,80. Режим с рабочей точкой, имеющей меньшее значение КПД, допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Температуру газа на выходе нагнетателя $T_{\text{наг}}$, К, следует вычислять по формуле:

$$T_{\text{наг}} = T_{\text{вс}} + \Delta T_n, \quad (1.12)$$

где ΔT_n - повышение температуры, определенное по характеристикам нагнетателя; допускается его вычисление по формуле:

$$\Delta T_n = T_{вс} \cdot \left(\varepsilon \cdot \frac{0,235}{\eta_{пол}} - 1 \right). \quad (1.13)$$

Расчет располагаемой мощности привода газоперекачивающих агрегатов

Располагаемая мощность - это максимальная рабочая мощность на муфте нагнетателя (компрессора), которую может развивать привод в конкретных расчетных стационарных условиях.

Располагаемую мощность N_e^P , кВт газотурбинной установки (ГТУ) для привода центробежного нагнетателя в зависимости от условий работы необходимо вычислять по формуле:

$$N_e^P = N_e^H \cdot K_n \cdot K_{об} \cdot K_y \cdot \left(1 - K_t \cdot \frac{T_3 - T_3^H}{T_3} \right) \cdot \frac{P_o}{0,1013}, \quad (1.14)$$

где: N_e^H - номинальная мощность ГТУ, кВт;

K_n - коэффициент, учитывающий допуски и техническое состояние ГТУ;

K_t - коэффициент, учитывающий влияние температуры наружного воздуха;

T_3, T_3^H - расчетная и номинальная температуры воздуха на входе ГТУ, К;

$K_{об}$ - коэффициент, учитывающий влияние противообледенительной системы;

K_y - коэффициент, учитывающий влияние системы утилизации тепла выхлопных газов;

P_o - расчетное давление наружного воздуха, МПа.

Значения N_e^H, K_n, K_t, T_3^H должны приниматься по табл.1.3.

Таблица 1.3

Обозначение показат	Размерность	ГТ-700-5	Тип ГТУ	ГПА-Ц-6,3	ГТК-10	ГПУ-10	ГТН-10И

емя								
			ГТ-750-6 (ГТК-5)	ГТ-6-750 (ГТН-6)				
N_e^H	кВт	4,250 (4,400)	6000	6300	6300	10000	10000	10200
T_3^H	К (°С)	288 (15)	288 (15)	288 (15)	288 (15)	288 (15)	298 (25)	288 (15)
q_{mz}^H	$\frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$	1,88	2,45	2,82	3,28	3,70	4,05	4,22
K_t	-	4,4	3,7	2,8	1,3	3,7	3,7	2,0
K_N	-	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
η_μ	-	0,95 (0,977)	0,983	0,975 (0,984)	0,984	0,990	0,990	0,990

Продолжение Таблицы 1.3

Обозначение показателя	Размерность	Коберра 182	ГТК-16	Тип ГТУ		ГТН-25	ГТН-25И
				ГТН-16	ГПА-Ц- 16		
N_e^H	кВт	12900	16000	16000	16000	24000	24400
T_3^H	К(°С)	288(15)	288(15)	288(15)	288(15)	298(25)	288(15)
q_{mz}^H	$\frac{\text{тыс. м}^3}{\text{ч}}$	5,03	6,86	5,93	6,24	9,37	9,38
K_t	-	2,2	3,2	3,2	2,8	3,2	2,2
K_N	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
η_μ	-	0,985	0,990	0,990	0,993	0,992	0,995

Примечание.

1. При отсутствии данных о характеристиках ГТУ допускается принимать усредненные значения показателей:

$$q_{mz}^H = 0,41 \cdot N_e^H \cdot 10^{-3}, \quad K_N = 0,95, \quad \eta_\mu = 0,985.$$

2. Данные таблицы должны корректироваться разработчиками настоящего раздела норм в соответствии с изменениями технической документации на ГТУ.

Расчетную температуру воздуха на входе ГТУ T_z , К необходимо вычислять по формуле:

$$T_z = T_a + \delta T_a, \quad (1.15)$$

где: T_a - средняя температура наружного воздуха в рассматриваемый период, определяемая по данным главы СНиП 2.01.01-82 или данным метеостанций;

δT_a - поправка на изменчивость климатических параметров и местный подогрев наружного воздуха на входе ГТУ, следует принимать равной 5 К.

Расчетное давление наружного воздуха в зависимости от высоты расположения КС следует принимать по данным табл. 1.5.

Таблица 1.5

Высота над уровнем моря, м	0	250	500	750	1000	1500	2000
Абсолютное давление атмосферного воздуха, P_a , МПа	0,0998	0,0969	0,0940	0,0913	0,0886	0,0833	0,0783

Значения коэффициента $K_{об}$ должны приниматься по данным технической документации ГТУ в зависимости от расчетной температуры атмосферного воздуха, наличия и типа противообледенительной системы. Коэффициент $K_{об}$ принимают равным 1,0:

- а) при отсутствии противообледенительной системы;
- б) при отсутствии ее влияния на мощность ГТУ;
- в) при расчетной температуре воздуха на входе ГТУ T_z выше 278 К (+5° С).

Рекомендуемые величины или формулы для расчета $K_{об}$ приведены ниже в

таблице.

Коэффициент $K_{об}$, учитывающий влияние противообледенительной системы ГТУ приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Тип ГТУ	Диапазон температур воздуха на входе компрессора ГТУ, T_3 К	Формула для расчета или значение коэффициента $K_{об}$
ГТК-10	> 278	1,0
	≤ 278	0,90
ГТН-10И ГТН-25И оснащенных системой с подогревом продуктами сгорания	> 277	1,0
	≤ 277	1,0 при этом температура T_3 принимается постоянной и равной 277 К
ГТН-10И ГТН-25И оснащенных системой с подогревом воздухом после компрессора	≥ 277	1,0
	от 266 до 277	$0,94 + 0,014 (T_3 - 273)$
	≤ 266	0,84
ГПА-Ц-16	≥ 280	1,0
	от 268 до 280	0,96
	от 268 до 263	0,945
ГТН-16	≥ 276	1,0
	от 263 до 276	1,0 при этом температура T_3 принимается постоянной и равной 266 К

Коэффициент, учитывающий влияние системы утилизации тепла выхлопных газов, необходимо определять по формуле;

$$K_y = 1 - K'_y \cdot \frac{\Delta P_y}{P_a}, \quad (1.16)$$

где: ΔP_y - увеличение гидравлического сопротивления выхлопного тракта ГТУ

при установке системы утилизации; необходимо определять по техническим данным системы утилизации;

K'_y - коэффициент слияния увеличения гидравлического сопротивления выхлопного тракта ГТУ, определяемый в соответствии с технической документацией ГТУ.

При отсутствии технических данных системы утилизации коэффициент K_y допускается принимать равным 0,985.

Значение располагаемой мощности N_e^p (кроме ГПУ-10) не должно превышать величины $1,15 N_e^p$ (для ГПУ-10 - величины N_e^p). Если в результате расчета получена большая величина, то следует принимать

$$N_e^p = 1,15 N_e^h \quad (\text{для ГПУ-10 } N_e^p = N_e^h).$$

Располагаемая мощность N_e^p , кВт, газомоторного привода поршневого ГПА должна определяться по техническим условиям на поставку данного типа ГПА.

Значение N_e^p газомоторного привода не должно превышать номинальной величины N_e^h .

Располагаемая мощность синхронного электропривода газоперекачивающего агрегата должна приниматься равной номинальной мощности при нормативных значениях параметров системы охлаждения привода ГПА.

При отклонении от номинальных значений температуры охлаждающей среды водяной или воздушной систем охлаждения электропривода располагаемая мощность должна определяться по данным табл. 1.6.

Таблица 1.5

Температура охлаждающей воды, °С	20 и менее	30	35	40	50
Температура охлаждающего воздуха, °С	30 и менее	40	45	50	-

Располагаемая мощность в % от номинальной при $\cos \varphi = 0,9$	106	100	95	87	70
--	-----	-----	----	----	----

При $\cos \varphi = 1$ и температуре охлаждающей воды 30°C и ниже допускается увеличение располагаемой мощности на 8-10 %.

Мощность, потребляемая нагнетателем должна, как правило, находиться в следующих пределах располагаемой мощности привода;

а) для газотурбинного привода при $T_a > 273 \text{ K } (0^{\circ} \text{ C})$

$$0,9 N_e^p \leq N \leq N_e^p$$

б) для газотурбинного привода при $T_a < 273 \text{ K } (0^{\circ} \text{ C})$ и электрического привода

$$0,85 N_e^p \leq N \leq N_e^p$$

Уменьшение нижнего предела использования располагаемой мощности допускается при соответствующем обосновании.

§1.3. Сводные результаты расчетов

Сводные результаты расчетов режима работы ДКС представлены в таблице.

Год	Производительность ДКС, млн.м ³ /сутки	Количество агрегатов	Производительность одного агрегата, млн.м ³ /сутки	Параметры на входе ДКС		Параметры на выходе ДКС		Расчетная мощность, МВт	Частота вращения, об/мин
				$P_{в}$, МПа	$T_{в}$, °C	$P_{к}$, МПа	$T_{к}$, °C		
2011	9,41	2	4,705	3,45	40	10,101	156,3	10,414	9130
2012	7,40	2	3,700	2,35			201,7	11,991	11000
2013	6,33	2	3,165				204,5	10,477	10890
2014	4,84	1	4,84* (3,881)				201,9	13,245 (12,6)	11100
2015	4,08	1	4,08* (3,881)				201,9	15,712 (12,6)	11100

Глава 2.

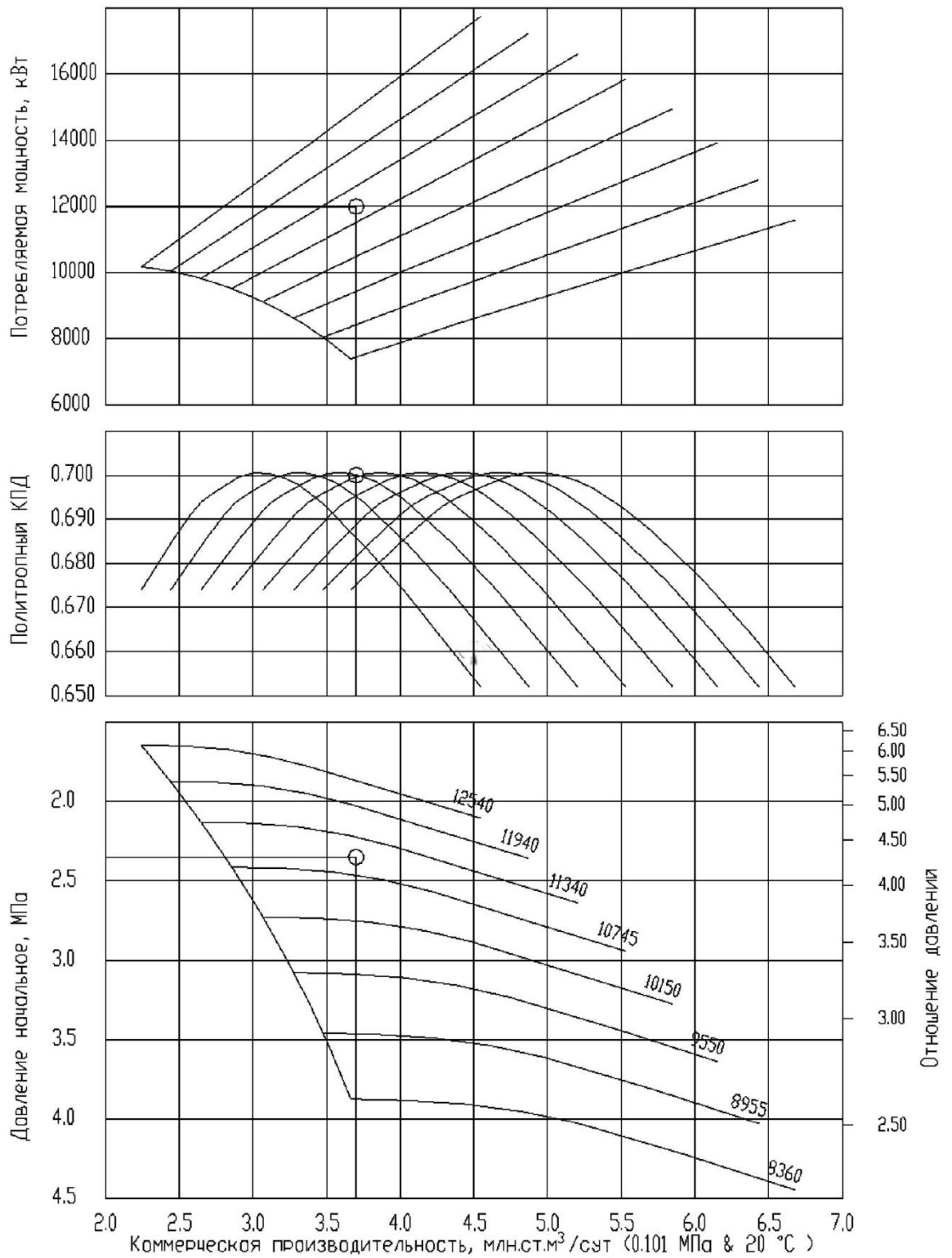
Исследование параметров, влияющих на режимы работы турбокомпрессорного агрегата

Исследование параметров, влияющих на мощность и КПД турбокомпрессорного агрегата выполнено на программном комплексе «САРТУ-КС». Этот программный комплекс позволяет на стадии проектирования исследовать режимы работы компрессорных установок с многокорпусным центробежным компрессором в широком диапазоне изменения эксплуатационных параметров: состав, температура и давление потока газа на входе КУ, давление газа на выходе КУ, частота вращения СТ, температура окружающей среды и др.

§2.1. Технические характеристики компрессора

Технические характеристики компрессора, изменение мощности авиадвигателя и КПД показаны на рис.2.1-2.9

Размерные характеристики компрессора для
ДКС "Северный Нишан" (расчетный режим)



ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЧИТАНЫ НА УСЛОВИЯ
 Давление конечное 10.10 МПа
 Температура начальная 40.0 °С
 Газовая постоянная 450.9 Дж/(кг*град)

Рис.2.1. Технические характеристики компрессора

Зависимость мощности двигателей НК-16СТ и НК-16-18 СТ от температуры воздуха на входе на рис. 2.2

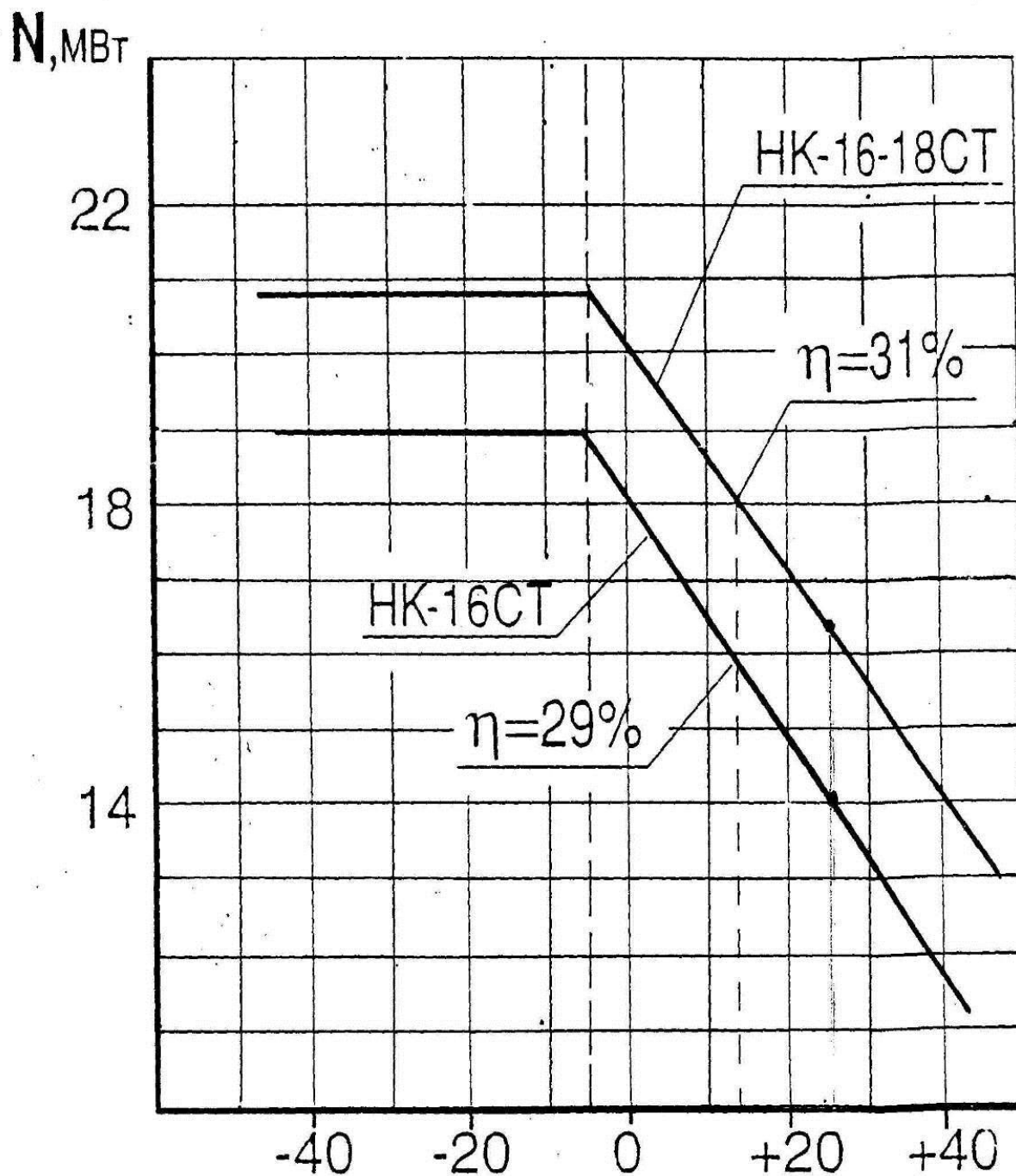


Рис. 2.2 Зависимость мощности (N) от температуры воздуха на входе (t_v)

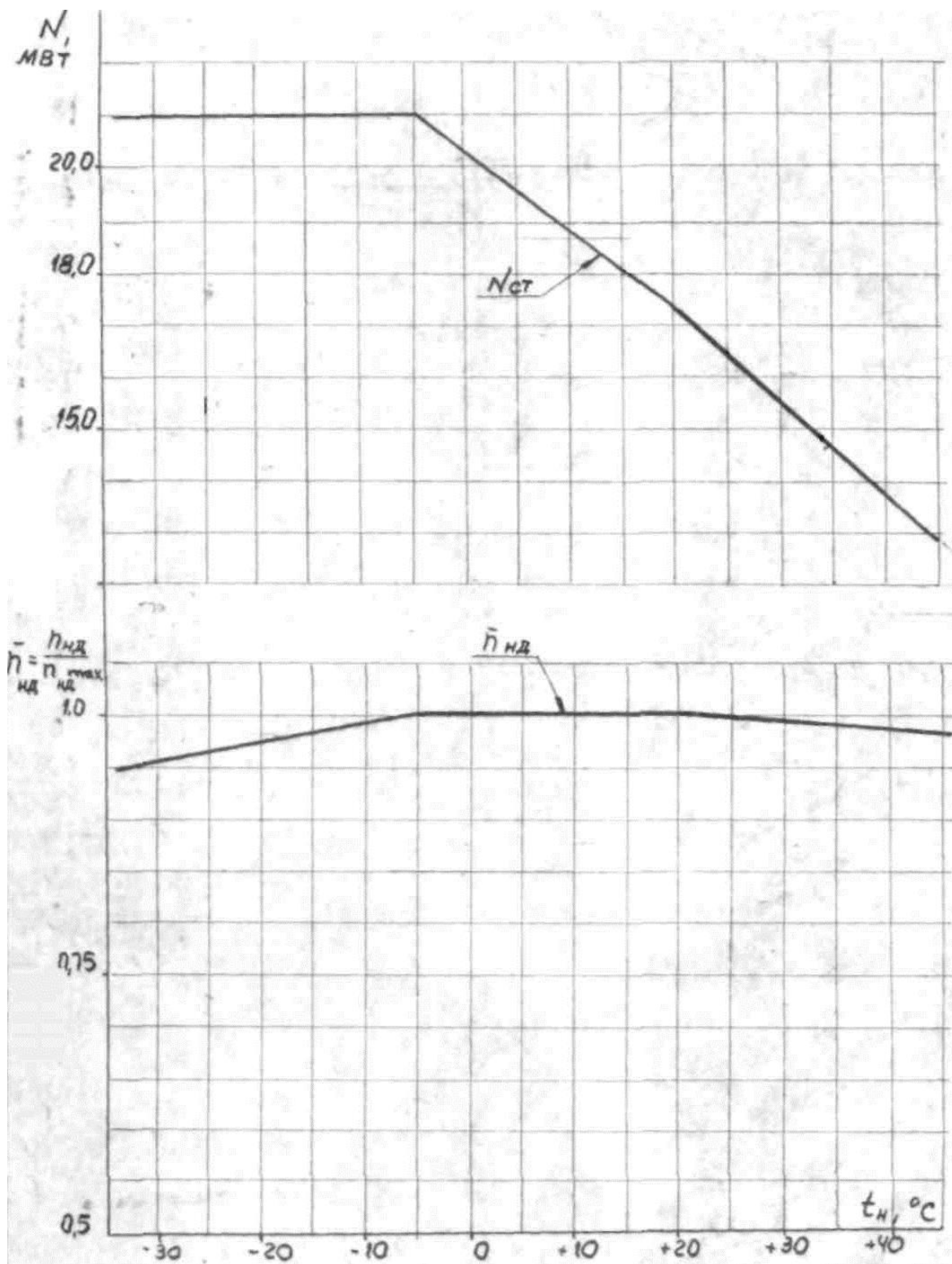


Рис.2.3. Изменение мощности на валу СТ и относительной частоты вращения ротора авиадвигателя низкого давления в зависимости от температуры воздуха на входе

