

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт энергетики и транспортных систем  
Кафедра «Компрессорная, вакуумная и холодильная техника»

Работа допущена к защите

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Ю.В. Кожухов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОППОЗИТНОГО ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКАХ $p_{НАГ}=2.32$ МПА, $V=59000$ НМ<sup>3</sup>/Ч**

Направление: 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»  
Образовательная программа: 13.04.03\_05 – Вакуумная и компрессорная  
техника физических установок

Выполнил  
студент гр.23242/41

Научный руководитель  
доц., к.т.н.

А.А. Лебедев

Санкт-Петербург

2019

## Оглавление

Ориентировочный расчет многоступенчатого компрессора .....	3
1. Термодинамический расчет компрессора .....	4
2. Динамический расчёт компрессора.....	13

## Ориентировочный расчет многоступенчатого компрессора

### Задание (исходные данные):

Показатель	Обозначение	Размерность	Значение	Примечание
газ	СН <sub>4</sub>	-	-	метан
Давление газа на всасывании	$p_n$	МПа	0,9	
Температура газа на всасывании	$T_n$	°К	283,5	10,5 °
Относительная влажность		%, O,	-	
Давление нагнетания (конечное)	$p_k, p_{наг}, p_{кон.}$	МПа	2,32	
Производительность на всасывании (объемная)	$V$	м <sup>3</sup> /мин	105,063	При условиях всасывания
Производительность на всасывании (объемная)	$V$	нм <sup>3</sup> /час	59000	При нормальных условиях 20°С 760 мм рт. столба
Привод компрессора				электродвигатель
Частота вращения двигателя	$n$	об/мин	1000	-
Мощность	$N$	кВт	3878	-
Число ступеней	$z$	-	1	-
Тип компрессора	оппозитный поршневой компрессор			JGZ4

## 1. Термодинамический расчет компрессора

Зная число ступеней, определим отношение давлений в ступенях

$$\Pi_0 = \frac{p_k}{p_n}, Z = \frac{\ln \Pi_0}{\ln \Pi_{ст}} \quad (1)$$

$$\Pi_0 = \frac{2,32}{0,9} = 2,578$$

Отношение давлений по ступеням

(2)

$$\Pi_{ст} = 2,578$$

**Рассмотрим теоретический процесс сжатия компрессора:**

Повышение давления в первой ступени

$$p_{2т} = p_{1т} \cdot \Pi_{ст} \quad (3)$$

$$p_{2т} = 0,9 \cdot 2,578 = 2.32 \text{ МПа}$$

**Рассмотрим действительный процесс сжатия компрессора:**

В действительном процессе в один момент происходят разнообразные тепловые и газодинамические процессы, влияющие на производительность и мощность компрессора. Интенсивность этих процессов в разных точках рабочей полости цилиндра отличается, а изменения происходят в течение одного оборота.

При работе компрессора, происходят гидравлические сопротивления потоку газа через клапаны и трубопроводы. Таким образом, давление газа в цилиндре во время всасывания меньше, чем во всасывающей трубке, что сказывается на производительности компрессора.

Потери давления на всасывание первой ступени

$$\Delta p_{всас}^{1ст} = \beta_{1ст1} \cdot p_{1т}^{1ст} \quad (4)$$

где  $\beta_{1ст1}$  - относительная потеря на всасывание в первую ступень.

Принимаем  $\beta_{1ст1} = 0,05$

$$\Delta p_{\text{всас}}^{1\text{ст}} = 0,05 \cdot 0,9 \cdot 10^6 = 45000 \text{ Па}$$

Во время процесса нагнетания, из-за потерь давления на сопротивление в нагнетательных клапанах, давление газа в цилиндре будет больше, чем давление в нагнетательном патрубке.

Потери давления на нагнетание первой ступени

$$\Delta p_{\text{нагн}}^{1\text{ст}} = \beta_{2\text{ст}1} \cdot p_{2\text{т}}^{1\text{ст}} \quad (5)$$

где  $\beta_{2\text{ст}1}$  - относительная потеря на нагнетание в первой ступени.

Принимаем  $\beta_{2\text{ст}1} = 0,04$

$$\Delta p_{\text{нагн}}^{1\text{ст}} = 0,04 \cdot 2,32 \cdot 10^6 = 92800 \text{ Па}$$

Тогда действительное давление газа на входе

$$p_{1\text{д}} = p_{1\text{т}}(1 - \beta_1) \quad (6)$$

Действительное давление газа на выходе

$$p_{2\text{д}} = p_{2\text{т}}(1 + \beta_2) \quad (7)$$

В таблице 1 представлено распределение давлений по ступеням при теоретическом и действительном процессах.

В таблице 2 представлены температуры при работе компрессора.

Таблица 1.