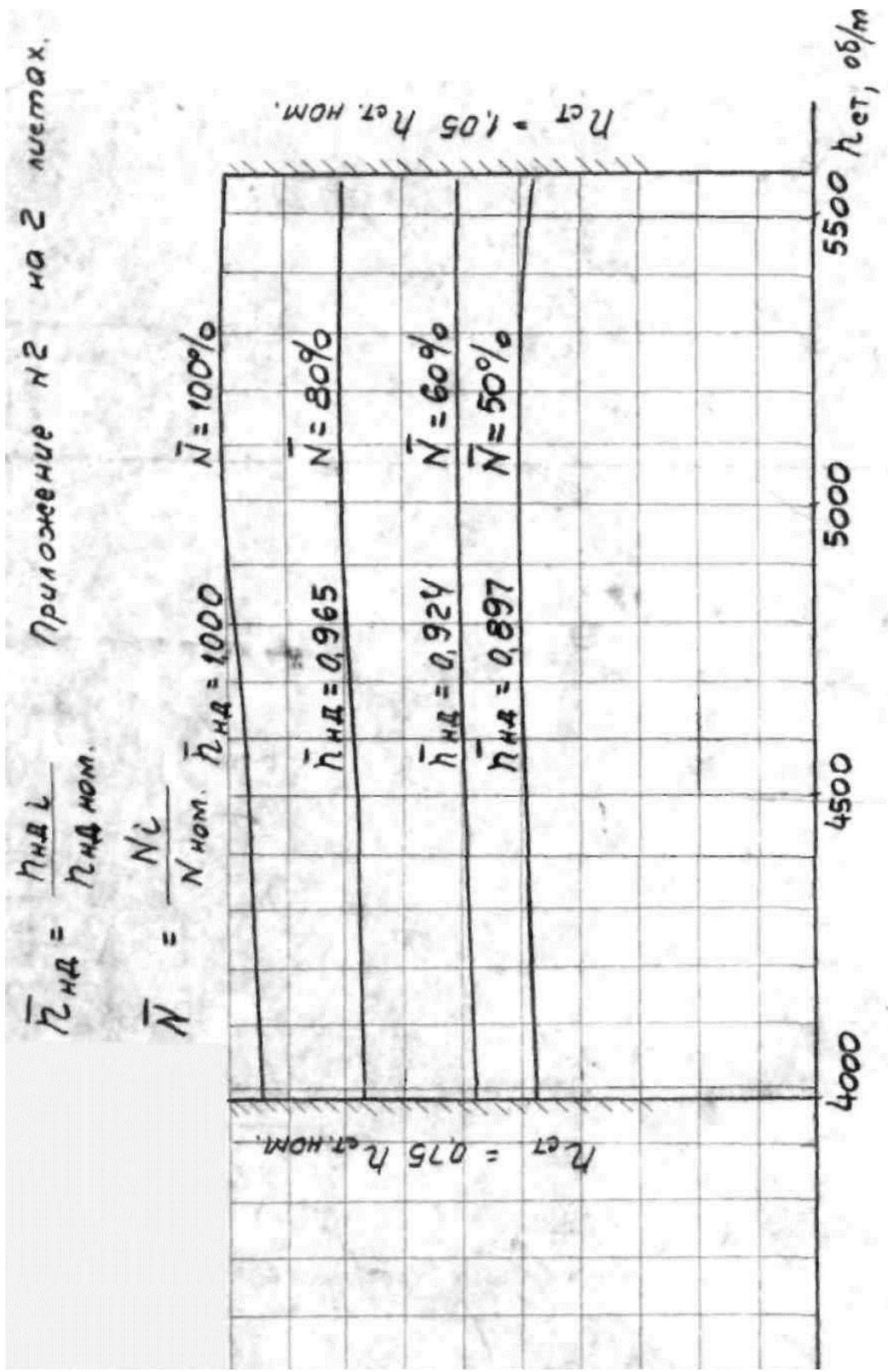


Рис.2.4. Изменение мощности на валу СТ от частоты вращения ротора

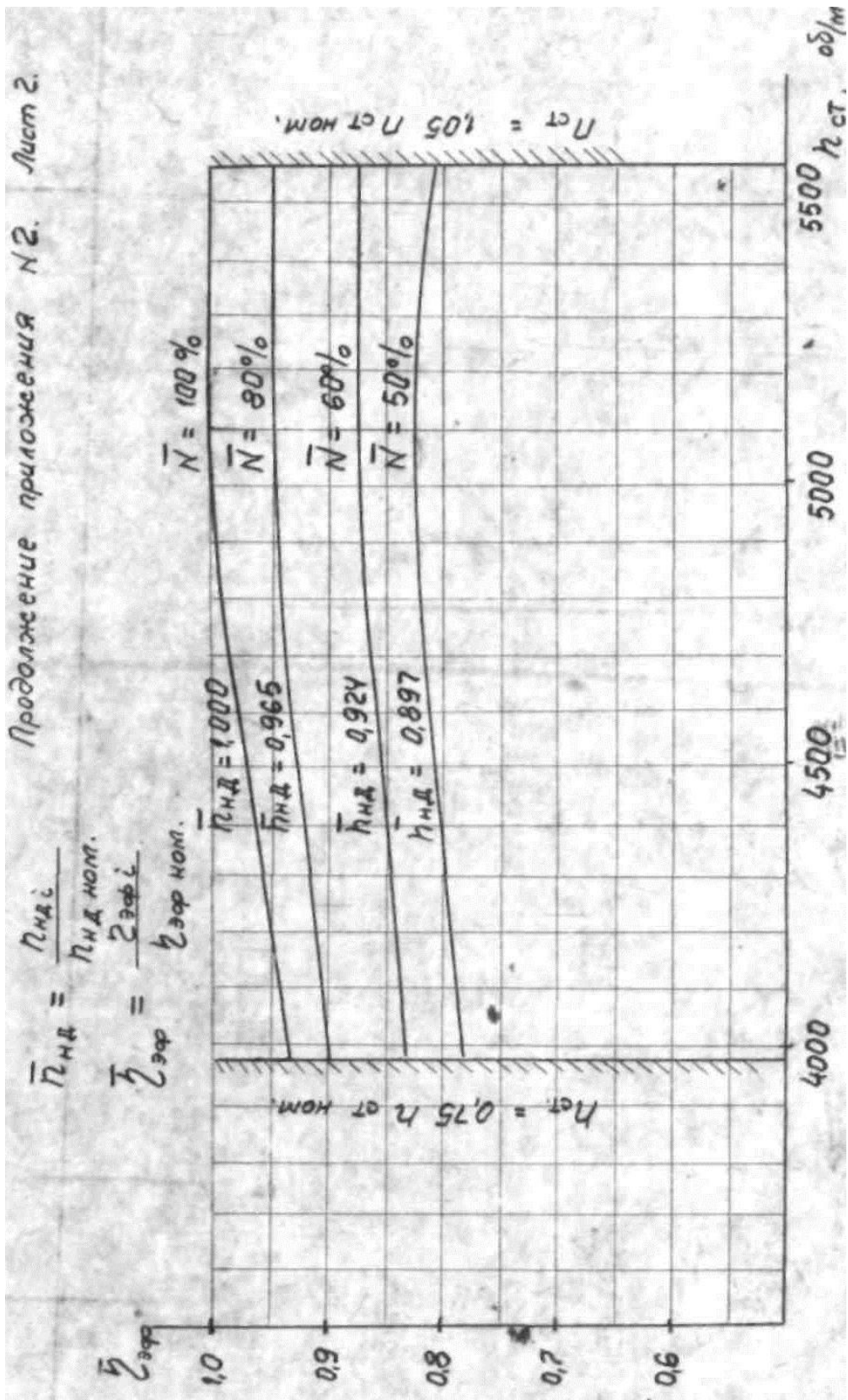


Рис. 2.5. Изменение мощности на валу СТ и эффективного КПД газотурбинной установки от потерь полного давления в разных участках при $t_{вх} = 15^\circ\text{C}$

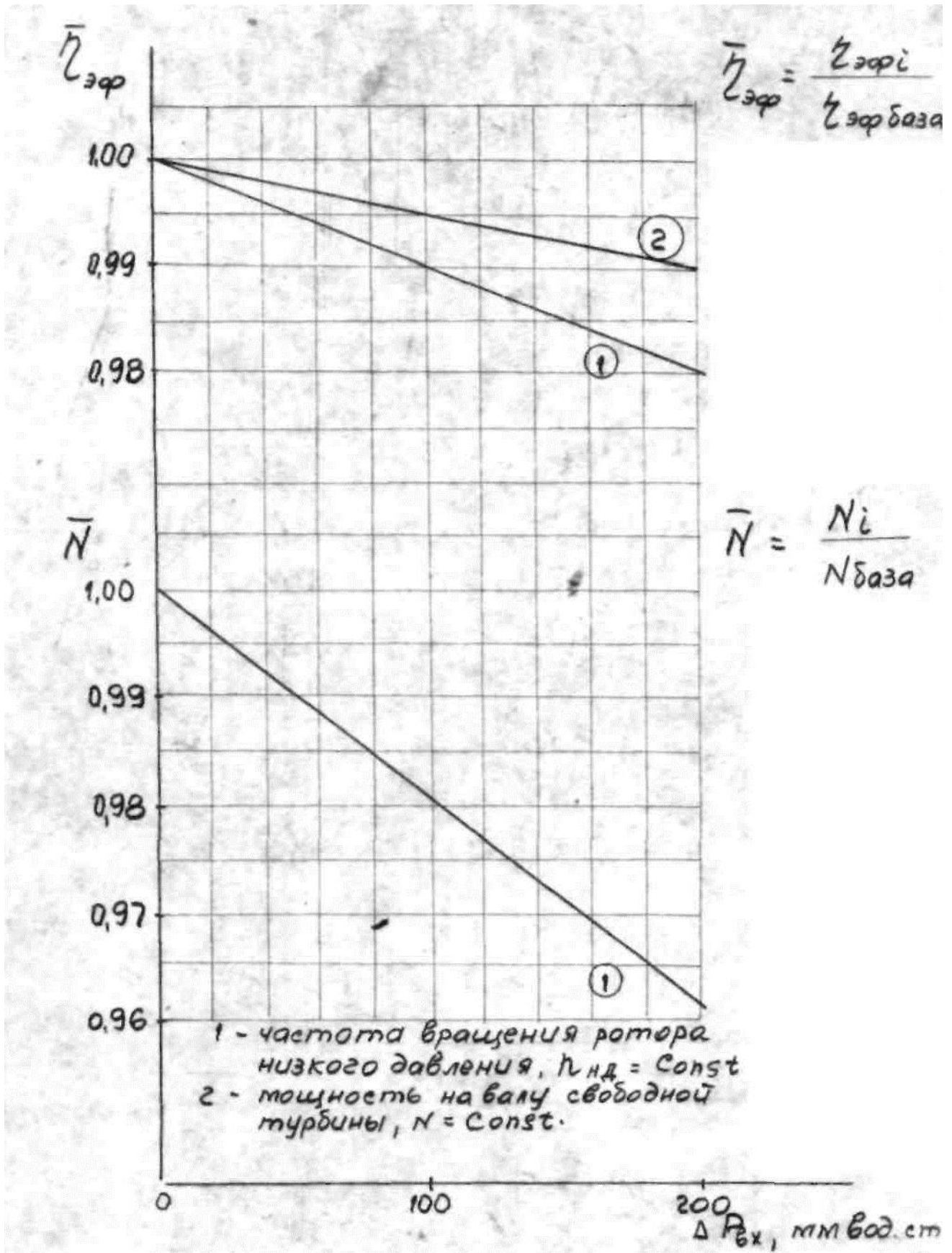


Рис. 2.6. Изменение мощности на валу СТ и эффективного КПД газотурбинной установки от потерь полного давления на входе в компрессор при $t_{вх}=15^{\circ}\text{C}$

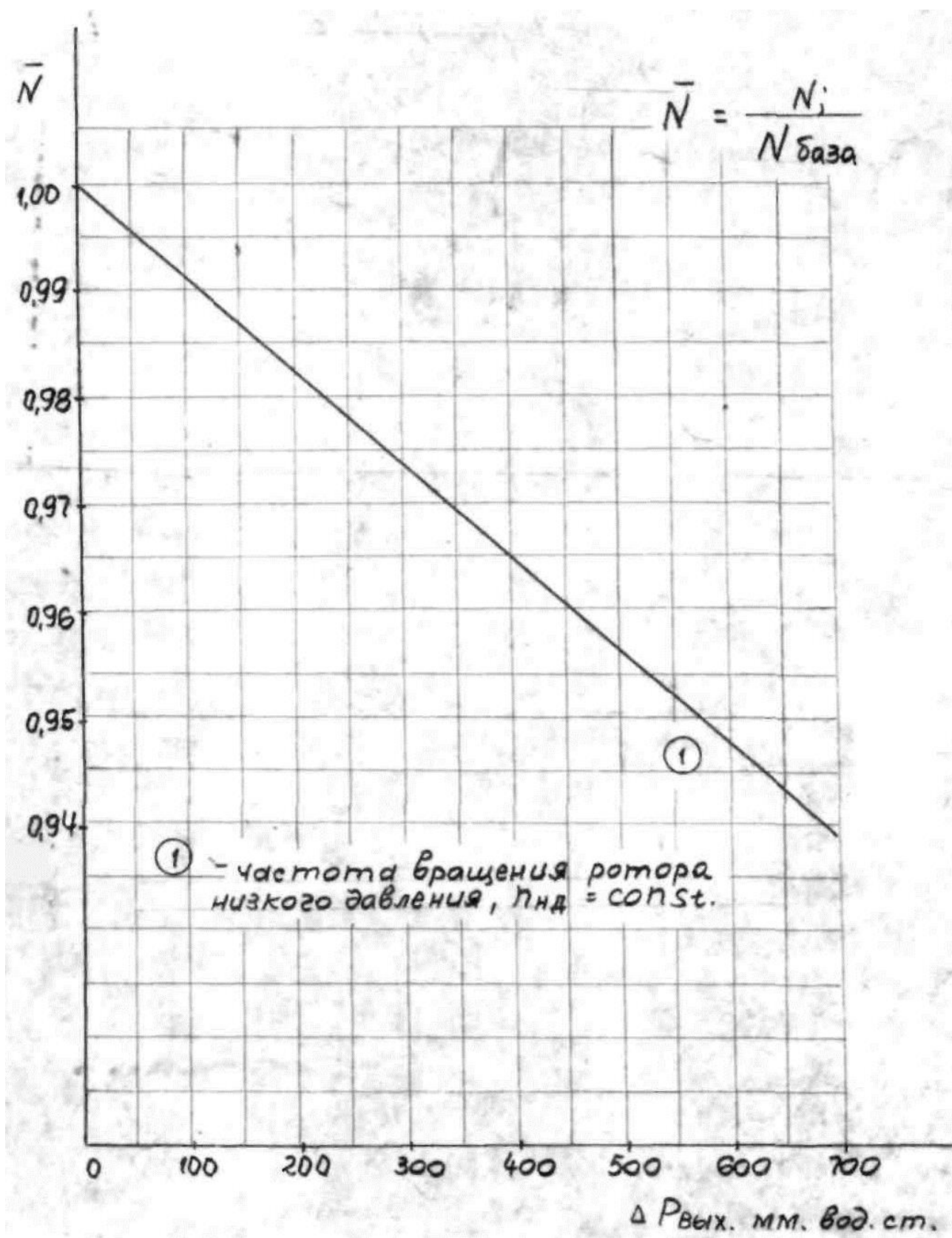


Рис. 2.7. Изменение мощности на валу СТ и эффективного КПД газотурбинной установки от потерь полного давления в выхлопном устройстве при $t_{\text{вх}}=15^{\circ}\text{C}$

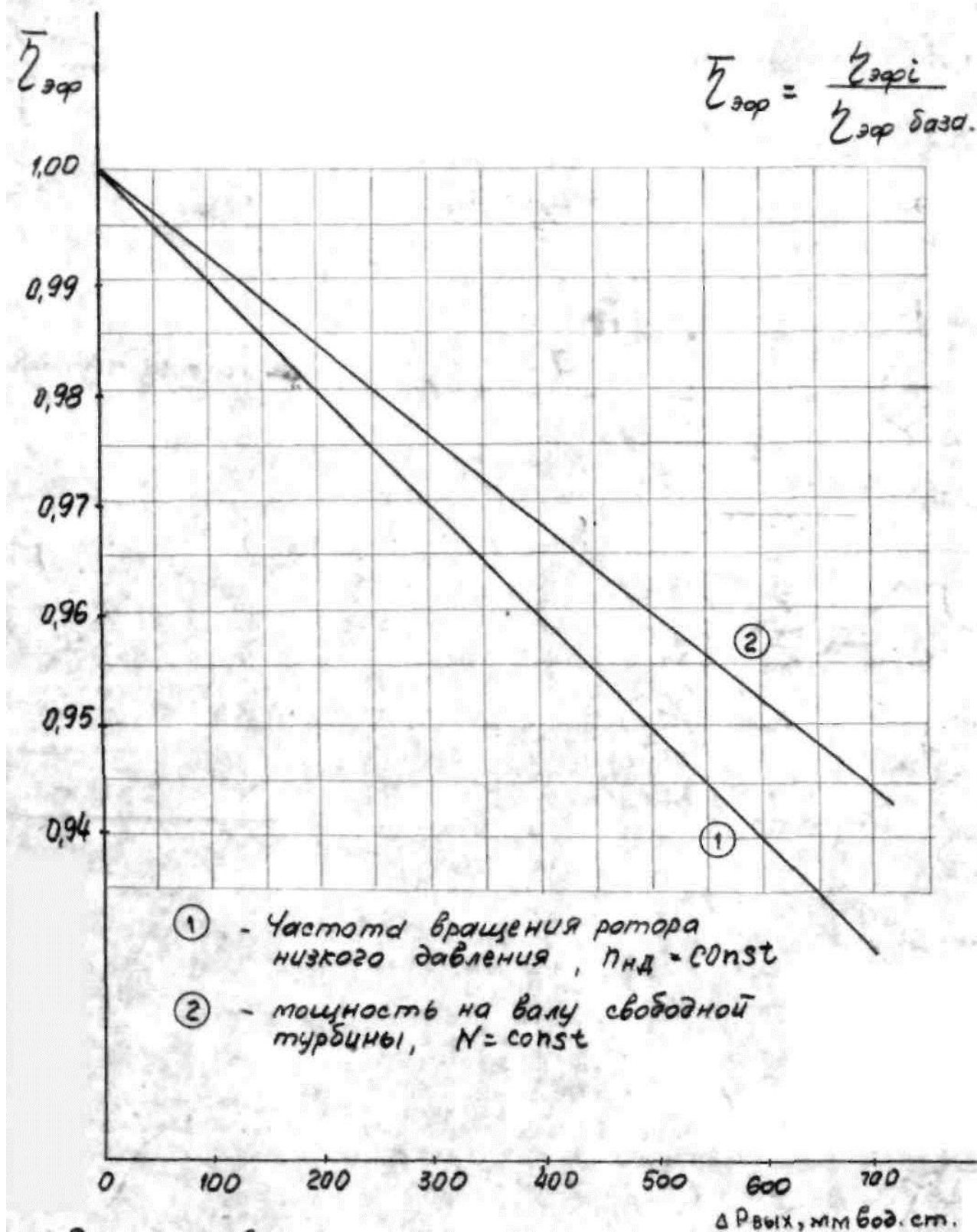


Рис.2.8. Изменение мощности на валу СТ и эффективного КПД газотурбинной установки от потерь полного давления в выхлопном устройстве при $t_{\text{вх}}=15^\circ\text{C}$

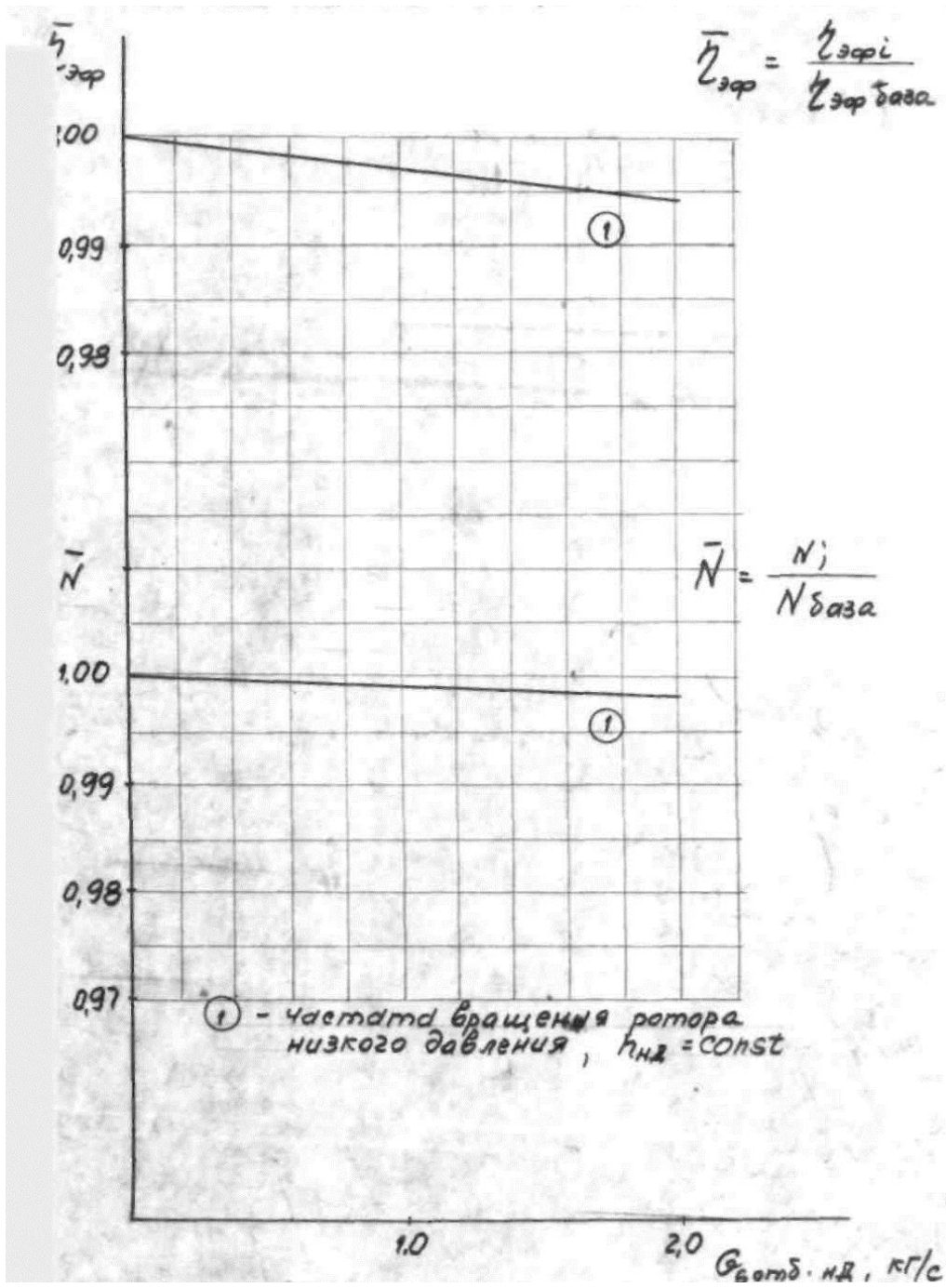


Рис. 2.9. Влияние отбора воздуха от КНД на мощность на валу свободной турбины и на КПД ГТУ при $t_{\text{вх}}=15^{\circ}\text{C}$

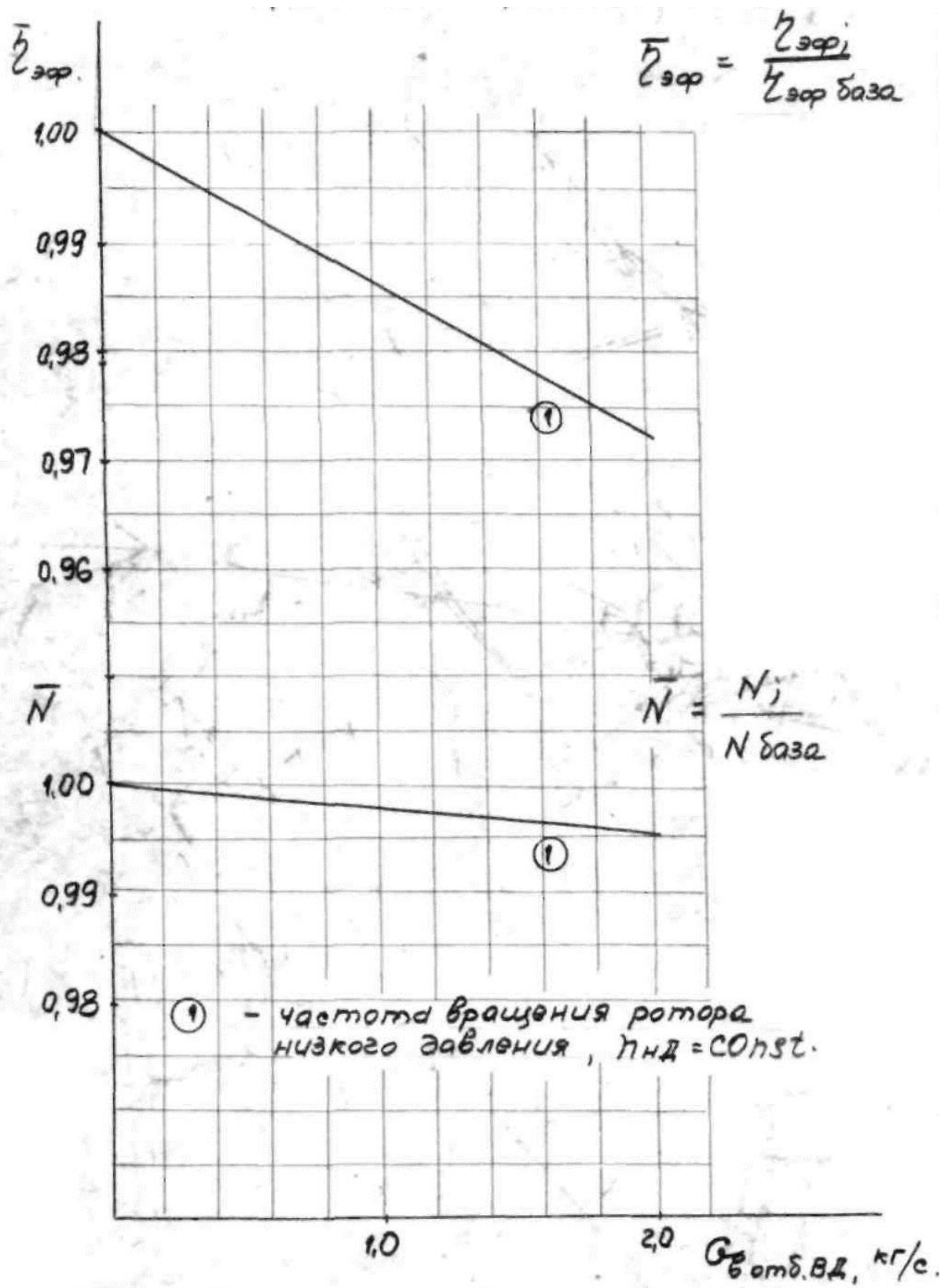


Рис. 2.10. Влияние отбора воздуха от КВД на мощность на валу свободной турбины и на КПД ГТУ при $t_{вх}=15^{\circ}C$

Глава 3.

Устройства и принцип действия газоперекачивающего агрегата

§3.1. Турбокомпрессорный агрегат

3.1.1. Основные технические характеристики турбокомпрессорного агрегата

ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1

Основные технические характеристики турбокомпрессорного агрегата приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Параметр	Числовое значение
Производительность, приведенная к температуре 293 К (20°C) и давлению 0,101 МПа (1,033 кг/см ²), млн.ст. м ³ /сутки,	3,48
Давление всасывания, МПа	2,35
Давление нагнетания, МПа	10,1
Отношение давлений	4,3
Номинальная мощность двигателя в стационарных условиях, МВт	18
Номинальная частота вращения ротора силовой турбины, об/мин	5300±100
Номинальная (расчетная) мощность, потребляемая компрессором, МВт	10,4...15,7
Частота вращения ротора компрессора, об/мин	9130...11100
Температура газа на входе в компрессор, расчетная, °С	40

3.1.2. Устройство и принцип работы агрегата ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1

Агрегат ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1 (рис.3.1) представляет собой установку, состоящую из стыкуемых между собой на месте эксплуатации отдельных блоков.

Монтаж агрегата на компрессорной станции осуществляется на специальном фундаменте, разработанном в соответствии с заданием на фундамент.

Контейнеры блоков представляют собой каркасы из металлопроката, проемы которых закрыты теплозвукоизолирующими щитами. Щиты состоят из матов из базальтового волокна, закрытых облицовками из стального листа.

Базовой сборочной единицей агрегата является турбоблок 1 в контейнере которого размещен газотурбинный двигатель НК-16-18СТ авиационного типа, мультипликатор, компрессор.

В турбоблоке также установлены отдельные узлы систем обеспечения, в том числе маслбак компрессора.

С целью удобства обслуживания агрегата и выполнения требований безопасности, вспомогательное оборудование размещено в отдельных блоках (маслоагрегаты в блоке систем обеспечения – 9, автоматическая установка газового пожаротушения в блоке пожаротушения – 7, щиты системы автоматического управления и регулирования в блоке автоматики – 8).

Турбоблок стыкуется с БСО через переходник, позволяющий компенсировать неточности установки при монтаже.

Всасывающий тракт, предназначенный для очистки атмосферного воздуха и подачи его в двигатель, состоит из воздухоочистительного устройства (ВОУ) 2, конфузора 3, шумоглушителя всаса 4, камеры всасывания 5.

Выхлопной тракт, установленный на опоре выхлопной шахты 12, предназначен для отвода и рассеивания выхлопных газов двигателя и глушения шума выхлопа, состоит из переходника 12, диффузора 13, шумоглушителя выхлопа 14, переходника 19, трубы 17 и зонта 18.

Для вентиляции и охлаждения внутреннего пространства отсека двигателя и непосредственно ГТД, предназначен блок вентиляции 6, нагнетающий воздуховод

которого соединяется с воздухопроводом подачи воздуха для охлаждения двигателя и создания избыточного давления под кожухом двигателя.

Избыток воздуха сбрасывается из кожуха двигателя через шумоглушители и заслонки воздушные с электроприводом. Заслонки воздушные позволяют регулировать количество воздуха подаваемого в подкожушное пространство.

На блоке вентиляции монтируется устройство грузоподъемное для демонтажа вентиляторов блока вентиляции.

Масло, используемое в системе маслоснабжения ГТД и блока компрессоров, охлаждается в теплообменниках блока маслоохладителей 10.

Для обеспечения смазкой подшипников оборудования блока компрессоров до полного выбега при отсутствии электроэнергии, предназначена установка баков напорных, которая расположена в блоке маслонапорных баков 16 на опоре выхлопной шахты 12, и через проставку 15 сообщается с блоком компрессоров.

Для очистки и подачи пускового газа при запуске ГТД в работу и обеспечения топливным газом ГТД, а также для учета расходуемого газа предназначена система топливного и пускового газа, расположенная вблизи агрегата.

Агрегат оборудован системой вентиляции, предусматривающей естественную и принудительную вентиляцию блоков.

В блоке компрессоров и блоке маслонапорных баков установлены вытяжные вентиляторы, которые автоматически включаются по сигналу датчиков температуры воздуха.

Естественная вентиляция блока компрессоров обеспечивается дефлекторами, установленными на крыше блока.

В блоке пожаротушения и отсеке маслоагрегатов БСО предусмотрены штуцеры для подключения воздухопроводов стационарной системы приточной вентиляции, которая обеспечивает избыточное давление воздуха в отсеках с электрооборудованием не взрывозащищенного исполнения.

Система обогрева ТКА обеспечивает температуру в отсеках и блоках не ниже плюс 5 °С при работе ТКА и во время запуска.

Необходимый для запуска двигателя подогрев воздуха под кожухом двигателя до температуры не ниже плюс 5 °С, осуществляется при помощи электроподогревателя.

В качестве теплоносителя в системе обогрева агрегата используется горячая вода, циркулирующая в конвекторах.

В стенках блока силового, блока компрессоров и маслоагрегатов, имеются люки для подачи нагретого воздуха от моторных подогревателей.

Горячий воздух, подаваемый по системе подогрева циклового воздуха 5, защищает ВОУ от обледенения.

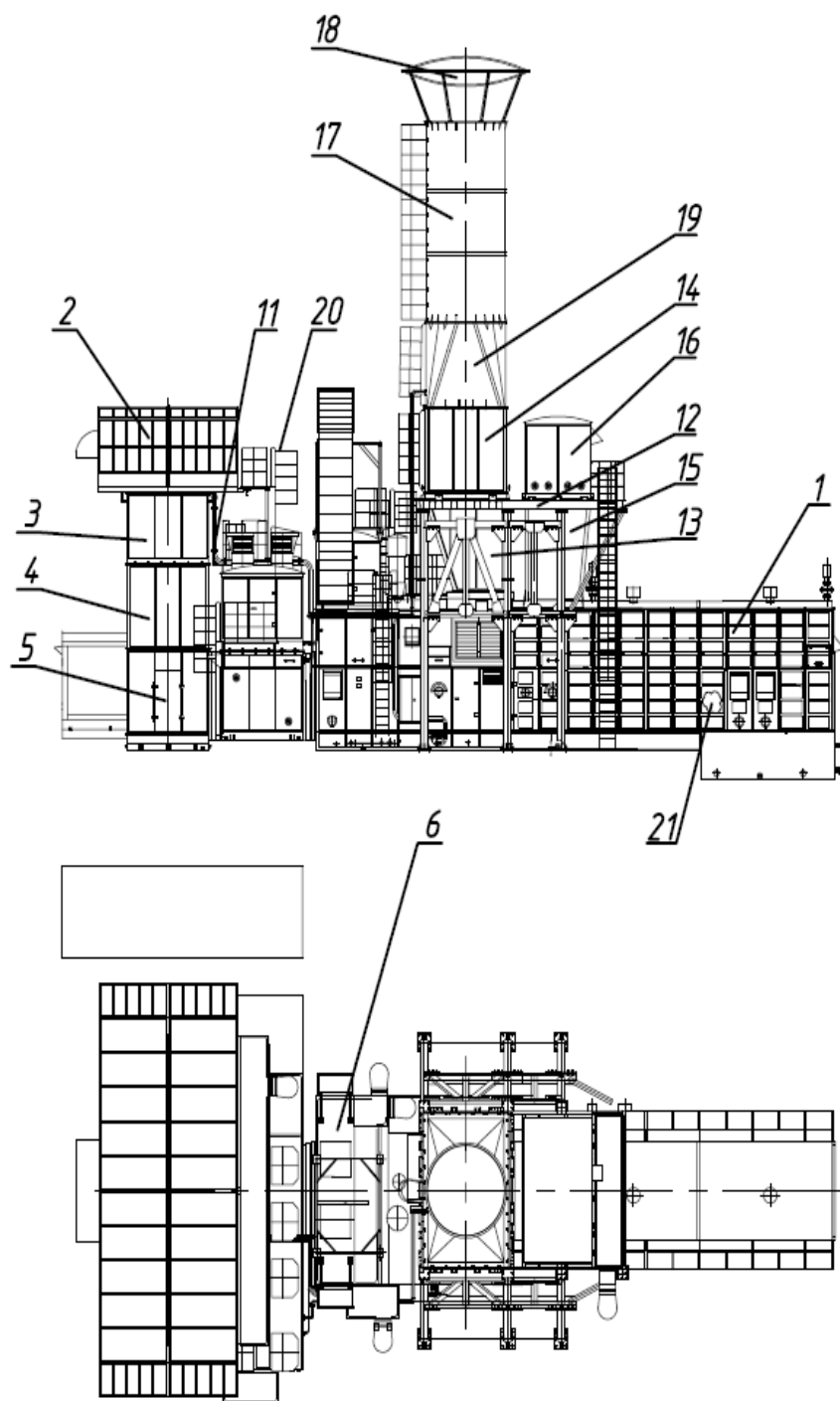
Автоматическая установка газового пожаротушения агрегата предназначена для автоматической подачи, в случае пожара, огнетушащего вещества (жидкой двуокиси углерода) под кожух двигателя, в отсеки двигателя, компрессоров, а также маслоагрегатов БСО.

Оборудование автоматической установки газового пожаротушения размещается в блоке пожаротушения 7, установленном на отдельном от агрегата фундаменте.

Система автоматического управления и регулирования (САУ и Р) агрегата является составной частью САУ и Р КС и обеспечивает работу агрегата на всех режимах без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Часть контрольной и датчиковой аппаратуры САУ, а также электросиловое оборудование агрегата и местная панель управления электромеханизмами ТКА расположены в блоке автоматики 8. Остальные датчики САУ и Р размещаются в блоках на оборудовании ТКА.

Агрегат укомплектован площадками обслуживания 20, которые обеспечивают безопасный доступ к оборудованию.



1-турбоблок; 2-устройство воздухоочистительное (ВОУ); 3-конфузор; 4-шумоглушитель всаса; 5-камера всасывания; 6-блок вентиляции; 7-блок пожаротушения; 8-блок автоматики с САУ и Р; 9-блок систем обеспечения (БСО); 10-блок маслоохладителей; 11-система подогрева циклового воздуха; 12-опора выхлопной шахты; 13-диффузор; 14-шумоглушитель выхлопа; 15-прокладка; 16-блок маслонепорных баков; 17-труба; 18-зонт; 19-переходник; 20-сборочные единицы и детали общей сборки; 21- комплектующие узлы и детали одиночные.

Рис.3.1. Агрегат турбокомпрессорный ТКА-Ц-16/2,35-10,1М1



Рис.3.2. Агрегат газоперекачивающий ГПА-Ц-16/2,35-10,1М1 (общий вид)

Работа агрегата заключается в повышении давления природного газа, поступающего во всасывающий патрубок компрессора и дальнейшей подачи газа в технологические магистрали КС. Этот процесс осуществляется центробежным компрессором с приводом от газотурбинного двигателя.

Ротор центробежного компрессора приводится во вращение силовой турбиной газотурбинного двигателя через муфту двигателя мультипликатор и муфту компрессора.

В газотурбинный двигатель обеспечивается подача воздуха через всасывающий тракт, где осуществляется очистка воздуха в воздухоочистительном устройстве (ВОУ), шумоглушение и поворот потока для входа в двигатель.

Отработанные газы привода через улитку плавно поворачиваются на 90° и через выхлопной тракт с шумоглушителем выбрасываются в атмосферу.

Работу двигателя и компрессора обеспечивают соответствующие системы, описание которых приводится далее.

Регулирование процесса, контроль параметров, управление всеми системами осуществляет автоматическая система управления и регулирования (САУиР) агрегата.