№ ступени	Теоретический процесс		Потери давления		Действительные давления газа на входе и выходе		Действительные отношения давлений в ступени
			Относительные (%), Абсолютные				$\Pi_{дi}$
I	$P_{1T}$	$P_{2T}$	$\beta_1 ; \Delta p_1 = \beta_1 P_{1T}$	$\beta_2 ; \Delta p_2 = \beta_2 P_{2T}$	$P_{1д} = P_{1T}(1 - \beta_1)$	$P_{2д} = P_{2T}(1 + \beta_2)$	$\Pi_{д} = \Pi_{ст}(1 + \beta_2)/(1 - \beta_1)$
	900000	2320000	45000	92800	855000	2412800	2,82

Таблица 2.

№ ступени	Температура на входе в ступень	$\lambda_{Ti}$ коэффициент подогрева	Температурный показатель политропы	$(n_t - 1)/n_t$	Температура нагнетания(°K)	Температура нагнетания(°C)
	$T_{H_i}$	0,025 для холодильных	$n_t$		$T_2 = (T_H / \lambda_{Ti}) \Pi_{д}^{(n_t - 1)/n_t}$	$t_2 = T_2 - 273$
I	$273 + t_h$ (°K)	$0,985 - c(\Pi_{дi} - 1)$	$\sigma_k * k$			
	283,5	0,967	1,248	0,199	360,368	87,368

Для охлаждаемых машин на первой ступени принимаем  $\sigma_k = 0,95$

$T_{\text{охл}} = 20$  °С- температура охлаждающей среды

$\Delta_t$ - недоохлаждение (для стационарных 5-10°; для машин кратковременного действия и с воздушным охлаждением 10...15°). Принимаем  $\Delta_t = 10^\circ$ .

На последующих ступенях  $1,01 < \sigma_k < 1,04$ . Принимаем  $\sigma_k = 1,01$ .

Температура нагнетания (°С) не должна быть выше 150°, для компрессоров кратковременного действия - 200°.

### Определение коэффициентов производительности по ступеням

$$\lambda_i = \lambda_{oi} \cdot \lambda_{di} \cdot \lambda_{gi} \cdot \lambda_{vli} \cdot \lambda_{недоисpi} \quad (8)$$

где  $\lambda_{oi} = 1 - a \cdot \left( \Pi^{\frac{1}{n_p}} - 1 \right)$  - объемный коэффициент производительности;

$a$  - относительное мертвое пространство:

- для крупных компрессоров 0,05...0,08
- для компрессоров малой производительности 0,08...0,15
- для ступеней высокого давления 0,12...0,3

Для первой ступени принимаем  $a_I = 0,15$ , а для последующих

$$a_i = a_I + 0,01 \cdot (i-1)$$

$$a_{II} = 0,15 + 0,01 \cdot (2-1) = 0,16$$

$$a_{III} = 0,15 + 0,01 \cdot (3-1) = 0,17$$

$n_p$  - показатель политропы расширения

$$n_p = 0,95 \cdot n_c \quad (9)$$

где  $n_c$  - показатель политропы сжатия

$$n_{ci} = n_{ci} + 0,015 \cdot (i-1) \cdot k \quad (10)$$

Величина  $n_{ci}$  находится из уравнения:

$$n_{ci} = \alpha \cdot k \quad (11)$$

где  $\alpha$ - коэффициент, значение которого изменяются от 0,92 до 1.

вместе с газом, которая затем удаляется. Естественно, что это снижает производительность компрессора.

$\lambda_{вл}$  - рассчитываем только для первой ступени, для остальных принимаем 1:

$$\lambda_{вл} = 1 - \varphi \frac{p_{нп}}{p_n} \cdot \frac{R_r}{R_{r+п}} \quad (12)$$

$p_{нп}$  – давление насыщенного пара при температуре  $T_n$ ,

$p_{r+п}$  – давление газо-паровой смеси при температуре  $T_n$ ,

$R_r$  универсальная газовая постоянная газа  $\left( R = 508,528 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}^\circ} \right)$ ,  $R_{r+п}$

универсальная газовая постоянная газо-паровой смеси газа  $\left( R_{r+п} = 508,528 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}^\circ} \right)$ .

$$\lambda_{вл} = 1$$

Коэффициент давления  $\lambda_{дi}$  учитывает влияние газодинамических сопротивлений линии всасывания на производительность ступени.

$$\lambda_{дi} = 1 - \frac{1 + a_i}{n_1 \cdot \lambda_{oi}} \cdot \beta_{li} \quad (13)$$

$$\lambda_{дi} = 1 - \frac{1 + 0,2749}{1,228 \cdot 0,633} \cdot 0,05 = 0,922$$

Тогда коэффициент производительности:

$$\lambda_1 = 0,633 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 0,999 \cdot 0,963 \cdot 0,922 = 0,533$$

### Определение массовой производительности.

Плотность газа перед всасывающим патрубком первой ступени дано из инструкции по эксплуатации газового хозяйства эн.бл.№4 ПГУ-450 Южной ТЭЦ:



Диаметр цилиндра первой ступени:

$$D_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (0,2822 + 0,0042)}{3,14}} = 0,429 \text{ м}$$

$S=171,45 \text{ мм}$  - ход поршня, задан по условию.

Скорректируем диаметры цилиндров до номинальных диаметров поршневых колец (Каталог Agiel). Тогда:

$$D_1 = 441 \text{ мм},$$

**Определение индикаторной мощности компрессора.**

Индикаторная мощность компрессора определяется по формуле:

$$N_{И} = \sum_{i=1}^2 N_{Иi} \tag{19}$$

где  $N_{Иi}$ -индикаторная мощность  $i$ -ой ступени

$$N_{Иi} = p_{нi} \cdot (1 - \chi_{1i}) \cdot \bar{V}_{hit} \cdot \left[ (1 + a_i) \cdot A_{ci} - a_i \cdot \Pi_{ци}^{\frac{1}{n_{pi}}} \cdot A_{pi} \right] \tag{20}$$

где  $p_{нi}$ - давление на всасывании в ступень,  $\chi_{1i}$ -средняя относительная потеря давления на всасывании в ступень;  $\bar{V}_{hi}$ -секундная теоретическая производительность ступени;  $a_i$ -относительная величина мертвого пространства в ступени;  $\Pi_{ци}$ - отношение давлений в цилиндре;  $A_{ci}, A_{pi}$ -величины определяемые по формуле.

Отношение давлений газа в цилиндрах:

$$\Pi_{ци} = \frac{p_{нi} \cdot (1 + \chi_{2i}^*)}{p_{вi} \cdot (1 - \chi_{1i})} \tag{21}$$

$$\Pi_{ци} = 2,714 \cdot \frac{(1 + 0,0384)}{(1 - 0,023)} = 2,88$$

Значение величин  $A_{ci}$  и  $A_{pi}$ :

Совершенство многоступенчатых компрессоров оценивается изотермным коэффициентом полезного действия

$$\eta_{из} = \frac{N_{из}}{N_k} \quad (27)$$

$$\eta_{из} = \frac{1,520}{2,488} = 0,611$$

### Определение мощности потребляемой компрессором:

$$N_k = \frac{N_{инд}}{\eta_{мех}} \quad (28)$$

где  $\eta_{мех}$  – механический коэффициент полезного действия компрессора.

Принимаем  $\eta_{мех} = 0,92$

$$N_k = \frac{2,289}{0,92} = 2,488 \text{ МВт}$$

## 2. Динамический расчёт компрессора

### Определение масс кривошипно-шатунного механизма

Рассмотрим механизм движения компрессора – коленчатый вал, шатун, крейцкопф, шток, поршень. Из них поршень, шток и крейцкопф совершают только возвратно-поступательное движение, коленчатый вал – вращательное, шатун – сложно-плоское движение, которое рассматривается как результат сложения двух движений: возвратно-поступательное вместе с шатуном и вращательное вместе с коленчатым валом. В связи с этим массу шатуна  $m_{ш}$  разбивают на две части:

$$m_{шПС} = 0,3 \cdot m_{ш} \quad (29)$$

$$m_{шВР} = 0,7 \cdot m_{ш} \quad (30)$$

Масса возвратно-поступательно движущихся частей:

$$m_S = m_{\Pi} + m_{\text{КР}} + m_{\text{ШГ}} + m_{\text{ШПС}} \quad (31)$$

где  $m_{\Pi}$  – масса поршня,  $m_{\text{КР}}$  – масса крейцкопфа,  $m_{\text{ШГ}}$  – масса штока, кг.

Масса вращающихся частей:

$$m_T = m_{\text{КВ}} + m_{\text{ШВР}} \quad (32)$$

где  $m_{\text{КВ}}$  – масса вращающихся частей коленчатого вала, кг.

Для более удобного и лучшего уравнивания необходимо сначала обеспечить равенство масс возвратно-поступательно движущихся частей двух рядов в пределах шейки вала. Оно осуществляется изготовлением подобных деталей и узлов из материалов различной плотности, а так же конструктивным методом.

При расчете масс от вращающихся частей необходимо учесть массу шатунов ( $m_{\text{Ш.ВР}}$ ) в пределах рассматриваемой шейки вала.

Определение составляющих инерционных масс осуществляют путем вычисления объема соответствующих частей по заранее выполненным чертежам и умножения его, на плотность соответствующе применяемого материала.

### Массы деталей:

Первая ступень:

1. Суммарная масса поршня ступени:  $m = 105,46$  кг.
2. Масса крейцкопфа –  $m = 108,4$  кг.
3. Суммарная масса штока:  $m = 42,43$  кг.
4. Шатун -  $m = 124,87$  кг.
5. Коленчатый вал  $m = 1225$  кг

Тогда для первой ступени первого ряда масса возвратно-поступательно движущихся частей

$$m_s = 147,89 + 42,43 + 108,4 + 18,7305 = 317,4505 \text{ кг}$$

Масса вращающихся частей первой ступени первого ряда:

$$m_r = 92,4 + 106,1395 = 198,5395 \text{ кг}$$

Для других рядов аналогично.