3.1.3. Турбоблок

Турбоблок (рис.3.3) состоит из контейнера 1, расположенного на раме 2. В контейнере турбоблока размещены следующие основные сборочные единицы:

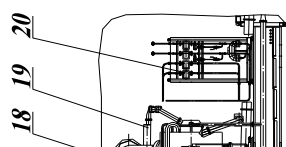
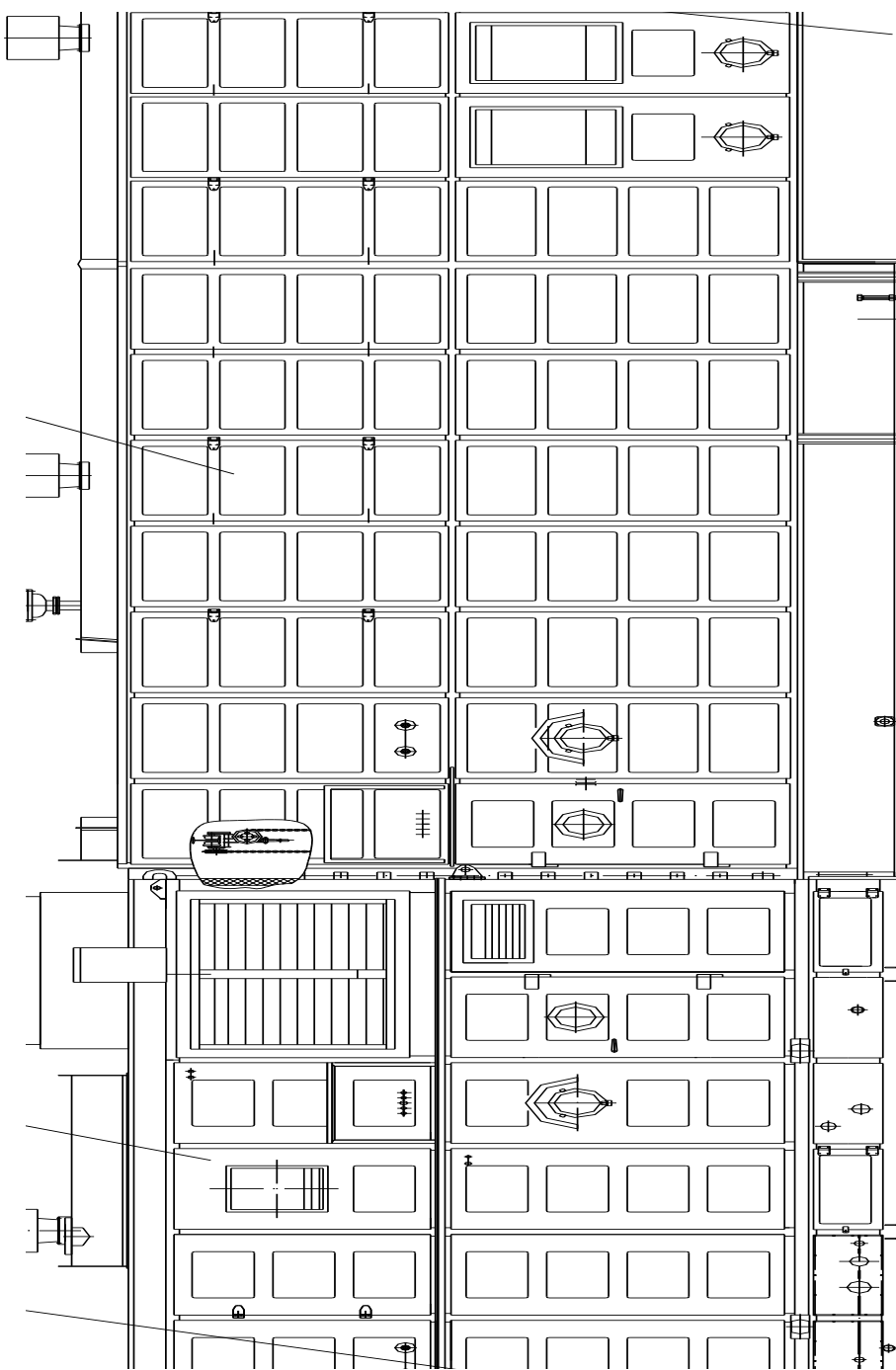
- приводной двигатель 9,
- улитка 13,
- переходник 12,
- муфта двигателя с кожухом 15,
- муфта мультипликатора 17,

- мультипликатор 16,
- компрессор высокого давления (КВД) 18,
- газопровод 6,
- маслобак 13.

В турбоблоке также размещены отдельные сборочные единицы: системы смазки и газовых уплотнений компрессора (20), системы обогрева (7), автоматической установки газового пожаротушения (11), системы подогрева циклового воздуха, системы суфлирования (19), трубопроводы слива конденсата, автоматизированной системы управления агрегата.

Рис.3.3. Турбоблок

- 1 - контейнер; 2 - отсек двигателя; 3 - отсек компрессора; 4 - отсек маслобака; 5 - система вентиляции контейнера; 6 - газопровод двигателя; 7- система водяного обогрева отсека двигателя; 8- кожух двигателя; 9 - двигатель; 10 - трубопровод сброса воздуха от КПВ; 11 - система пожаротушения турбоблока; 12 - переходник; 13 - улитка; 14 - люк; 15 - муфта двигателя с кожухом; 16 - мультипликатор; 17 - муфта с кожухом; 18 - компрессор ВД; 19 - система суфлирования ТКА; 20 - система смазки и газовых уплотнений компрессора; 21 - рама компрессора ВД; 22 - рама мультипликатора; 23 - рама турбоблока; 24 - система масляная двигателя.



Контейнер турбоблока (рисунок) является помещением для размещения основных сборочных единиц и систем агрегата, обеспечивает определенный микроклимат для их эксплуатации и необходимые условия труда для обслуживающего персонала в период проведения ремонтно-регламентных работ.

Кроме того, контейнер обеспечивает снижение уровня шума на прилегающей к агрегату территории КС, излучаемого корпусом приводного двигателя и компрессора, до пределов, соответствующих требованиям санитарных норм.

Основу силовой конструкции контейнера составляет сварной каркас, который устанавливается на фундаментную раму и крепится к ней с помощью сварки.

К основному каркасу контейнера, разделенного гермостенкой, крепятся съемные отсеки двигателя 2, 19 и компрессора 7, 23.

Отсеки представляют собой сварные каркасы из профильного проката, с закрепленными на них приварными 13, 14, 17, 18 и легкобрасываемыми (отрывными) щитами 3, 9, 10, торцевыми стенками 20, 21 и крышами 4, 8, 12.

Самоприкрывающиеся двери 15, 16 отсеков оборудованы смотровыми окнами для осмотра помещения контейнера при работе агрегата.

В отсеках предусмотрены люки, проемы которых используются для ввода в контейнер рукавов моторных подогревателей.

Вентиляция отсека двигателя осуществляется притоком воздуха из блока вентиляции, установленного на крыше 3 отсека двигателя. Охлаждение отсека компрессора происходит за счет естественной вентиляции воздуха через дефлекторы 11, представляющими собой обечайку с устройством для отвода воздуха и защитным козырьком от осадков, установленные на крыше отсека компрессора 8.

Для обеспечения притока воздуха внутрь отсеков компрессора предусмотрена заслонка 5 с шумоглушителем.

На входе в воздуховод обдува статора силовой турбины установлен шумоглушитель, который предназначен для снижения шума охлаждающего воздуха.

Крыша контейнера турбоблока составная. Она состоит из крыши отсека двигателя 4, крыши отсека компрессора 8 и крыши отсека маслобака 12.

К фермам крыши крепятся светильники и трубопроводы системы пожаротушения. Неточность установки блока систем обеспечения относительно турбоблока при монтаже на КС компенсирует переходник 1.

Двери кожуха двигателя используются во время ремонтных и регламентных работ. Двери оборудованы замками и блокировочными устройствами для исключения доступа в блок силовой при работе двигателя и оборудованы смотровыми окнами для осмотра работающего двигателя.

Со стороны всаса двигателя к контейнеру через переходник 12 пристыковывается блок систем обеспечения, в котором размещается уравнильный патрубок с лемнискатой.

Лемниската, уравнильный патрубок, проставка служат для формирования и выравнивания скорости воздушного потока циклового воздуха при подаче во входной аппарат приводного двигателя.

Отсек двигателя и отсек блока систем обеспечения, в котором проходит уравнильный патрубок образуют так называемый блок силовой.

К блоку систем обеспечения пристыковывается вертикальный участок всасывающего тракта.

Уплотнение стыков соединения блока силового с элементами всасывающего тракта, отделяющими внутренний объем кожуха двигателя от отсека блока систем обеспечения, производится при помощи уплотнительных прокладок на промежуточной трубке, что исключает перетекание воздуха из зоны с избыточным давлением в зону с давлением разрежения (зона всасывания).

В торцевой стенке контейнера 1, возле улитки, имеется гермостенка, через люк 9 в которой проходит муфта силовой установки «двигатель-мультипликатор».

Кожух двигателя совместно с гермостенкой образует герметичную полость.

Сверху на привалочную поверхность контейнера турбоблока устанавливается блок вентиляции, нагнетающий воздуховод которого соединяется с воздуховодом 2.

Воздуховод 2 служит для подачи воздуха для охлаждения двигателя и создания избыточного давления под кожухом двигателя. Избыток воздуха сбрасывается из кожуха двигателя через шумоглушители 14 и заслонки воздушные 15.

Заслонки воздушные 15 позволяют регулировать количество воздуха подаваемого в подкожухное пространство.

В проеме контейнера, образованном промежуточной стенкой и торцевой стенкой контейнера, установлена улитка 7 и переходник 6 для отвода выхлопных газов двигателя.

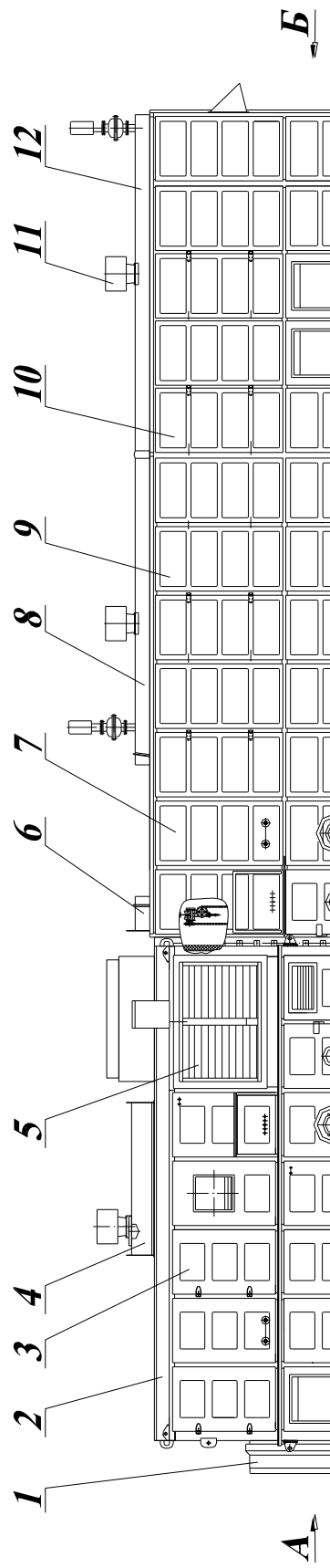


Рис.3.5. Контейнер

- 1 - переходник; 2,19 - отсек двигателя; 3,9,10 - легко сбрасываемые панели; 4 - крыша отсека двигателя; 5 - заслонка воздушная с электроприводом; 6 - проставка; 7,23 - отсек компрессора; 8 - крыша отсека компрессора; 11 - дефлектор; 12 - крыша отсека маслобака; 13,14,17,18 - щит; 15,16,22 - дверь; 20,21 - стенка;

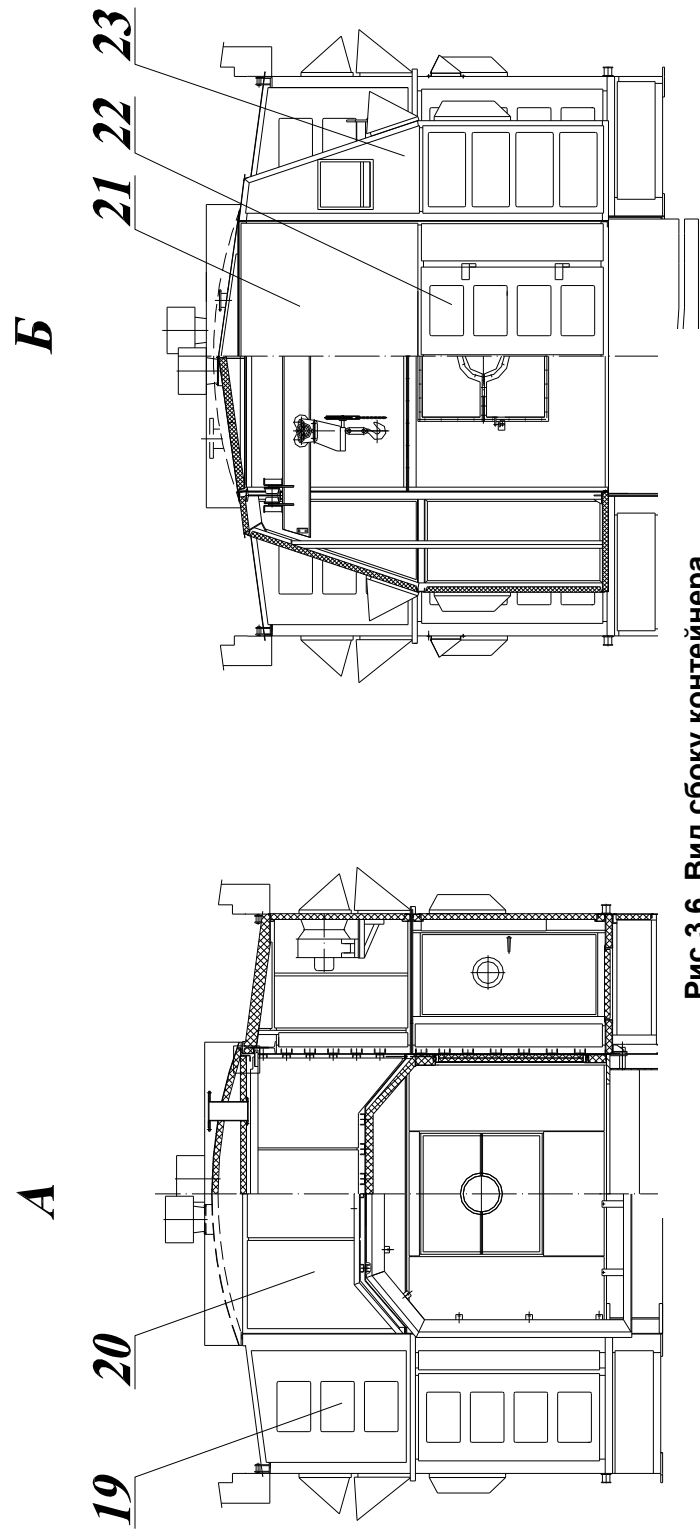


Рис.3.6. Вид сбоку контейнера.

§3.2. Двигатель газотурбинный НК-16-18СТ

Двигатели НК-16СТ и НК-16-18СТ широко применяются в газоперекачивающих агрегатах ГПА-Ц-16 на компрессорных станциях стран СНГ (более 720 шт), суммарная наработка которых составила около 40 млн. часов, из них около 2 млн. часов наработки имеют двигатели НК-16-18СТ.

Двигатель НК-16-18СТ (рисунок) является модификацией двигателя НК-16СТ и полностью взаимозаменяем с ним.

Серийное изготовление и поставка двигателя на магистральные газопроводы производятся с 1995 года. За счет улучшения характеристик компрессора, подвески двигателя, изменения конструкции камеры сгорания и топливно-регулирующей аппаратуры обеспечена мощность на валу свободной турбины 18 МВт. Двигатели НК-16-18СТ имеют ресурс свыше 80000 часов, по показателям надежности и стоимости жизненного цикла они на 20% превосходят самые современные установки подобного класса.

В эксплуатации находятся 269 двигателей. Суммарная наработка парка двигателей составляет более 6 миллионов часов.

Сравнительная таблица технических характеристик газотурбинных двигателей КМПО

Характеристики	Двигатель НК-16СТ	Двигатель НК-16-18СТ
Мощность, не менее:	16 МВт	18 МВт
Эффективный КПД, не менее:	29%	31%
Диапазон изменения частоты вращения приводного вала свободной турбины:	3975-5350 об./мин.	3975-5565 об./мин.
Содержание в выхлопных газах:		
— окислов азота:	150 мг/нм ³	140 мг/нм ³
— окиси углерода:	300 мг/нм ³	100 мг/нм ³

Максимальный уровень звукового давления:	135 дБ	135 дБ
Масса двигателя с рамой:	7800 кг	7800 кг
Расход топливного газа:	6200 нм3/ч	6500 нм3/ч
Запуск двигателя:	автоматический	автоматический
Температура газа на выходе из свободной турбины:	412 °С	420 °С
Гарантийный ресурс:	8000 часов	8000 часов
Межремонтный ресурс:	25 000 часов	25 000 часов
Назначенный ресурс:	100 000 часов	100 000 часов
Применяемое масло:	ТП-22С	ТП-22С

Повышение мощности до 18,0МВт и КПД до 31% на двигателе НК-16-18СТ достигнуто за счет улучшения характеристик компрессора, увеличения степени повышения давления компрессора и температуры газов перед турбиной. За счет изменения конструкции камеры сгорания и топливо-регулирующей аппаратуры улучшены экологические характеристики. На двигателе НК-16-18СТ внедрена качественно новая подвеска, обеспечивающая центровку газогенератора и свободной турбины, что позволило повысить надежность двигателя и увеличить его ресурс.

Двигателя изготавливается и поставляется ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение», и состоит из следующих узлов:

- передней опоры с входным направляющим аппаратом;
- средней опоры;
- осевого десятиступенчатого двухкаскадного компрессора, состоящего из компрессора низкого давления (КНД) и компрессора высокого давления (КВД);
- блока камеры сгорания;

- двухступенчатой турбины газогенератора (ТВД – турбина высокого давления, приводящая КВД, и ТНД – турбина низкого давления, приводящая КНД);
- задней опоры;
- оболочек;
- силовой проставки;
- одноступенчатой свободной турбины с опорой свободной турбины;
- рамы газогенератора;
- рамы свободной турбины.

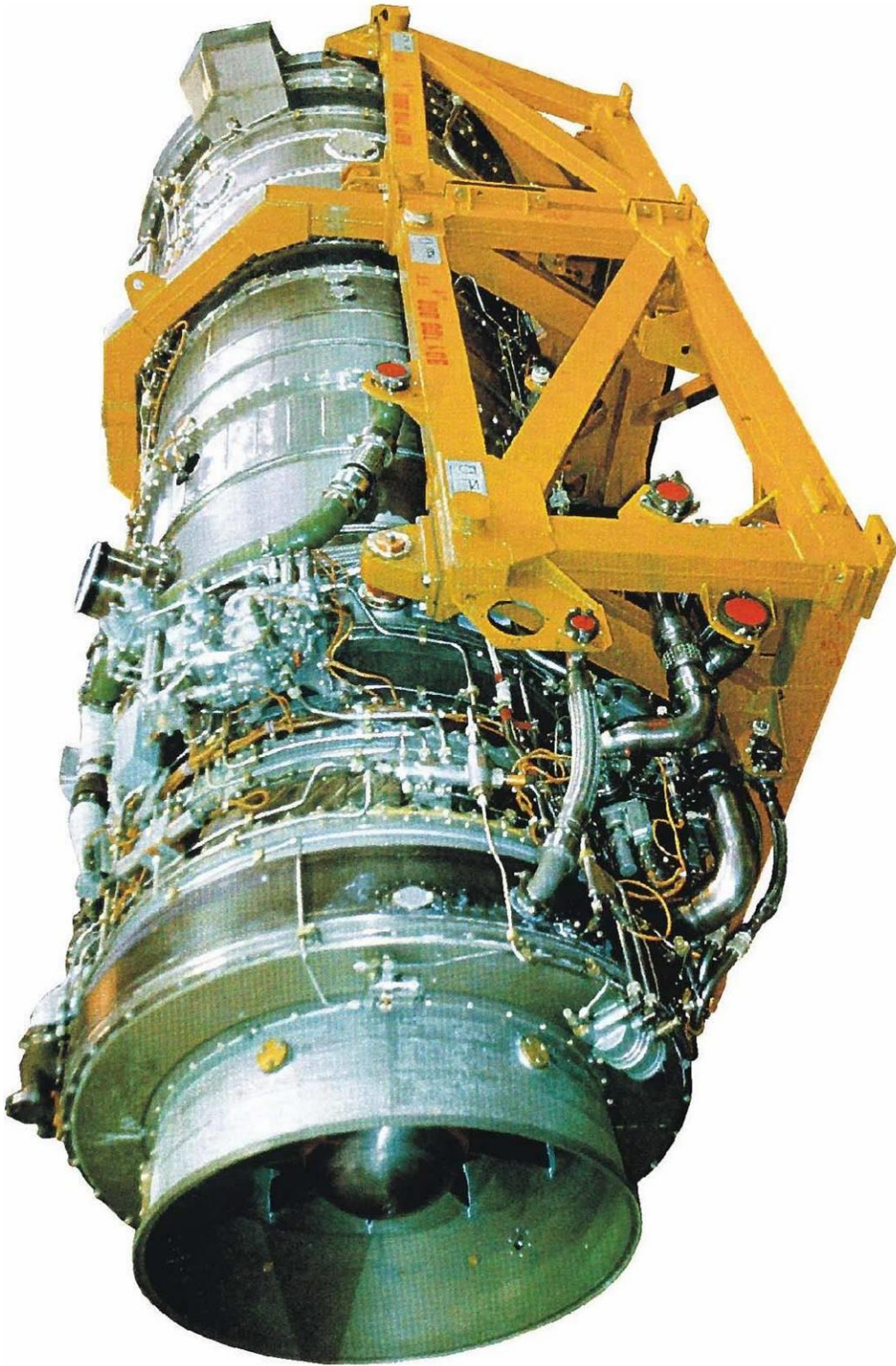


Рис.3.7. Общий вид авиадвигателя НК-16-18 СТ

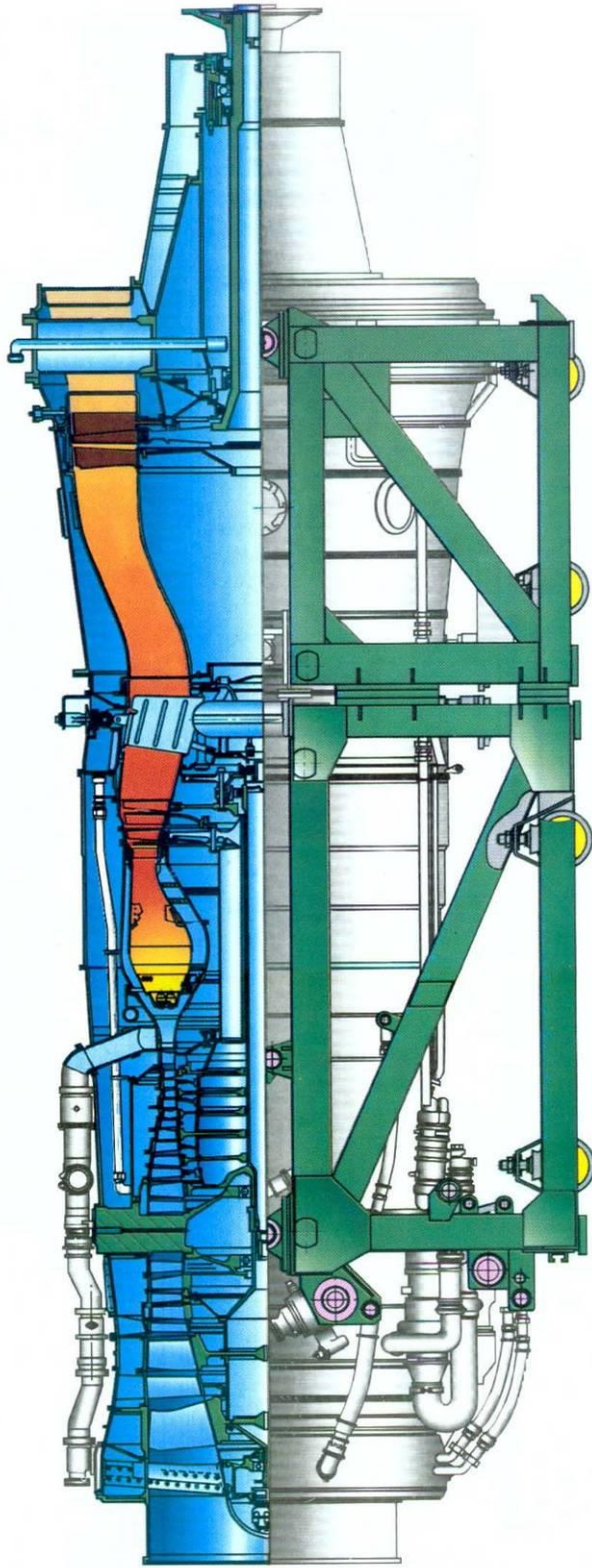


Рис.3.8. Конструктивная схема ГД НК-16-18СТ

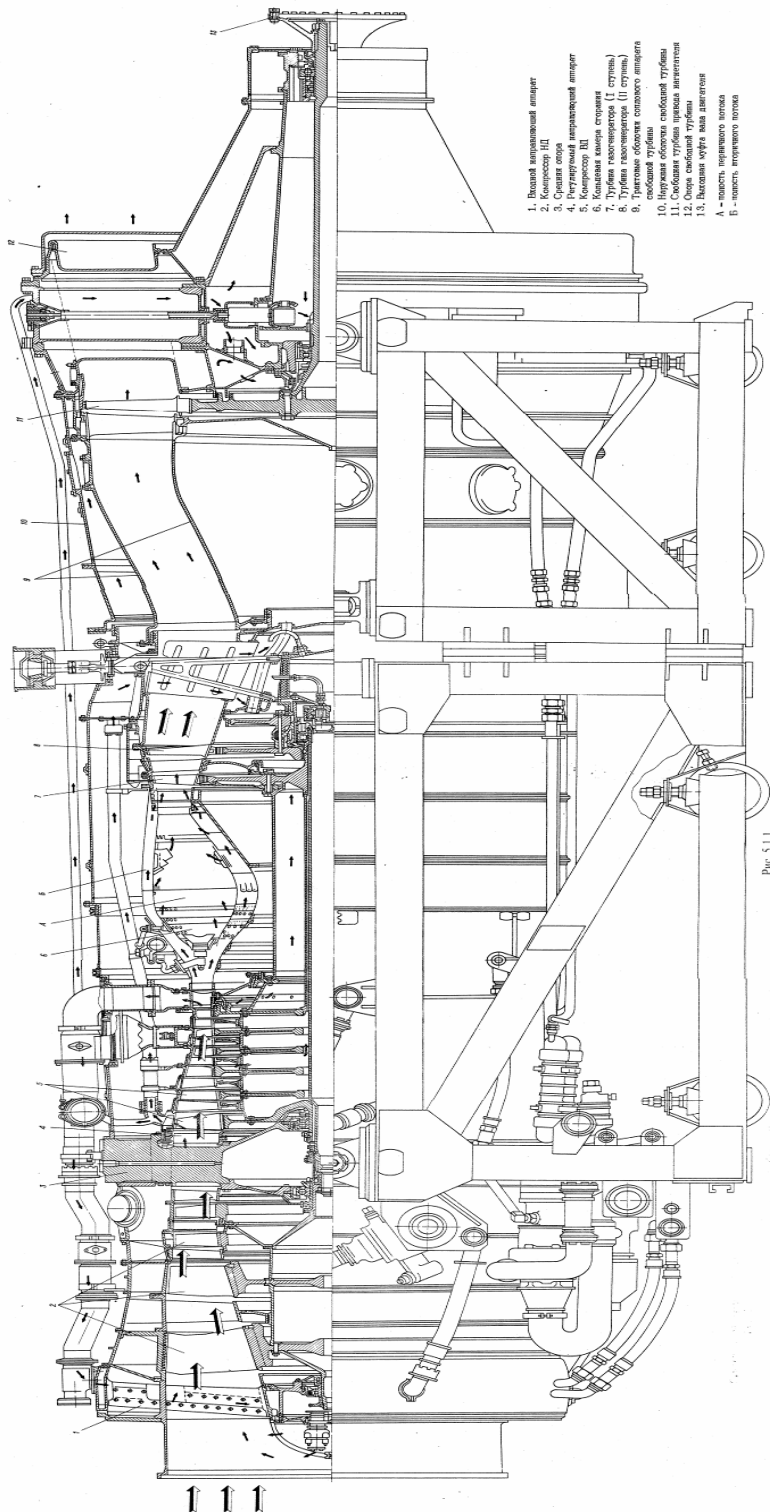
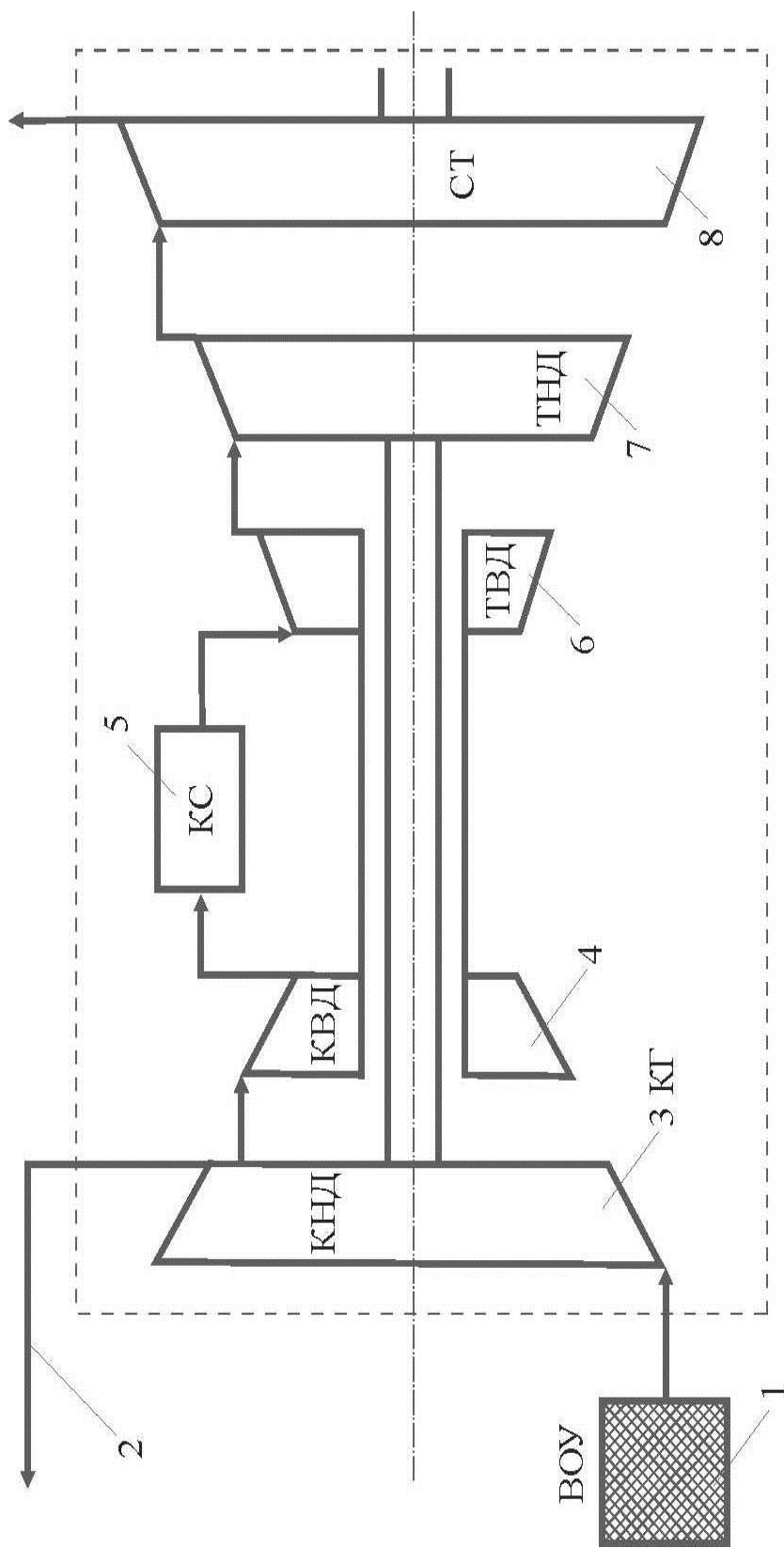


Рис. 3.9. Продольный разрез двигателя НК-16-18СТ

Газодинамическая схема работы двигателя показана на рис. 3.10

1. Передняя опора ротора КНД вмонтирована во входной направляющий аппарат.
2. Входной направляющий аппарат выполнен в виде наружного кольца со вставленными в него двенадцатью радиально расположенными лопатками, к нижним полкам которых крепится опора ротора КНД с роликовым подшипником.
3. Средняя опора располагается между КНД и КВД и включает в себя:
 - узел задней опоры ротора КНД с шариковым радиально-упорным подшипником и деталями масляного уплотнения;
 - узел собственно средней опоры с шариковым радиально-упорным подшипником, являющимся передней опорой ротора КВД;
 - узел регулируемого направляющего аппарата;
 - корпус центрального привода;
 - детали масляного уплотнения.
4. Осевой десятиступенчатый двухкаскадный компрессор включает в себя:
 - четырехступенчатый двухопорный ротор КНД;
 - статор компрессора НД, состоящий из корпуса и расположенных внутри него лопаточных направляющих аппаратов и рабочих колец;
 - шестиступенчатого двухопорного ротора КВД;
 - статора компрессора ВД, состоящего из корпуса с ресивером отбора воздуха из КВД, и расположенных внутри корпуса лопаточных направляющих аппаратов и рабочих колец.
5. Блок камеры сгорания включает в себя корпус с установленными на нем топливными форсунками и двумя воспламенителями, и внутренний корпус.

6. Компрессоры двигателя приводятся двухкаскадной двухступенчатой турбиной газогенератора. Первая ступень ТВД приводит ротор КВД, вторая ТНД – ротор КНД. В узел турбины входит узел статора, состоящий из лопаточных сопловых аппаратов и рабочих колес.
7. Задняя опора с роликовым подшипником является опорой ротора ТНД. Опорой ротора ТВД служит роликовый подшипник, расположенный между валами ТНД и ТВД. Таким образом, узел задней опоры является одновременно и опорой ТВД.



1. Воздухоочистительное устройство
2. Отбор воздуха
3. Компрессор газогенератора низкого давления
4. Компрессор газогенератора высокого давления

5. Камера сгорания
6. Турбина газогенератора высокого давления
7. Турбина газогенератора низкого давления
8. Свободная турбина

Рис.3.10. Газодинамическая схема работы двигателя

8. Оболочки, устанавливаемые между корпусами средней и задней опор, являются силовыми элементами и одновременно выполняют функцию теплового экрана. На наружных поверхностях оболочек располагаются агрегаты механизации компрессора, фланцы отбора воздуха и арматура электропроводки и трубопроводов.
9. Силовая проставка над задней опорой является задним силовым поясом крепления двигателя на раме. Через люк на силовой проставке проходит проушина крепления двигателя.
10. Одноступенчатая осевая свободная турбина, приводящая во вращение центробежный компрессор через трансмиссию с упругими муфтами и промежуточный редуктор (мультипликатор), конструктивно состоит из ротора (вал и рабочее колесо) и статора. Статор представляет собой кольцевой лопаточный сопловой аппарат и рабочее кольцо.
11. Опора свободной турбины включает в себя передний роликовый подшипник и задний подшипниковый узел, состоящий из упорного шарикового подшипника и радиального роликового. В опоре через одно из ребер проходит рессора для привода коробки приводов аппаратов.

На двигателе установлены агрегаты масляной и топливной систем, агрегаты системы регулирования, контроля работы и защиты, электрический кабельный план с входными соединениями, трубопроводы топливной и масляной систем, трубопроводы отбора воздуха из компрессора на нужды двигателя и газотурбинной установки.

Двигатель устанавливается и крепится на разъемной раме, с которой он поставляется с завода-изготовителя.

Крепление газогенератора к раме производится в двух поясах:

- за цапфы, расположенные в горизонтальной плоскости и на средней опоре;

- за проушину, расположенную сверху над задней опорой газогенератора.

Крепление свободной турбины к своей раме производится в двух поясах:

- за цапфы, расположенные в горизонтальной плоскости на корпусе опоры свободной турбины;
- за цапфы, расположенные на силовой проставке.

Соединение узла свободной турбины с задней опорой газогенератора – телескопическое.

Соединение рамы газогенератора с рамой свободной турбины – жесткое, болтовое.

Отсутствие жесткой связи между газогенератором и свободной турбиной и наличие отдельных рам позволяет, при необходимости, осуществлять модульную замену газогенератора или свободной турбины.

Система автоматического регулирования двигателя (САР) – электронная, взаимодействует с датчиками контроля и защиты, установленными на двигателе.

Основные технические данные двигателя НК-16-18СТ

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1	Максимальная мощность на приводном валу свободной турбины, при температуре воздуха плюс 15°C и атмосферном давлении 1,033кгс/см ² , кВт	18000
2	Эффективный КПД двигателя на режиме максимальной мощности по п.1, %	31,0
3	Максимальная мощность на приводном валу свободной турбины, при температуре воздуха плюс 25°C и атмосферном давлении 1,033кгс/см ² , кВт	16400
4	Частота вращения приводного вала свободной турбины, об/мин – номинальная – максимальная, не более – минимальная, не более	5300 5565 3975
5	Температура выхлопных газов, °С	460
6	Разрешенный отбор воздуха: – на технологические нужды за компрессором НД, кг/с, не более – на систему противообледенения за КВД кг/с, не более	2 2
7	Уровень вибраций двигателя, мм/с, не выше	40
8	Сорт применяемого масла	ТП-22с ТУ38.101821-81

№ п/п	Наименование параметра	Величина
9	Содержание в выхлопных газах:	
	– оксидов азота, мг/м ³	150
	– оксидов углерода, мг/м ³	300
10	Давление топливного газа на входе в газотурбинную установку, кгс/см ²	25
11	Система запуска	электростартер
	Напряжение, В, до	380
	Ток, потребляемый электроприводом, А, не более	160
	Частота переменного тока, Гц	50±0,2
	Мощность электропривода, кВт, не менее	65
	Габаритные размеры блока управления, мм	820x600x360
17	Масса двигателя в составе поставки с рамой, кг	7800
18	Габаритные размеры двигателя, мм	
	– длина	6197
	– ширина	2164
	– высота	2210

Примечания: 1. Величины мощности по п.п. 1 и 3 даны с учетом

гидравлических потерь полного давления в системе всасывания – 200мм водяного столба, в системе выхлопа – 575мм водяного столба и отбором воздуха из компрессора НД.

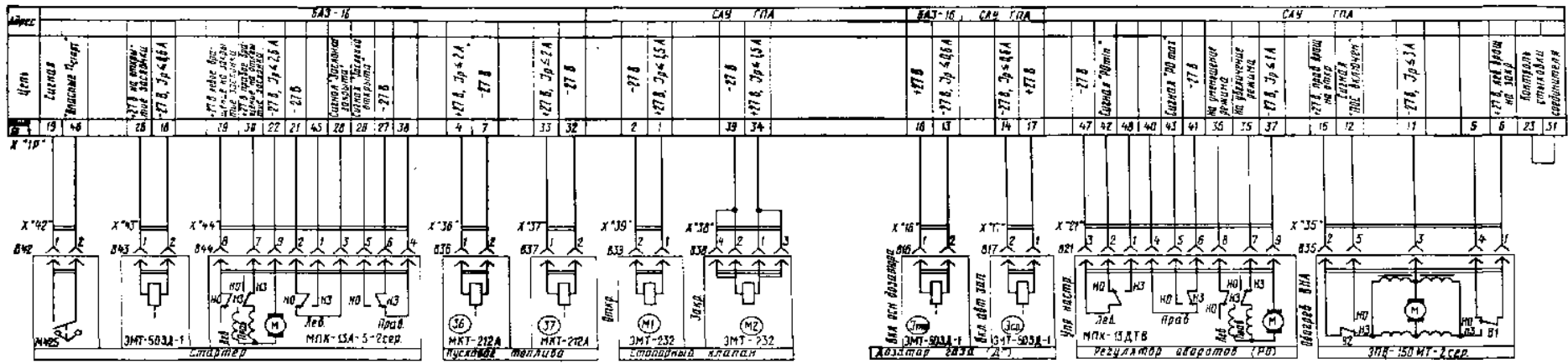
2. Величина КПД дана без учета гидравлических потерь полного давления в системах всасывания и выхлопа.