Остальные параметры

Радиус кривошипа  $r = 0,085725 \text{ м}$ ;

Угловая скорость вращения вала  $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = 104,7 \frac{1}{\text{с}}$ ;

Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна  $\lambda = 0,228$ .

### Определение действующих сил

Процесс работы компрессора сопровождается действием газовых сил (со стороны крышки  $P_{ГК}$  и со стороны вала  $P_{ГВ}$ ), сил трения  $P_{ТР}$  и суммарной силой инерции  $I_s$ , характеризующих значение суммарной поршневой силы  $-P_{\Sigma}$ .

Значения составляющих суммарной силы непостоянны и зависят от вращения вала. Составляющие  $P_{\Sigma}$ : сила, действующая вдоль шатуна  $P_{Ш}$  и сила, действующая нормально к оси ряда  $N$ , которая раскладывается на тангенциальную силу  $P_t$ , действующую перпендикулярно оси кривошипа, и на силу направленную по кривошипу  $P_r$ .

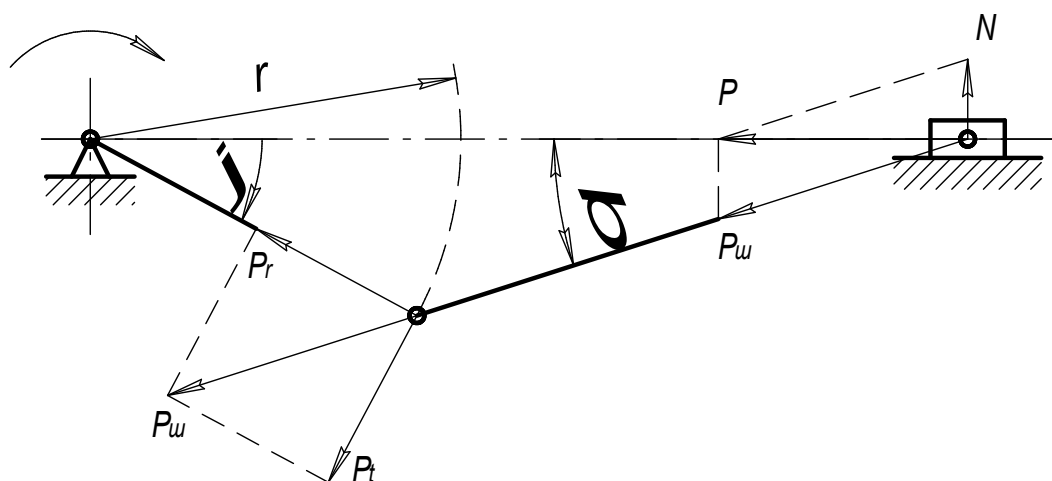


Рис.1. Схема действующих сил

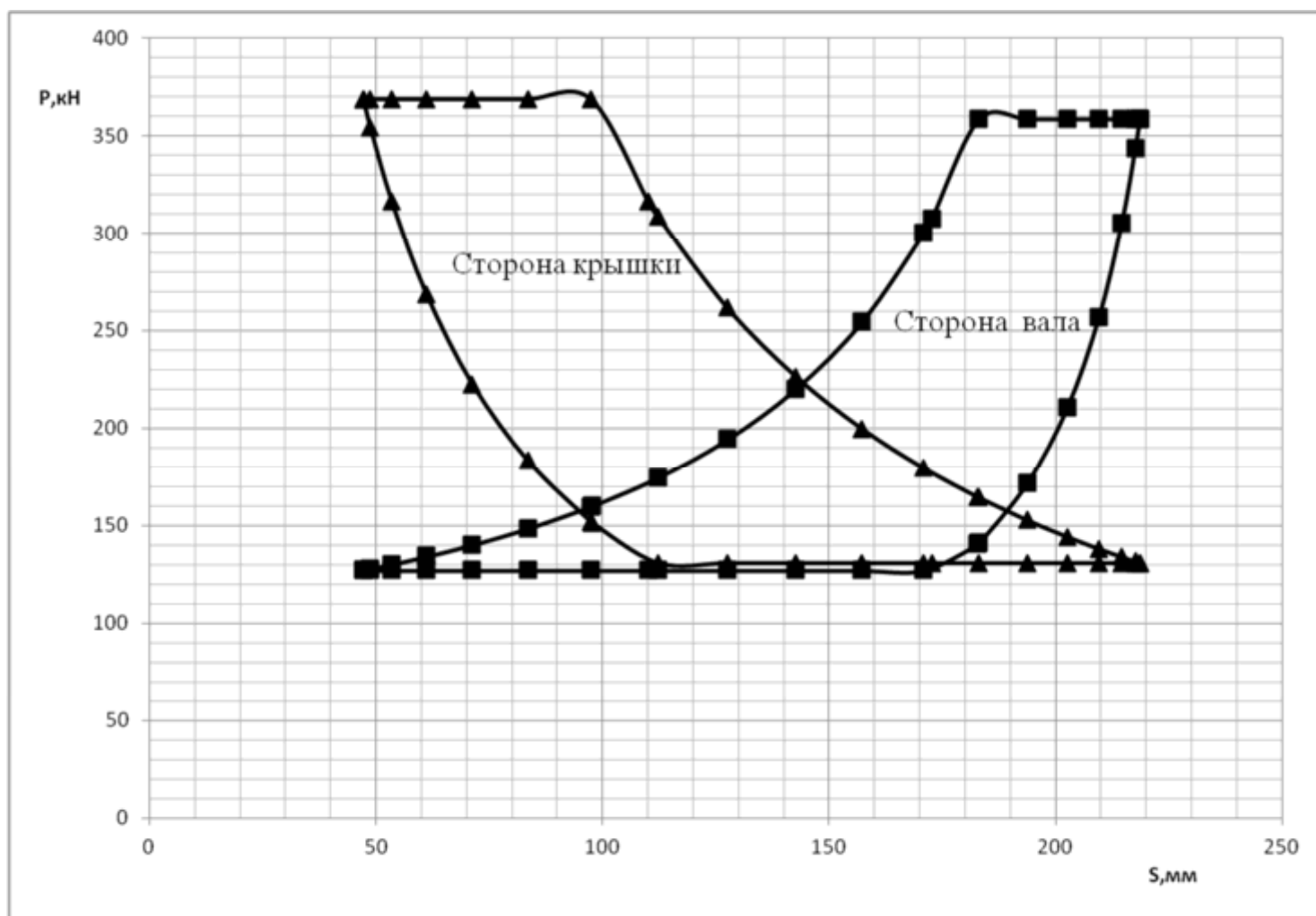


Рис.2. Индикаторная диаграмма полостей первой ступени

### Построение силовых диаграмм

Выполним построение диаграмм поршневых сил. По оси ординат будем откладывать усилия вдоль оси ряда P, а по оси абсцисс – угол поворота коленчатого вала  $\varphi = \omega \cdot t$ . При перенесении усилий с индикаторных диаграмм на силовую диаграмму учтем поправку Брикса  $e$ , введение которой приводит в соответствие углы поворота коленчатого вала и перемещения поршня. На силовые диаграммы наносят также силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс и силы трения в цилиндрово-поршневой группе.