3.2.1. Электрооборудование

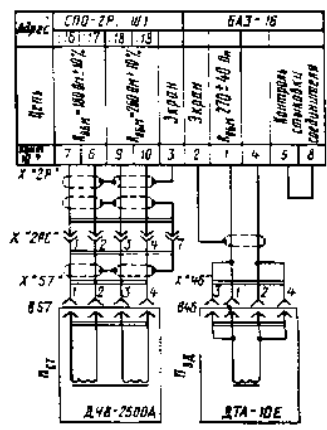
Перечень элементов и агрегатов схемы электрооборудования Таблица 3.1

Обозначение по схеме	Наименование	Назначение	Контролируемый параметр
B1...B4	Термопары	Измерение, регулирование	Температура газов на входе в СТ
B5	Датчик вибрации	Предупредительный и аварийный сигналы	Вибрация задней опоры
B7	Датчик логарифмический	Аварийный сигнал	Помпаж двигателя
B8, B9	Свечи зажигания	Воспламенение топлива при запуске	-
B10	Выключатель концевой	Сигнализация	Положение КПВ
B11	Выключатель концевой	Сигнализация	Положение РНА
B12	Агрегат зажигания	Воспламенение топлива при запуске	-
B13	Сигнализатор давления теплостойкий	Аварийный сигнал	Давление топливного газа
B14	Сигнализатор давления дифференциальный	Аварийный сигнал	Негерметичность топливной аппаратуры
B17	Клапан электромагнитный	Включение автомата запуска	-
B18	Сигнализатор давления теплостойкий	Аварийный сигнал	Давления масла в САР двигателя
B19, B20	Приемник температуры	Измерение и управление маслоохладителями (по схеме САУ ГПА)	Температура масла на входе в двигатель
B21	Электромеханизм	Управление режимом	Привод задатчика регулятора частоты вращения
B23, B25	Датчик частоты вращения	Измерение и регулирование (по схеме САУ ГПА)	Частота вращения ротора НД
B27	Датчик температуры торможения	Измерение, регулирование	Температура воздуха на входе в компрессор
B35	Электромеханизм	Обогрев ВНА	Привод заслонки для подвода горячего воздуха к ВНА
B36, B37	Клапан электромагнитный	Подвод пускового топлива	-
B38	Электромагнит	Отсечка топлива при останове двигателя	Закрытие стопорного клапана
B39	Электромагнит	Подвод основного топлива	Открытие стопорного клапана

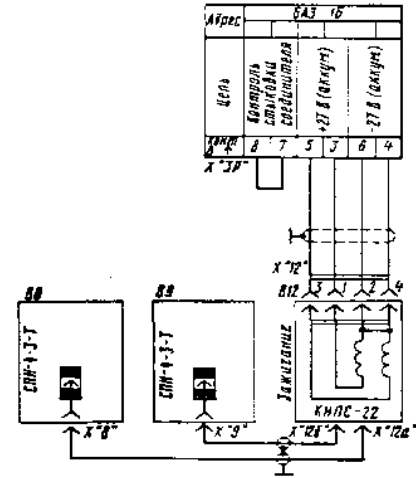
Обозначение по схеме	Наименование	Назначение	Контролируемый параметр
B40	Контакт магнитоуправляемый герметизированный	Сигнализация	Положение стопорного клапана
B41	Сигнализатор давления теплостойкий виброустойчивый	Аварийный сигнал	Давление масла на входе в двигатель
B42	Микропереключатель	Сигнализация	Опасные обороты стартера
B43	Клапан электромагнитный	Подвод газа к стартеру	Управление регулятором стартера
B44	Электромеханизм	Подвод газа к стартеру	Привод заслонки стартера
B45	Датчик частоты вращения	Измерение	Частота вращения ротора ВД
B46	Датчик оборотов	Управление запуском двигателя	Частота вращения ротора ВД
B51	Приемник температуры	Измерение	Температура масла на выходе из задней опоры турбины газогенератора
B52	Приемник температуры	Аварийный сигнал	Температура масла на выходе СТ
B53	Датчик вибрации	Предупредительный и аварийный сигналы	Вибрация передней опоры
B54	Приемник температуры	Блокировка запуска	Температура масла на входе в переднюю опору двигателя
B56, B57	Датчик частоты вращения	Измерение и аварийный сигнал (по схеме САУ ГПА)	Частота вращения СТ
B59	Сигнализатор давления теплостойкий виброустойчивый	Аварийный сигнал	Давление масла на входе в СТ
B61	Датчик вибрации	Предупредительный и аварийный сигналы	Вибрация СТ
B62	Сигнализатор давления теплостойкий	Аварийный сигнал	Частота вращения СТ



Лист 2Р



Лист 3Р



Лист 4Р

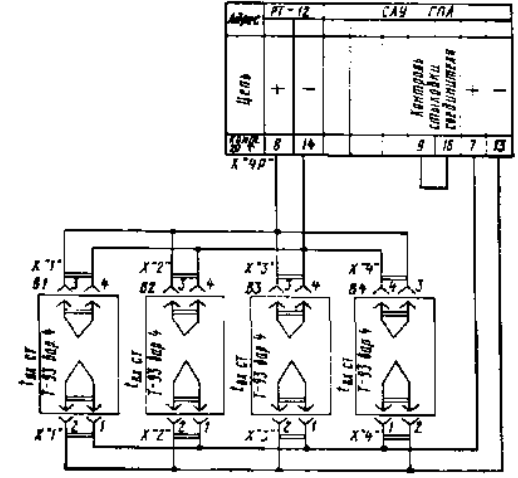
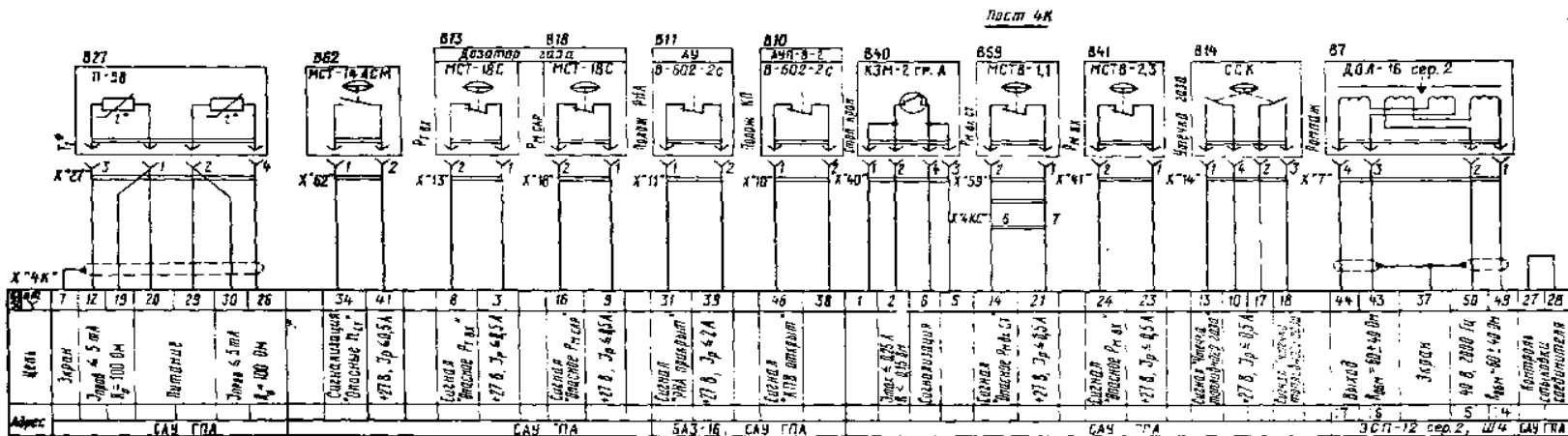
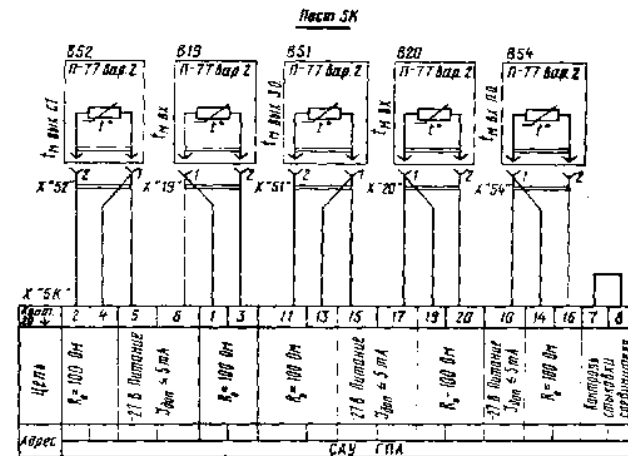
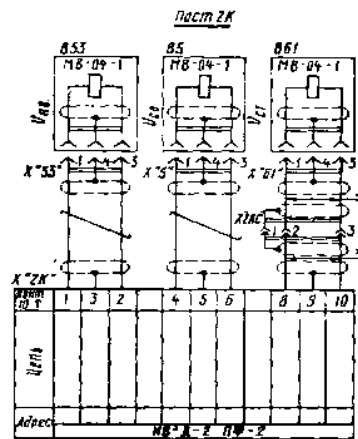
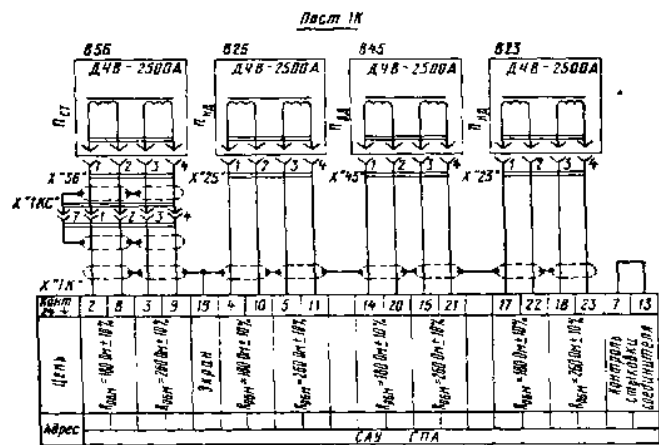


Рис.3.11 Схема электрооборудования двигателя



Продолжение рис. 3.11

3.2.2. Система электроснабжения

Электропроводка двигателя предназначена для соединения электрических агрегатов и приборов двигателя между собой и с аппаратурой газоперекачивающего агрегата. Она выполнена в виде отдельных жгутов. Жгуты располагаются на внешних оболочках двигателя.

В электропроводке двигателя применены:

- теплостойкие провода;
- неэкранированные, низкочастотные, низковольтные, цилиндрические соединители 2РМ, 2РВДД, РРН;
- штепсели прямые лепестковые малогабаритные ШПЛМ;
- контактные устройства высоковольтной системы зажигания;
- высокотемпературные припои ПСр2,5 и ПСр40.

Провода жгутов обмотаны эластичной лентой ЛЭТСАР КФ-0,5 и проложены в эластичных трубках ТТЭ-285, изготовленных из стеклочулка, пропитанного герметиком 51-Г1.

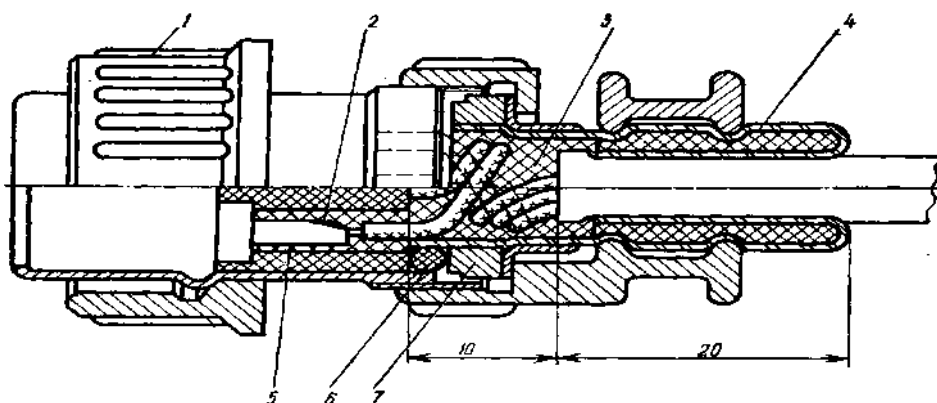
Для герметизации мест пайки проводов к контактам соединителей и защиты их от вибрационных нагрузок провода в патрубке соединителей уложены петлями, а полость патрубка залита пеногерметиком ВПГ-2Л.

Крепление электропроводки на изделии осуществлено фторопластовыми зажимами на кронштейнах и хомутиками с резиновой обкладкой. Для соединения электрических агрегатов двигателя с аппаратурой газоперекачивающего агрегата электропроводка выведена на выходные соединители 1К, 2К, 4К, 5К, 1Р, 2Р, 3Р, 4Р. Выходные соединители крепятся на двух щитках, расположенных на стыке направляющего аппарата I ступени с рабочим кольцом II ступени, на 9...17 болтах влево от нижнего нуля. На щитках нанесена дополнительно маркировка "30", "31", "32", "33", "34", "35", "39", "44", соответствующая выходным соединителям газоперекачивающего агрегата.

Соединение электропроводки газогенератора с электропроводкой свободной

турбины осуществляется через промежуточные соединители (1), (2), (3), (4), которые установлены на щитке, расположенном на стыке проставки с задней оболочкой свободной турбины, на 13...16 болтах влево от «нижнего нуля»

Места установки промежуточных соединителей замаркированы "1КС", "2КС", "2РС", "4КС".



- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Соединитель типа ШПЛМ | |
| 2. Припой ПСр2,5 | 5. Пеногерметик ВПГ-2 Л |
| 3. Резиностеклоткань РЭТСАР | 6. Уплотнительное кольцо |
| 4. Трубка ТТЭ-285-d | 7. Кольцо |

Заделка проводов жгута в соединитель типа ШПЛМ Рис. 3.11

§3.3. Система контроля, обеспечивающая оптимальные режимы работы авиадвигателя НК-16-18СТ

3.3.1. Система контроля

Система контроля работы двигателя представляет собой комплекс датчиков и преобразующей аппаратуры.

Система контроля двигателя предназначена:

- для представления визуальной информации о параметрах двигателя и систем, обеспечивающих его работу;
- для выдачи технологических сигналов о работе двигателя;
- для выдачи предупредительных сигналов в случае отклонения контролируемых параметров за пределы допустимых величин;
- для выдачи управляющих сигналов аварийного останова ГПА в случае достижения опасных величин контролируемых параметров;
- для выдачи управляющих сигналов, используемых в АСУ ГПА для блокировки запуска двигателя в случае невыполнения предпусковых условий.

Системой контроля работы двигателя контролируются следующие параметры и техническое состояние:

По роторам двигателя:

- вибрация опор;
- частота вращения роторов.

По газоздушному тракту двигателя:

- температура газов перед свободной турбиной;
- устойчивость компрессора;
- давление за компрессором.

По маслосистеме двигателя:

- температура масла в различных точках системы;
- давление масла в магистралях;
- давление в средней опоре;
- появление стружки в масле.

По системе регулирования:

- давление масла в системе; крайние положения исполнительных элементов агрегатов;

- герметичность в закрытом состоянии дозирующих игл ДГ-16.

По системе запуска:

- частота вращения стартера;
- положение заслонки стартера;
- частота вращения ротора ВД на запуске.

По системам, обеспечивающим работу двигателя:

- температура и уровень масла в баке двигателя;
- давление и температура топливного и пускового газа;
- температура воздуха на входе в двигатель и в отсеке двигателя;
- разрежение на входе в двигатель;
- загрязненность фильтров маслосистемы;
- напряжение питания постоянного тока.

По структурно-конструктивному выполнению отдельные каналы контроля можно разделить на следующие группы:

(1) Группа каналов контроля, представляющих собой отдельные аппаратные системы, поставляемые с двигателем. Такие системы оснащены датчиками и преобразующей аппаратурой, выдающей в САУ ГПА предупредительные и аварийные сигналы. В этой группе датчики устанавливаются на двигателе, а блоки аппаратуры - в отсеке автоматики ГПА. К этой группе относятся:

- сигнализатор предельных оборотов СПО-2Р;
- сигнализатор помпажа ЭСП-12-1;
- регулятор температуры РТ-12-9А сер. 4 (РТ-12-9А);
- блок автомата запуска БАЗ-16;
- аппаратура вибрации ИВ-Д-ПФ-2, дополнительно имеющая блок визуальных приборов, устанавливаемый в пультовой компрессорной станции.

(2) Группа каналов, выполняющих функции контроля предельных значений параметров или положений исполнительных элементов. Данные

сигнализаторы выдают релейные сигналы в САУ ГПА, которая разделяет эти сигналы на технологические, предупредительные или аварийные. В процессе запуска разделение некоторых сигналов выполняет также и БАЗ-16.

(3) Группа каналов для измерения текущего значения параметров, в которых датчики могут относиться как к двигателю, так и к ГПА. Вывод на показывающий прибор, а также выработку соответствующих сигналов производит САУ ГПА.

(4) Манометры, устанавливаемые на ГПА.

Б. Данные по системе контроля приведены в табл. 3.1. В таблице указаны типы используемой аппаратуры и датчиков, наличие визуального контроля, значение параметра при выдаче предупредительных и аварийных управляющих сигналов, а также условия их ввода и вывода.

В. Принципиальная электрическая схема аппаратуры каналов контроля, поставляемых с двигателем и устанавливаемых в ГПА, приведена на рис. 3.1, на рис. 3.11 приведена принципиальная электрическая схема двигателя, на которой помещены схемы всех электрических приборов, установленных на двигателе.

Таблица 9.

Контролируемый параметр	Датчик сигнализатора	Вторичная аппаратура	Визуальный контроль	Условия выдачи сигнала		Ввод защиты	Вывод защиты	Примечание
				Предупредительного	аварийного			
ПО РОТОРАМ ДВИГАТЕЛЯ								
Частота вращения ротора НД	ДЧВ-2500А (ДЧВ-2500)	САУ ГПА ИВ-Д-ПФ-2	+					Цифровой указатель Цифровой указатель Цифровой указатель
Частота вращения ротора ВД	ДЧВ-2500А (ДЧВ-2500)	САУ ГПА ИВ-Д-ПФ-2	+					
Частота вращения СТ	ДЧВ-2500А (ДЧВ-2500)	САУ ГПА ИВ-Д-ПФ-2 СПО-2Р	+					
Вибрация в опорах (передней, задней, СТ)	МВ-04-1	ИВ-Д-ПФ-2	+	≥40 мм/с	≥6000 об/мин ≥60 мм/с	При подаче питания При подаче питания	При снятии питания При останове	Цифровой указатель Задержка АО 3 с
Защита от раскрутки СТ	МСТ-14АСМ	САУ ГПА			≥14 кгс/см ²	Начало работы БАЗ-16	Закрытие станционно-го крана	При срабатывании гидромеханической системы защиты СТ
ПО ГАЗОВОЗДУШНОМУ ТРАКТУ								
Температура газа перед СТ	Т-93 вар. 4	САУ ГПА РТ-12-9А	+	≥615°С	≥650°С ≥570°С	n _{ВД} ≥ 5800 об/мин При подаче питания	При останове n _{ВД} ≥ 5800 об/мин При снятии питания	На режиме На запуске
Помпаж двигателя	ДОЛ-16 серия 2 (ДОЛ-16)	ЭСП-12-1			Помпаж	При подаче питания		

Контролируемый параметр	Датчик сигнализатора	Вторичная аппаратура	Визуальный контроль	Условия выдачи сигнала		Ввод защиты	Вывод защиты	Примечание
				предупредительного	аварийного			
Давление в полости редней опоры	Датчик ГПА		+ .					Вакуумметр
Стружка в масле	СНС-25Р (СНС-25)	САУ ГПА		Наличие стружки в		При подаче питания	При снятии питания	
ПО СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ								
Давление масла в САР	МСТ-18С	САУ ГПА			$\leq 18 \text{ кгс/см}^2$	$n_{вд} \geq 5800 \text{ об/мин}$	При снятии питания	Задержка АО 3 с
Течка топливного газа через дозирующие вентили ДГ	ССК	БА3-16	+		$\geq 0,02 \text{ кгс/см}^2$	При открытии СК	На 50 с запуска	
Положение КПВ на режиме	Концевой выключатель	САУ ГПА	+	В пусковом положении				
Положение РНА на режиме	Концевой выключатель	САУ ГПА	+		В пусковом положении	$n_{вд} \geq 5800 \text{ об/мин}$	При останове	
Положение СК	Концевой выключатель	САУ ГПА	+					Блокировка запуска при открытом положении
Положение РО "RO min"	Концевой выключатель	САУ ГПА	+					Блокировка запуска при положении РО не на "RO min"

Контролируемый параметр	Датчик сигнализатора	Вторичная аппаратура	Визуальный контроль	Условия выдачи сигнала		Ввод защиты	Вывод защиты	Примечание
				предупредительного	аварийного			
Положение РО на "РОмах"	Концевой выключатель	САУ ГПА	+					
Положение заслонки	Концевой	САУ ГПА	+					
ПО СИСТЕМЕ ЗАПУСКА								
Заслонка стартера	Концевой выключатель	САУ ГПА	+					Блокировка запуска при открытом положении
Частота вращения ротора ВД	ДТА-10Е	БАЗ-16						Контроль производится по циклограмме запуска
Частота вращения стартера	Центробежный выключатель в стартере	САУ ГПА			$n_{ВД} \geq 3600 \text{ об/мин}$	При подаче питания	При снятии питания	
Положение РНА и КПВ при запуске	Концевой выключатель	БАЗ-16			Рабочее или пусковое положение	$n_{ВД} \geq 1300 \text{ об/мин}$	$n_{ВД} \geq 5800 \text{ об/мин}$	Контроль производится по циклограмме запуска

Контролируемый параметр	Датчик сигнализатора	Вторичная аппаратура	Визуальный контроль	Условия выдачи сигнала		Ввод защиты	Вывод защиты	Примечание
				предупредительного	аварийного			
ПО СИСТЕМАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ								
Давление топливного газа	Датчик ГПА МСТ-18С	САУ ГПА	+	$\leq 20 \text{ кгс/см}^2$	$\leq 18 \text{ кгс/см}^2$	Открытие стационарного крана Открытие стационарного крана	Закрытие стационарного крана Закрытие стационарного крана	Задержка АО 3 с
Температура топливного газа	Датчик ГПА	САУ ГПА	+	$\leq 25^\circ\text{C}$				
Давление пускового газа	Датчик ГПА	САУ ГПА	+		$\geq 6 \text{ кгс/см}^2$			
Температура пускового газа	Датчик ГПА	САУ ГПА						
Температура масла в баке	Датчик ГПА	САУ ГПА	+	$\leq 15^\circ\text{C}$				$\leq +15^\circ\text{C}$ (блокировка запуска)
Температура воздуха на входе в двигатель	П-98	САУ ГПА	+	$\leq 7^\circ\text{C}$ $\leq \text{минус } 10^\circ\text{C}$				Управление обогревом ВНА Ограничение режима от УРГА-0,2 или УРГА
Разрежение в ВОУ	Датчик ГПА	САУ ГПА		$\geq 100 \text{ мм вод.ст.}$				
Температура воздуха в отсеке двигателя	Датчик ГПА	САУ ГПА	+	$\leq 10^\circ\text{C}$ $\leq 70^\circ\text{C}$		При подаче питания	При снятии питания	

Контролируемый параметр	Датчик сигнализатора	Вторичная аппаратура	Визуальный контроль	Условия выдачи сигнала		Ввод защиты	Вывод защиты	Примечание
				предупредительного	аварийного			
Перепад на фильтрах смазки за ВМТ	Датчик ГПА		+	$\geq 1 \text{ кгс/см}^2$				Дифференциальный манометр
Уровень масла в баке: - низкий - высокий	Датчик ГПА	САУ ГПА	+			При подаче питания	При снятии питания	Уровень - от крышки маслобака
Низкий уровень масла в расходном баке	Датчик ГПА	САУ ГПА	+	500 мм 100 мм		При подаче питания	При снятии питания	
Низкое напряжение аккумуляторных батарей	Датчик ГПА	САУ ГПА	+		$\leq 23 \text{ В}$	При подаче питания	При снятии питания	Блокировка запуска
Наработка	Датчик ГПА	САУ ГПА	+					
Перепад давления на фильтрах подачи масла из бака в двигатель	Датчик ГПА	САУ ГПА	+	$\geq 0,5 \text{ кгс/см}^2$				
ПРИМЕЧАНИЕ: При срабатывании защит предупредительные и аварийные сигналы используются также для предоставления визуальной информации.								