Значение силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс для одного ряда (т. к. значения сил определяются для каждого ряда отдельно) определяется по формуле:

$$I_s = m_s \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi) \quad (38)$$

$$I_s (\varphi = 10) = 275,02 \cdot 0,085725 \cdot 104,72^2 \cdot (\cos 10 + 0,155 \cdot \cos (2 \cdot 10)) = 258,541 \text{ кН}$$

Силы трения в рядах полагают постоянными по модулю и меняющими знак в мертвых точках. Для их расчета воспользуемся следующей формулой:

$$P_{\text{ТР}} = \frac{0,6 \cdot N_{\text{иi}} \cdot (1 - \eta_{\text{МЕХ}})}{2 \cdot S \cdot n_0 \cdot \eta_{\text{МЕХ}}} \quad (39)$$

где  $i$  – номер ряда.

$$P_{\text{ТР.1}} = \frac{0,6 \cdot 1632610,354 / 2 \cdot (1 - 0,92)}{2 \cdot 0,1842 \cdot 12,5 \cdot 0,92} \cdot 10^{-3} = 2,612 \text{ кН}$$

Тогда, с учетом направления действующих сил (газовые силы со стороны крышки – отрицательные, картерные силы – положительные), суммарная поршневая сила равна:

$$P_{\Sigma.1} (\varphi = 10^\circ) = 281,174 \text{ кН}$$

Следующим этапом является определение составляющих суммарной поршневой силы по данным формулам:

Нормальные силы, действующие на стенки цилиндра, определяются по формуле:

$$N = P_{\Sigma} \cdot \text{tg} \beta \quad (40)$$

где  $\beta$  – угол между осями цилиндра и шатуна определяется по формуле:

$$\sin \beta = \lambda \cdot \sin \varphi \quad (41)$$

Для первой ступени

$$N_1 = 86,67 \cdot \text{tg} 1,542 = 3,439 \text{ кН}$$

Усилия по шатуну определяются по формуле:

$$P_{\text{Ш}} = \frac{P_{\Sigma}}{\cos \beta} \quad (42)$$

Таблица 3. Значения действующих сил в первой ступени

φ	β	S	Рг.расш	Рг.сж.	IsI	Ртр	РΣ	N	Рш	Pt	Pr	Q
град		мм	кН									
0	0,000	47,132	-368,543	127,016	317,565	2,612	78,649	0	78,649	0	78,649	21,131
10	2,272	48,732	-353,795	127,775	310,078	2,612	86,670	3,439	86,738	18,436	84,756	23,782
20	4,478	53,442	-316,035	130,096	288,164	2,612	104,837	8,21	105,158	43,572	95,706	43,762
30	6,554	61,062	-268,484	134,115	253,415	2,612	121,658	13,977	122,459	72,934	98,371	72,948
40	8,438	71,232	-222,368	140,087	208,303	2,612	128,634	19,082	130,041	97,302	86,273	98,235
50	10,072	83,492	-183,105	148,401	155,938	2,612	123,846	21,998	125,785	109,012	62,756	115,128
60	11,403	97,332	-151,779	159,600	99,759	2,612	110,192	22,225	112,411	106,541	35,849	124,25
60,22817	11,430	97,662	-151,152	159,903	98,46	2,612	109,823	22,204	112,046	106,354	35,259	124,395
70	12,388	112,182	-130,597	174,475	43,211	2,612	89,701	19,702	91,84	91,031	12,165	126,345
80	12,993	127,462	-130,597	194,131	-10,569	2,612	55,577	12,824	57,038	56,96	-2,978	117,489
90	13,197	142,642	-130,597	220,068	-59,024	2,612	33,059	7,752	33,956	33,059	-7,752	112,499
100	12,993	157,232	-130,597	254,381	-100,359	2,612	26,037	6,008	26,721	24,598	-10,438	112,929
110	12,388	170,822	-130,597	299,846	-133,641	2,612	38,220	8,395	39,131	33,044	-20,961	125,181
111,405	12,272	172,622	-130,597	307,340	-137,657	2,612	41,698	9,07	42,673	35,511	-23,663	128,449
120	11,403	183,062	-130,597	358,436	-158,783	2,612	71,668	14,455	73,112	54,84	-48,353	157,958
130	10,072	193,702	-130,597	358,436	-176,436	2,612	54,015	9,594	54,861	35,211	-42,07	146,155
140	8,438	202,572	-130,597	358,436	-187,805	2,612	42,646	6,326	43,113	22,566	-36,735	138,368
150	6,554	209,542	-130,597	358,436	-194,391	2,612	36,060	4,143	36,298	14,442	-33,301	133,862
160	4,478	214,552	-130,597	358,436	-197,734	2,612	32,717	2,562	32,818	8,782	-31,621	131,694
170	2,272	217,572	-130,597	358,436	-199,149	2,612	31,302	1,242	31,327	4,213	-31,042	130,89
180	0,000	218,582	-130,597	358,436	-199,517	2,612	30,934	0	30,934	0	-30,934	130,714

Продолжение таблицы 3. Значения действующих сил в первой ступени.

Сжатие												
φ	β	S	Рг.расш	Рг.сж.	IsI	Ртр	РΣ	N	Рш	Pt	Pr	Q
град		мм	кН									
180	0,000	218,582	358,436	-130,597	-199,517	-2,612	25,710	0	25,71	0	-25,71	125,49
190	-2,272	217,572	343,354	-131,378	-199,149	-2,612	10,215	-0,405	10,223	-1,375	-10,13	109,919
200	-4,478	214,552	304,891	-133,764	-197,734	-2,612	-29,219	2,288	-29,308	7,843	28,239	71,97
210	-6,554	209,542	256,804	-137,897	-194,391	-2,612	-78,096	8,972	-78,61	31,278	72,12	41,754
220	-8,438	202,572	210,595	-144,037	-187,805	-2,612	-123,859	18,374	-125,214	65,54	106,692	65,903
230	-10,072	193,702	171,646	-152,585	-176,436	-2,612	-159,987	28,417	-162,492	104,291	124,607	107,205
240	-11,403	183,062	140,883	-164,100	-158,783	-2,612	-184,612	37,234	-188,33	141,262	124,552	143,418
240,2282	-11,430	182,792	140,270	-164,412	-158,296	-2,612	-185,050	37,413	-188,794	142,047	124,361	144,158
250	-12,388	170,822	127,016	-179,395	-133,641	-2,612	-188,632	41,432	-193,129	163,086	103,45	163,127
260	-12,993	157,232	127,016	-199,605	-100,359	-2,612	-175,561	40,509	-180,173	165,859	70,379	168,445
270	-13,197	142,642	127,016	-226,274	-59,024	-2,612	-160,894	37,728	-165,258	160,894	37,728	172,445
280	-12,993	127,462	127,016	-261,554	-10,569	-2,612	-147,719	34,085	-151,6	151,393	7,916	177,084
290	-12,388	112,182	127,016	-308,301	43,211	-2,612	-140,686	30,901	-144,04	142,771	-19,08	185,772
291,405	-12,272	110,052	127,016	-316,006	51,056	-2,612	-140,546	30,572	-143,833	142,01	-22,83	187,617
300	-11,403	97,332	127,016	-368,543	99,759	-2,612	-144,381	29,12	-147,288	139,597	-46,972	202,543
310	-10,072	83,492	127,016	-368,543	155,938	-2,612	-88,202	15,667	-89,582	77,637	-44,693	164,012
320	-8,438	71,232	127,016	-368,543	208,303	-2,612	-35,837	5,316	-36,229	27,108	-24,035	126,748
330	-6,554	61,062	127,016	-368,543	253,415	-2,612	9,275	-1,066	9,336	-5,56	7,5	92,447
340	-4,478	53,442	127,016	-368,543	288,164	-2,612	44,024	-3,448	44,159	-18,297	40,19	62,336
350	-2,272	48,732	127,016	-368,543	310,078	-2,612	65,938	-2,616	65,99	-14,026	64,482	37,983
360	0,000	47,132	127,016	-368,543	317,565	-2,612	73,425	0	73,425	0	73,425	26,355