3.3.2. Датчик измерения частоты вращения ДЧВ-2500А (ДЧВ-2500)

Датчик ДЧВ-2500 (рис. 3.12) предназначен для преобразования частоты вращения роторов двигателя в частоту электрических сигналов, выдаваемых по двум электрически не связанным каналам.

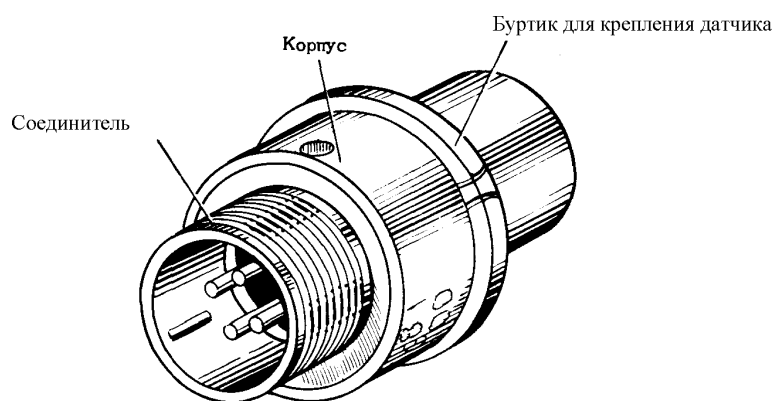


Рис. 3.12. Датчик ДЧВ-2500

На двигатель устанавливается пять датчиков:

два на коробке приводов ротора НД, один на коробке приводов ВД и два на коробке приводов СТ.

Основным узлом датчика ДЧВ-2500 является бескаркасная катушка из двух обмоток с постоянным магнитом внутри ее. Катушка с магнитом размещается в корпусе, выполненном из немагнитной нержавеющей стали в виде тонкостенного стакана. Для крепления датчика на корпусе имеется буртик, который прижимается к посадочной поверхности фланцем соответствующей конфигурации и является принадлежностью двигателя.

Корпус снабжен резьбовым штуцером, к которому подсоединяется соединитель кабельного плана двигателя.

Датчик ДЧВ-2500 работает во взаимодействии с индуктором (зубчатым колесом), приводимым от вала соответствующего ротора через шестеренчатую передачу. При вращении индуктора каждый из его зубьев, проходя в непосредственной близости от торца датчика, изменяет магнитное поле, окружающее витки катушки датчика. Вследствие этого в катушке индуцируется эдс. Частота эдс пропорциональна частоте вращения соответствующего ротора двигателя.

Выходные сигналы датчиков частоты вращения выдаются в САУ ГПА для цепи контроля (от всех трех роторов), для цепи регулирования (от ротора НД), для цепи защиты (от ротора СТ).

3.3.3. Приемники температуры П-77 вар. 2

Приемник температуры П-77 вар. 2 является чувствительным элементом системы, предназначенной для измерения температуры жидкостей и газов в пределах от минус 60°С до 260°С.

На двигателе устанавливается пять приемников температуры П-77 вар. 2. Два приемника температуры размещаются на коробке моторных агрегатов и используются для замера температуры масла на входе в двигатель; третий – на входном направляющем аппарате, в кармане на подводе масла к передней опоре, для контроля температуры масла на входе в переднюю опору; четвертый – на суфлере опоры турбины для замера температуры масла на выходе из двигателя; пятый – на суфлере СТ для замера температуры масла на выходе из опоры СТ.

Приемник по конструкции – неразъемный. В корпусе приемника размещен теплочувствительный элемент – платиновая проволока диаметром 0,04 мм, намотанная на слюдяные пластины. Пластины обклеены с обеих сторон

тонкими слюдяными прокладками и зажаты пружинящими пластинами.

Для подключения приемника к внешней цепи служит вилка под соединитель.

Изменение температуры вызывает изменение величины сопротивления чувствительного элемента приемника, установленного в месте замера температуры. Изменение указанного сопротивления используется для контроля температуры.

Все приемники температуры подключаются к системе САУ ГПА.

3.3.4. Датчики температуры торможения П-98

Датчик температуры торможения является чувствительным элементом системы, предназначенной для измерения температуры заторможенного потока воздуха.

Датчик используется для измерения температуры воздуха на входе в двигатель.

Датчик устанавливается на проставке с использованием стакана защищающего датчик от обледенения.

Датчик представляет собой неразборную конструкцию, состоящую из термочувствительного элемента (бифилярно намотанной на изолированную трубку платиновой проволоки диаметром 0,04 мм, герметично закрытой наружной трубкой), камеры торможения, крепежного фланца и соединителя. Концы платиновой проволоки подсоединены к контактам соединителя и образуют два независимых канала.

Принцип действия датчика основан на свойстве платиновой проволоки однозначно изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры окружающей среды.

Поток воздуха, пройдя камеру торможения, воздействует на термочувствительный элемент. Изменение сопротивления его вызывает изменение протекающей в термочувствительном элементе силы тока, что используется для измерения температуры воздуха на входе в двигатель. Датчик имеет два чувствительных элемента. Оба чувствительных элемента выдают информацию о температуре воздуха на входе в двигатель в САУ ГПА.

3.3.5. Термопары Т-93 вар. 4

Термопара Т-93 вар. 4 предназначена для измерения температуры выходящих газов из турбины газогенератора. Измеряемая термопарой температура соответствует температуре газа перед СТ.

Внешний вид термопары показан на рис. 3.13

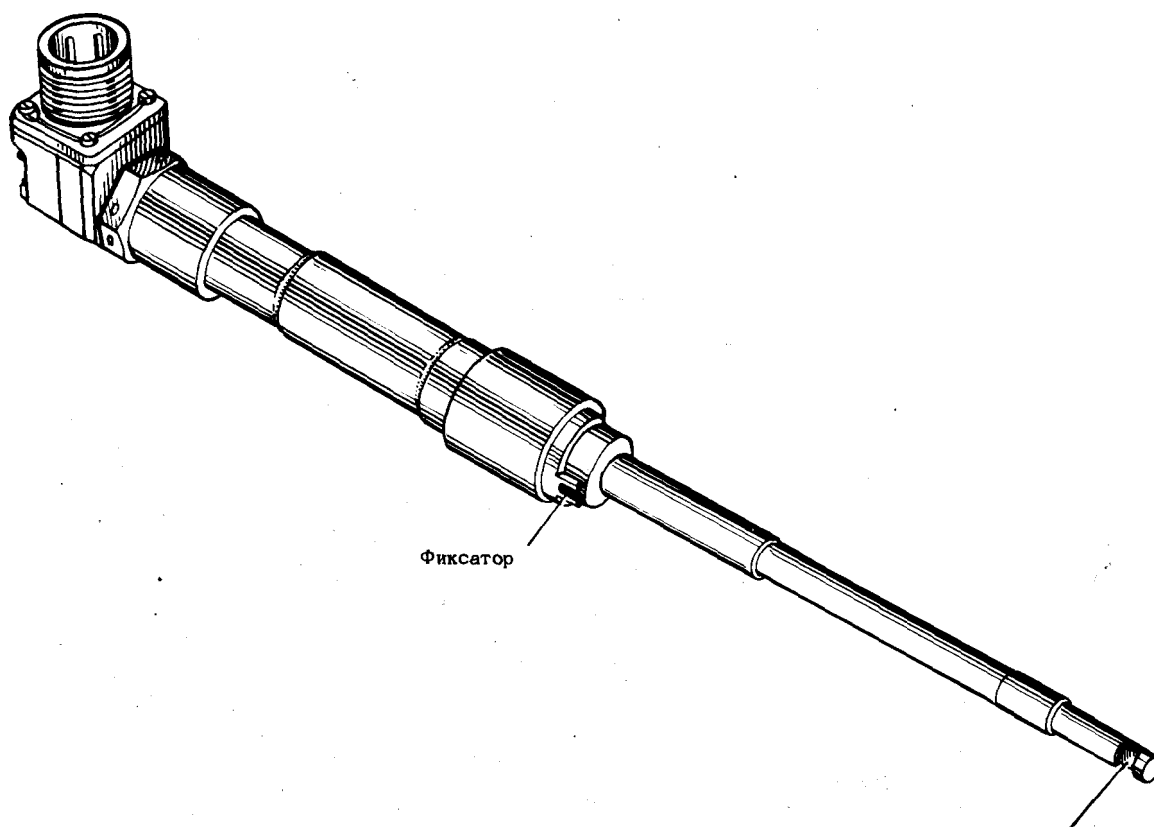


Рис. 3.13. Термопара Т-93 вар. 4 вырез корпуса

Термопара имеет две пары термоэлектродов, материалом которых являются хромель-алюмелевые сплавы. Термоэлектроды смонтированы в корпусе из жаростойкой стали и изолированы друг от друга и от корпуса. Сваренные попарно между собой хромель-алюмелевые термоэлектроды образуют горячие (рабочие) спаи.

Принцип действия термопары основан на изменении термоэдс при изменении температуры газов в зоне рабочих спаев. Поток газа, выходящий через вырез корпуса в пространство, окружающее горячие спаи, затормаживается, что дает возможность измерять температуру заторможенного потока.

Термоэдс с одних спаев термопар выдается в систему измерения САУ ГПА и отображается на шкальном указателе.

Термоэдс с других спаев термопар выдается на вход регулятора температуры РТ-12-9А

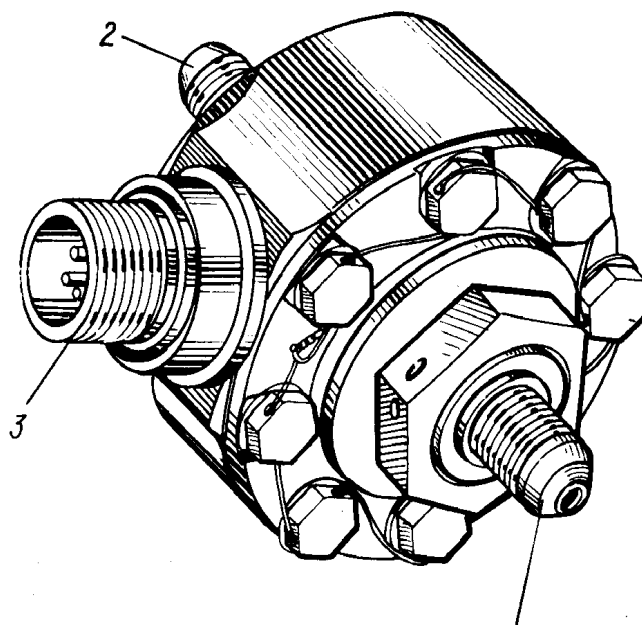
3.3.6. Дифференциальный сигнализатор давления

Дифференциальный сигнализатор давления ССК предназначен для сигнализации о герметичности дозатора газа перед запуском двигателя. Он устанавливается на дозаторе газа.

Сигнализатор состоит из двух герметичных полостей, разделенных мембраной, и контактной группы. Первая полость через штуцер (1) (рис. 4.3) сообщается со входом в камеру сгорания, вторая полость через штуцер (2) – с выходом дозатора. Для соединения с внешней электрической цепью сигнализатор имеет соединитель (3).

При наличии утечки газа через дозатор при неработающем двигателе на форсунках КС возникает перепад давления и, когда он достигает

значения $0,02 \text{ кгс/см}^2$, мембрана сигнализатора прогибается настолько, что замыкает контактную группу и в САУ ГПА подается электрический сигнал напряжением 27 В.



1. Штуцер
2. Штуцер
3. Соединитель

Рис. 3.14. Дифференциальный сигнализатор давления ССК

3.3.7. Теплостойкий сигнализатор давления

Теплостойкий сигнализатор давления МСТ-18С предназначен для размыкания электрических цепей при достижении в системе давления топливного газа или масла свыше 18 кгс/см^2 .

На двигателе устанавливаются два сигнализатора МСТ-18С.

Первый из них используется для контроля давления топливного газа, второй – для контроля давления масла в САУ.

Сигнализатор МСТ-18С имеет штуцер и вворачивается в специально предназначенное для него гнездо (рис. 7.11).

Внешний вид сигнализатора давления МСТ-18С показан на рис. 9.18.

Сигнализатор давления МСТ-18С состоит из смонтированных в корпус мембраны и нормально замкнутых контактов (рис. 9.19).

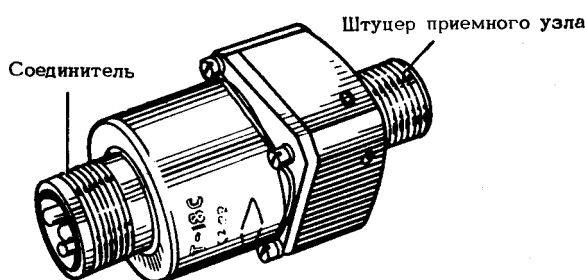
Корпус сигнализатора выполнен заодно со штуцером, с помощью которого сигнализатор подключается к источнику контролируемого давления и крепится на двигателе. К электрическому кабелю двигателя сигнализатор подключается посредством соединителя ШПЛМ-2 сер. 2.

Принцип работы сигнализатора основан на способности чувствительного элемента-мембраны прогибаться на определенную величину в зависимости от воздействующего давления газа (жидкости).

При давлении топливного газа или масла в САР выше минимального уровня мембрана, прогибаясь, удерживает контакты в разомкнутом состоянии.

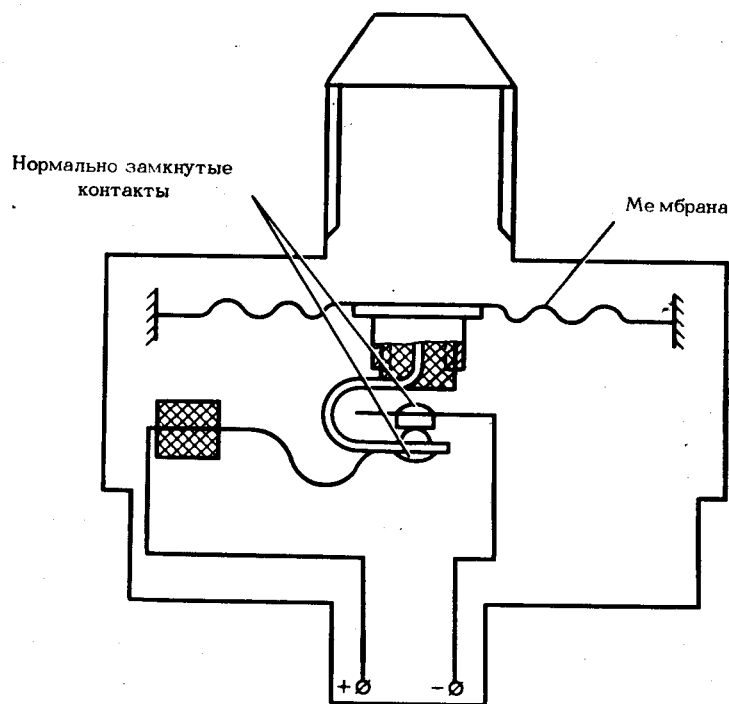
При давлении топливного газа или масла в САР ниже минимально допустимого уровня прогиб мембраны уменьшается и контакты замыкаются.

В САУ ГПА выдается электрический сигнал напряжением 27 В



Сигнализатор МСТ-18С

Рис. 9.18



Принципиальная схема сигнализатора типа МСТ или МСТВ
Рис. 9.19

3.3.8. Виброустойчивый теплостойкий сигнализатор давления

Сигнализатор давления типа МСТВ (общий вид показан на рис. 3.15) предназначен для замыкания электрической цепи при давлении жидкости или газа ниже заданного значения. Номинальное значение давления в кг/см^2 , при котором происходит

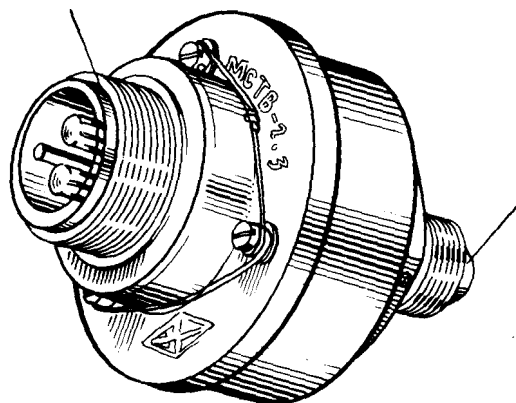
срабатывание сигнализатора, указывается в его обозначении.

На двигателе устанавливаются два сигнализатора указанного типа: МСТВ-2,3 и МСТВ-1,1. Первый из них используется для сигнализации о давлении масла ниже допустимого уровня на входе в двигатель, второй – на входе в опору СТ. Датчики МСТВ-2,3 и МСТВ-1,1 посредством демпфера крепятся к двигателю. Сигнализатор давления типа МСТВ состоит из смонтированных в корпусе мембраны и нормально замкнутых контактов.

Принцип работы сигнализатора основан на способности чувствительного

элемента-мембраны прогибаться на определенную величину в зависимости от воздействующего давления жидкости, подведенной к прибору.

При давлении масла выше минимально допустимого уровня мембрана, прогибаясь, удерживает контакты в разомкнутом состоянии. При давлении масла ниже минимально допустимого уровня прогиб мембраны уменьшается и контакты замыкаются.



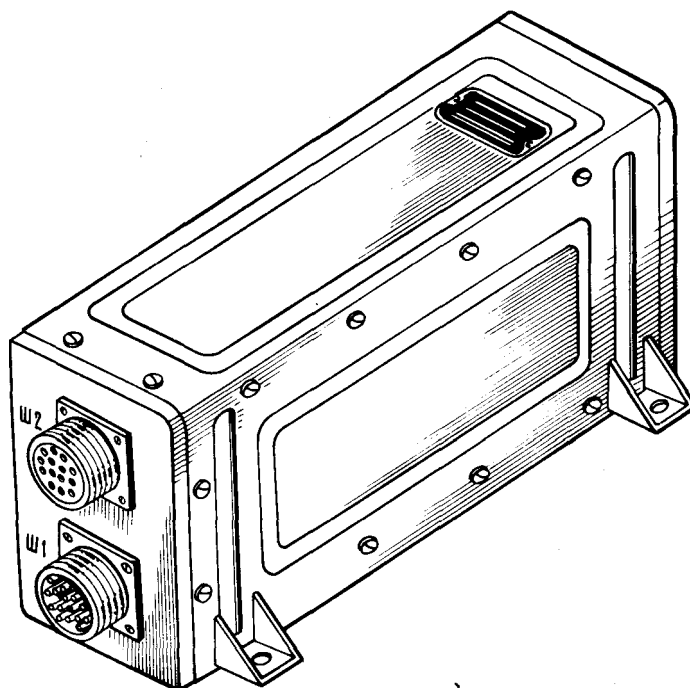
Сигнализатор типа МСТВ

Рис. 3.15

3.3.9. Сигнализатор предельных оборотов

Сигнализатор предельных оборотов СПО-2Р предназначен для формирования сигнала на автоматическое выключение двигателя при достижении валом свободной турбины предельно допустимых оборотов (6000 об/мин).

Датчик частоты вращения ДЧВ-2500, установленный на коробке приводов ротора СТ, вырабатывает электрический сигнал, частота которого пропорциональна частоте вращения ротора СТ. Этот сигнал поступает на вход сигнализатора (рис. 4.24), установленного в блоке автоматики ГПА.



Сигнализатор предельных оборотов СПО-2Р

Рис. 3.16

В сигнализаторе осуществляется преобразование входного сигнала и сравнение его с допустимым значением, задаваемым с помощью резонансного контура. При предельной частоте входного сигнала ($3900 + 60$ Гц) резонансный контур возбуждается и приводит к срабатыванию порогового устройства, формирующего электрический сигнал на АВД напряжением 27 В, воспринимаемый САУ ГПА.

Контроль исправности сигнализатора осуществляется на работающем двигателе на режиме прогрева встроенным контролем, управляемым от САУ ГПА.

3.3.10. Система защиты от помпажа

Система защиты от помпажа включает в себя электронный сигнализатор помпажа ЭСП12-1 сер. 2 и логарифмический датчик давления ДОЛ-16 серия 2 (ДОЛ-16).

Электронный сигнализатор помпажа ЭСП12-1 СЕР. 2

Электронный сигнализатор помпажа (рис. 9.25) предназначен для формирования сигнала на автоматическое выключение двигателя при помпажном срыве компрессора.