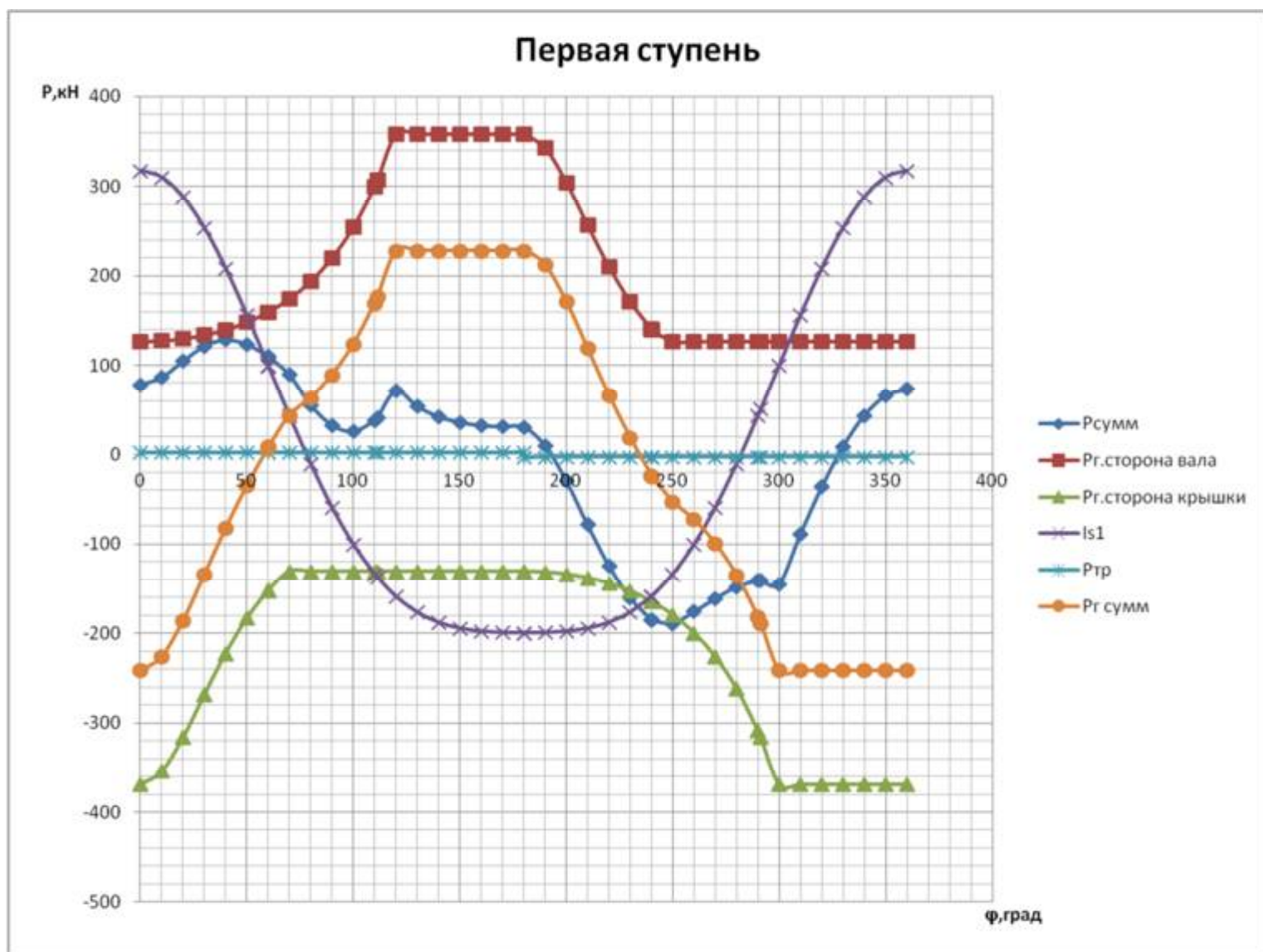


Рис.4.Силовая диаграмма первой ступени

### Построение кривой противодействующего момента

В рабочих полостях компрессора происходит изменение давления газа и, следовательно, сил, действующих на поршни со стороны газа, при вращении вала. Переменным в этом случае будут также силы инерции и силы трения поршней о стенки цилиндров, вызывая противодействующий момент на валу компрессора, изменяя угловую скорость вращения вала.