Сигнализатор ЭСП12-1

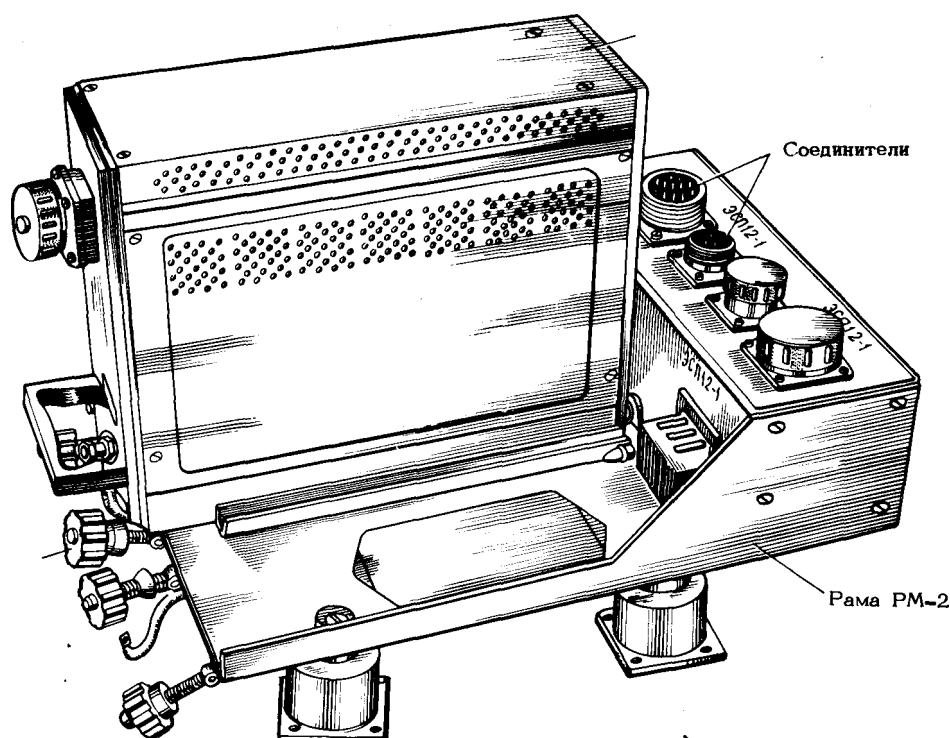


Рис. 3.17. Электронный сигнализатор помпажа ЭСП12-1 сер. 2

Помпажный срыв в компрессоре характеризуется возникновением пульсаций давления за компрессором, которые с помощью датчика давления ДОЛ-16 преобразуются в колебания электрического сигнала. Этот сигнал поступает на вход сигнализатора, установленного в блоке автоматики ГПА на раме РМ-2. Электрическое соединение сигнализатора выполняется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 9.1.

В сигнализаторе осуществляется фильтрация входного сигнала в диапазоне частот

4...40 Гц, усиление и селекция его по амплитуде. В случае если амплитуда

сигнала превышает заданное значение, формируется электрический сигнал на АДВ напряжением 27 В, воспринимаемый САУ ГПА.

Контроль исправности сигнализатора осуществляется как на работающем, так и на выключенном двигателе встроенным контролем, управляемым от САУ ГПА.

Логарифмический датчик давления ДОЛ-16 СЕРИЯ 2 (ДОЛ-16)

Датчик ДОЛ-16 предназначен для измерения избыточного давления воздуха с выдачей сигнала переменного тока, пропорционального логарифму измеряемого давления. Датчик устанавливается на переднем фланце задней оболочки (рис. 3.17).

Датчик работает по схеме дифференциального трансформатора. Воздух под давлением подается в штуцер приемного узла, воздействует на мембрану, вызывая ее перемещение. Перемещение мембраны через шток изменяет зазоры в магнитных цепях катушек, что приводит к изменению выходного напряжения. Выходной сигнал, снимаемый с контактов 3-4 соединителя, поступает на вход электронного сигнализатора помпажа ЭСП12-1 сер. 2. К контактам 1-2 соединителя подводится питание с сигнализатора помпажа ЭСП12-1 сер. 2. Логарифмический закон изменения выходного сигнала достигается с помощью регулировочных винтов и кольцевого упора. Благодаря этому уменьшается влияние статической составляющей измеряемого давления на значение выходного сигнала, характеризующего помпажное явление.

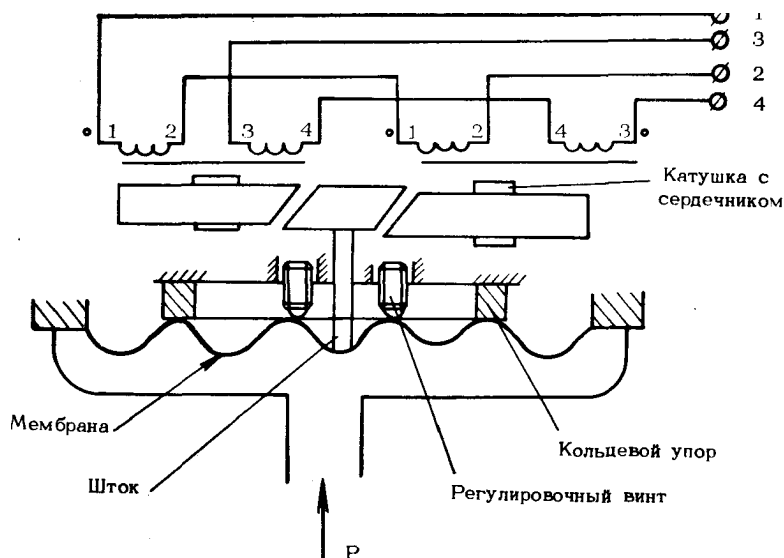
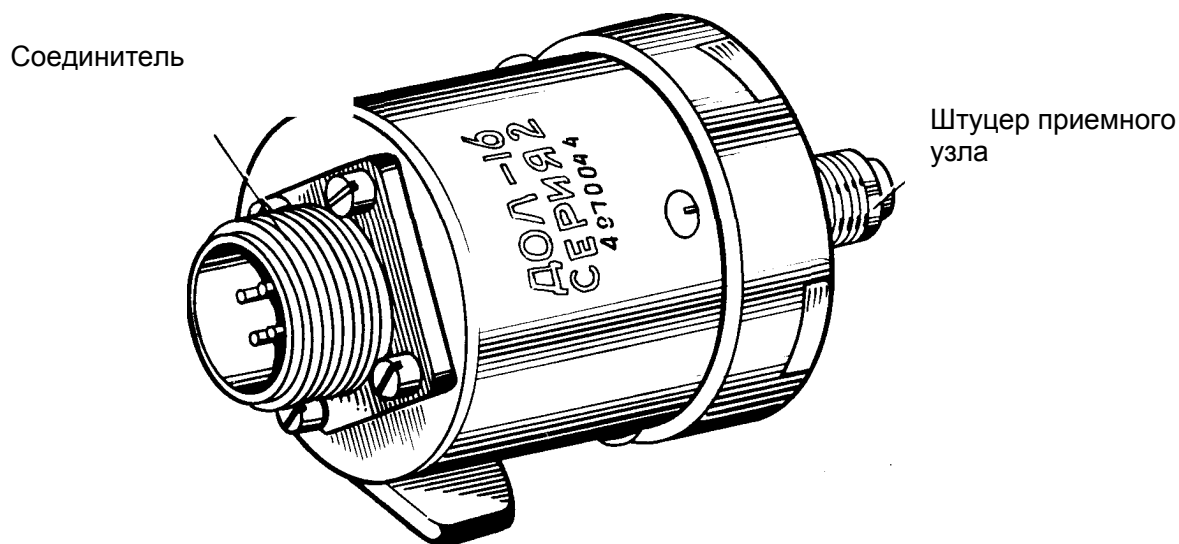


Рис. 3.18. Логарифмический датчик давления ДОЛ-16 и его принципиальная схема

3.3.11. Регулятор температуры РТ-12-9А сер. 4 (РТ-12-9А)

Регулятор температуры (рис. 3.18) предназначен для ограничения температуры газов за турбиной газогенератора, а также для выдачи электрической команды на останов двигателя при превышении предельной температуры газов. Регулятор устанавливается в отсеке автоматики ГПА.

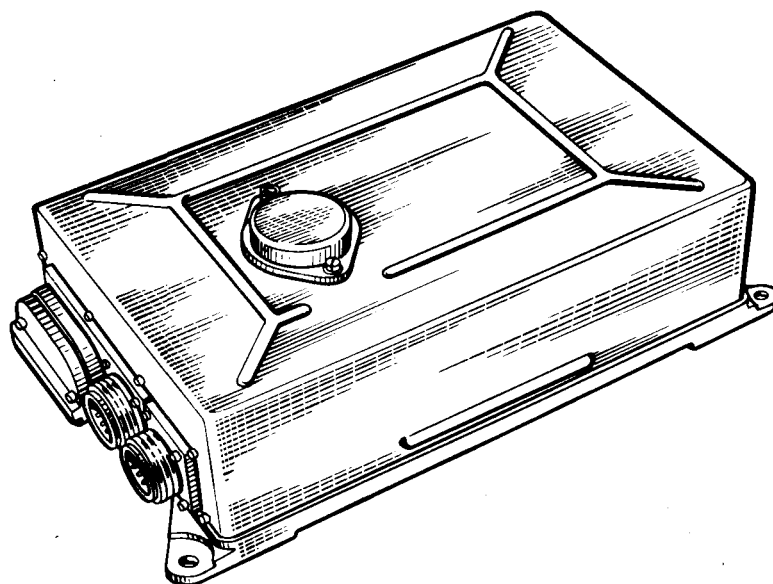


Рис. 3.19. Регулятор температуры РТ-12-9А сер. 4

Датчиками температуры для регулятора РТ-12-9А сер. 4 являются четыре термопары Т-93 вар. 4 градуировки хромель-алюмель, соединенные по параллельной схеме в общий коллектор.

Соединение регулятора с блоком термопар производится компенсационными проводами.

Регулятор состоит из двух каналов. Первый канал работает как ограничитель температуры, второй канал как сигнализатор опасной температуры. На основном режиме работы двигателя регулятор имеет настройку по первому каналу 620°C , по второму каналу 650°C .

На запуске по команде с блока автоматического запуска БАЗ-16 настройка регулятора уменьшается и составляет по второму каналу 570°C . Трёмоздс с термопар поступает на вход регулятора, сравнивается с эталонным источником опорного напряжения задатчиков первого и второго каналов. Разностный сигнал усиливается, преобразуется в управляющий сигнал и подается по первому каналу в цепь канала - в цепь останова двигателя.

Контроль исправности регулятора осуществляется как на работающем, так и на остановленном двигателе встроенным контролем, управляемым от САУ

3.3.12. Аппаратура контроля вибрации авиадвигателя НК-16-18СТ

Аппаратура контроля вибрации ИВ-Д-ПФ-2 (рис. 9.30) предназначена для непрерывного контроля вибросостояния двигателя, индикации виброскорости и частоты вращения роторов. Виброскорость измеряется в мм/с, частота вращения – в Гц (высвечивается на индикаторе).

Аппаратуре предусмотрены устройства для включения световой сигнализации «ВИБРАЦИЯ ВЫШЕ НОРМЫ», «ВИБРАЦИЯ ОПАСНАЯ» и выдачи сигнала на автоматическое выключение двигателя в случае достижения предельно допустимого значения виброскорости, а также выдачи аналоговых сигналов, пропорциональных виброскорости, в САУ ГПА. Аппаратура имеет встроенную систему для самоконтроля.

В комплект аппаратуры контроля вибрации входят (рис. 3.18) электронные блоки БЭ-38-2, БЭ-39- 2, три датчика вибрации МВ-04-1, а также кабель для соединения датчиков с электронным блоком БЭ-38-2, винты для крепления датчиков на двигателе.

Датчики вибрации МВ-04-1 устанавливаются на кронштейнах на ПО, задней опоре (30) газогенератора и на СТ.

Электронный блок БЭ-38-2 устанавливается в блоке автоматики ГПА.

Электронный блок БЭ-39-2 устанавливается в стойке монтажного оборудования (СТО) системы А- 705-15-09.

Электрическое соединение аппаратуры приведено на рис. 3.11.

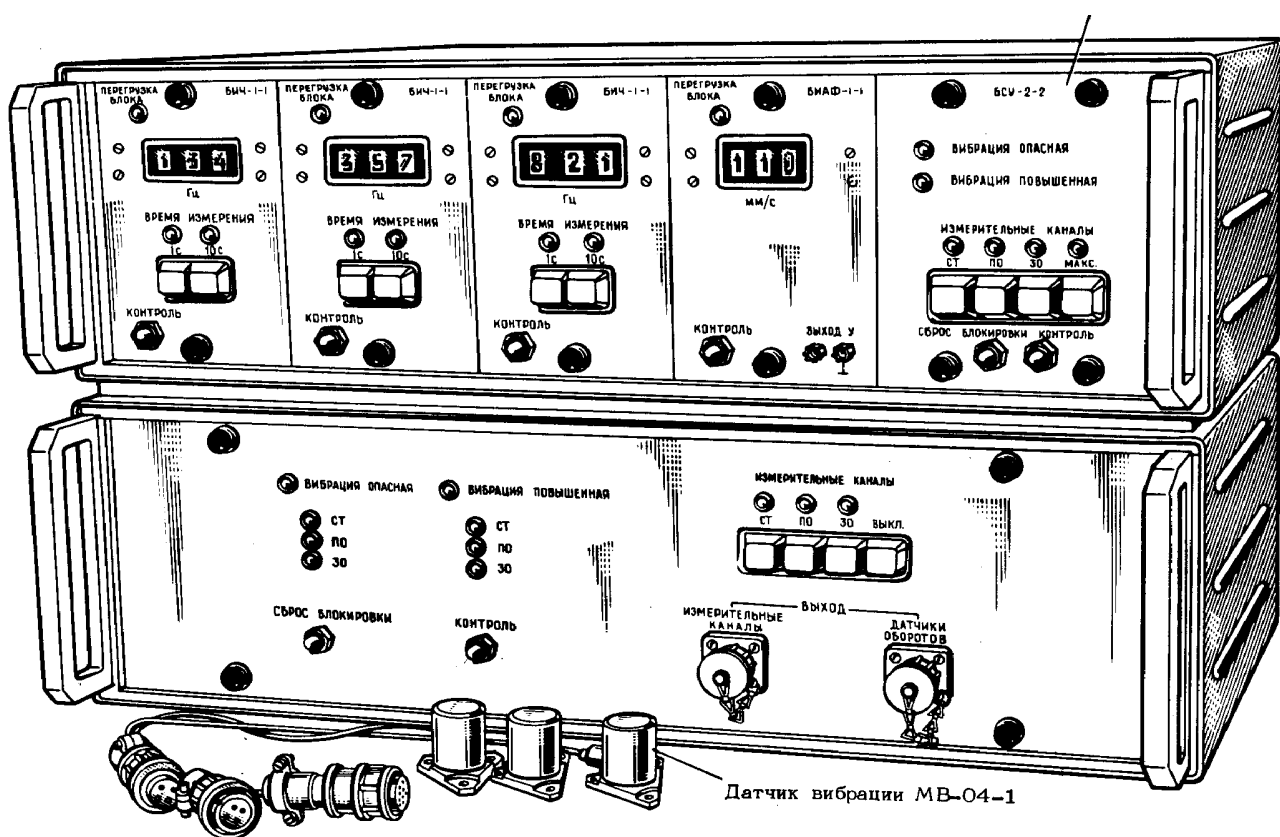
Работа канала индикации виброскорости

Датчик вибрации вырабатывает электрические заряды, величина которых пропорциональна виброускорению. В блоке БЭ-38-2 эти заряды преобразуются в напряжение постоянного тока, пропорциональное величине контролируемой виброскорости. С выхода БЭ-38-2 напряжение постоянного тока через линию связи поступает в блок БЭ-39-2, где после

соответствующего преобразования подается на общее для всех каналов цифровое табло. Все три канала индикации виброскорости (ПО, 30, СТ) устроены одинаково. Переключение каналов осуществляется соответствующими переключателями, расположенными на передней панели блока БЭ-39-2.

Работа канала индикации частоты вращения

Сигнал датчика частоты вращения, пропорциональный частоте вращения ротора, поступает на вход блока БЭ-38-2, где он формируется, делится, в результате чего на выходе этого блока получается последовательность импульсов,



Электронный блок БЭ-38-2

Рис. 3.20. Аппаратура контроля вибрации ИВ-Д-ПФ-2

частота следования которых соответствует частоте вращения ротора. Этот сигнал через линию связи подается в блок БЭ-39-2, где после соответствующего преобразования индицируется на цифровое табло. Для каждого ротора имеется свое табло. Требуемая точность измерения (± 1 Гц, $\pm 0,1$ Гц) реализуется двумя режимами измерения (1 с и 10 с), производится переключателями "ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ", расположенными на передней панели блока БЭ-39-2.

Работа системы встроенного контроля

В аппаратуре предусмотрены системы встроенного контроля:

- система контроля канала измерения виброскорости;
- система контроля индикаторной части канала частоты вращения;
- система контроля индикаторной части канала виброскорости.

Включение системы контроля канала измерения виброскорости производится нажатием кнопки, расположенной на панели САУ ГПА. При этом от входов всех трех каналов отключаются сигналы датчиков вибраций и подается сигнал генератора блока БЭ-38-2. При исправной аппаратуре показания индикатора виброскорости находятся в пределах 75...95 мм/с и табло "ВИБРАЦИЯ ВЫШЕ НОРМЫ", "ВИБРАЦИЯ ОПАСНАЯ" включены.

Включение системы контроля индикаторной части канала виброскорости производится нажатием кнопки «КОНТРОЛЬ», расположенной ниже табло «мм/с». При исправной индикаторной части аппаратуры показание индикатора должно соответствовать значению 95...99 мм/с.

Включение системы контроля индикаторной части канала частоты вращения производится нажатием кнопки "КОНТРОЛЬ" (на панели блока БЭ-39-2) проверяемого канала (НД, ВД, СТ). При этом показание цифрового табло при времени измерения 1 с составляет 512 ± 1 Гц.

Работа сигнализации "ВИБРАЦИЯ ВЫШЕ НОРМЫ", "ВИБРАЦИЯ ОПАСНАЯ"

В блоке БЭ-38-2 имеются пороговые устройства, настроенные на уровни срабатывания, соответствующие виброскорости 40 мм/с и 60 мм/с. При срабатывании пороговых устройств на передних панелях блоков БЭ-39-2, БЭ-38-2 включается световая сигнализация "ВИБРАЦИЯ ВЫШЕ НОРМЫ", "ВИБРАЦИЯ ОПАСНАЯ". Кроме того, формируются сигналы в виде замыкания контактов для включения сигнализации на панели САУ ГПА, а также для автоматического выключения двигателя при достижении виброскорости 60 мм/с.

В блоке БЭ-39-2 предусмотрено формирование трех аналоговых сигналов 0... 5 В, пропорциональных виброскорости на ПО, 30, СТ, для выдачи в САУ ГПА.

3.3.13. Теплостойкий сигнализатор давления МСТ-14АСМ

Теплостойкий сигнализатор давления МСТ-14АСМ входит в состав гидромеханической системы защиты от раскрутки СТ и предназначен для выдачи электрического сигнала в САУ ГПА о причине выключения двигателя при срабатывании системы.

Сигнализатор МСТ-14АСМ имеет штуцер, с помощью которого сигнализатор вворачивается в специально предназначенное для него гнездо в корпусе СК.

Внешний вид сигнализатора МСТ-14АСМ такой же, как МСТ-18С (рис. 9.18).

Сигнализатор МСТ-14АСМ состоит из смонтированных в корпус мембраны и нормально разомкнутых контактов.

К электрическому кабелю двигателя сигнализатор подключается посредством соединителя типа ШПЛМ.

При срабатывании гидромеханической системы защиты от раскрутки СТ давление топливного газа на входе в сигнализатор становится выше 14 кгс/см², прогиб мембраны увеличивается и контакты замыкаются. В САУ ГПА выдается электрический сигнал напряжением 27 В.

Заключение

Предложенная методика выбора авиадвигателя для компрессорных агрегатов позволяют:

1. Оптимизацию объемов капитальных вложений на строительство ДКС, сэкономить ресурсы около 186 млн. сумов;
2. Минимизировать потребление энергоресурсов;
3. Уменьшать выбросы в окружающую среду;
4. Повышению эффективности инвестиций.

Литература

1. СТО Газпром 2-3.5-039-2005. Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов
2. А.В. Воронежский. Современные компрессорные станции. М., ООО «Премиум Инжиниринг», 2009
3. Руководство по технической эксплуатации двигателя НК-16-18СТ
4. А.П. Мороз и др. Газоперекачивающие агрегаты и обслуживание компрессорных станций. М., Недра, 1973
5. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы - ОНТП 51-1-85
6. Завальный П.Н., Ревзин Б.С. Повышение эффективности использования центробежных нагнетателей ГПА в газотранспортных системах. Екатеринбург. УГТУ, 1999
7. Ревзин Б.С. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. М., Недра, 1991

Интернет ресурсы:

<http://www.aviamotor.ru/>

www.kmpo.ru