Данная кривая рассчитывается согласно следующей зависимости для каждого ряда отдельно:

$$M_i = \frac{P_{\Sigma i} \cdot r \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\beta)} \quad (47)$$

Построив диграммы моментов, проводится их суммирование, смещая диграммы относительно друг друга в соответствии с углами смещения колен вала (рассмотрим 90 градусов) и углами развала цилиндров (в нашем случае он равен 180 градусов), и построим кривую суммарного момента путем алгебраического сложения соответствующих ординат. Также учитывается момент трения:

Учет момента  $M_{TP,R}$  производится смещением оси абсцисс вниз на соответствующую величину.

Расчет по положению угла кривошипа приведен в таблицах 6 и 7.

Диаграммы противодействующего момента при разных развалах колен (90 градусов) представлены на рис.5 и 6.

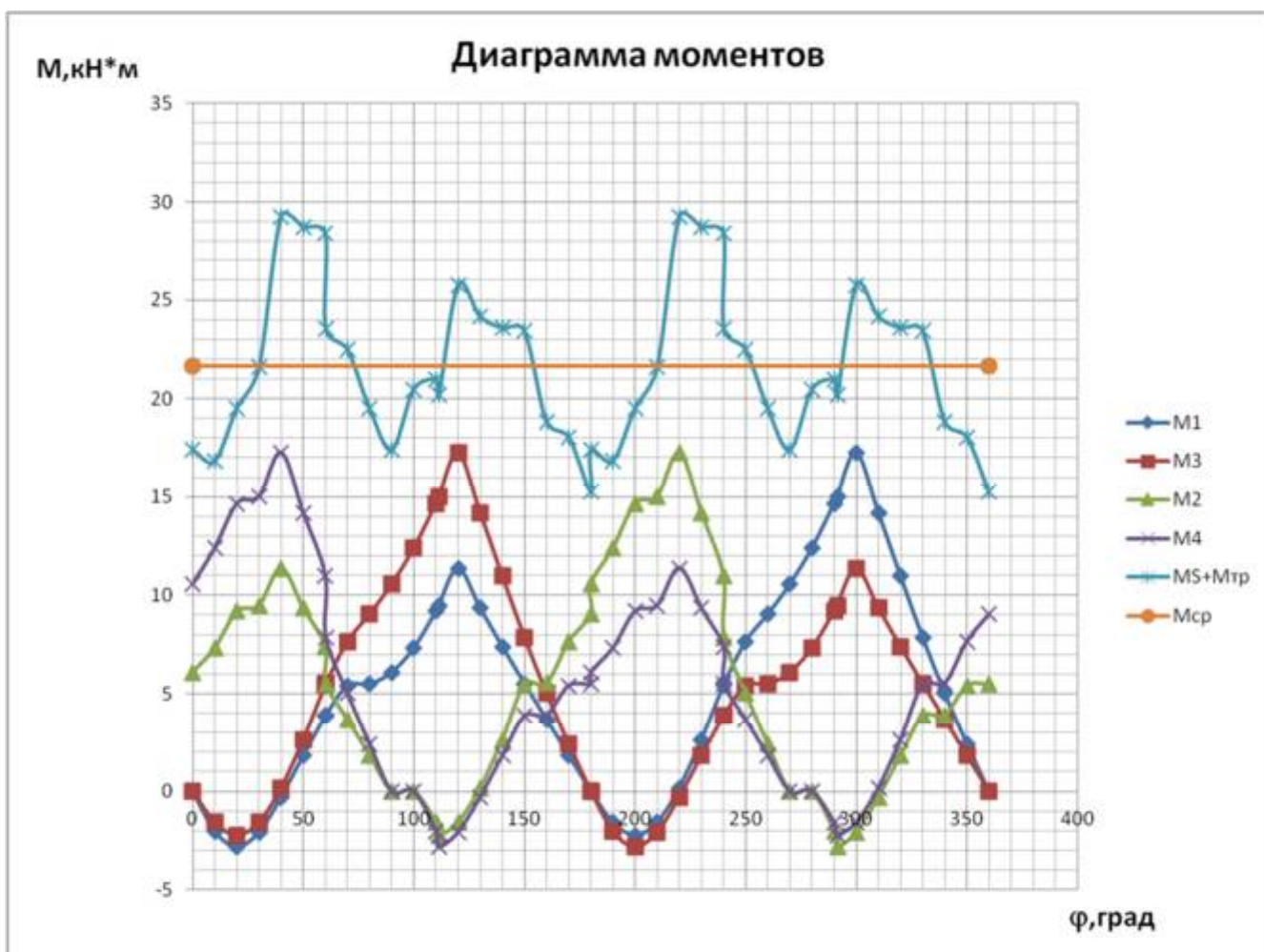


Рис.5. Диаграмма противодействующего момента при развале колен 90°.



Рис.6. Диаграмма нормальных сил при развале колен 90 градусов

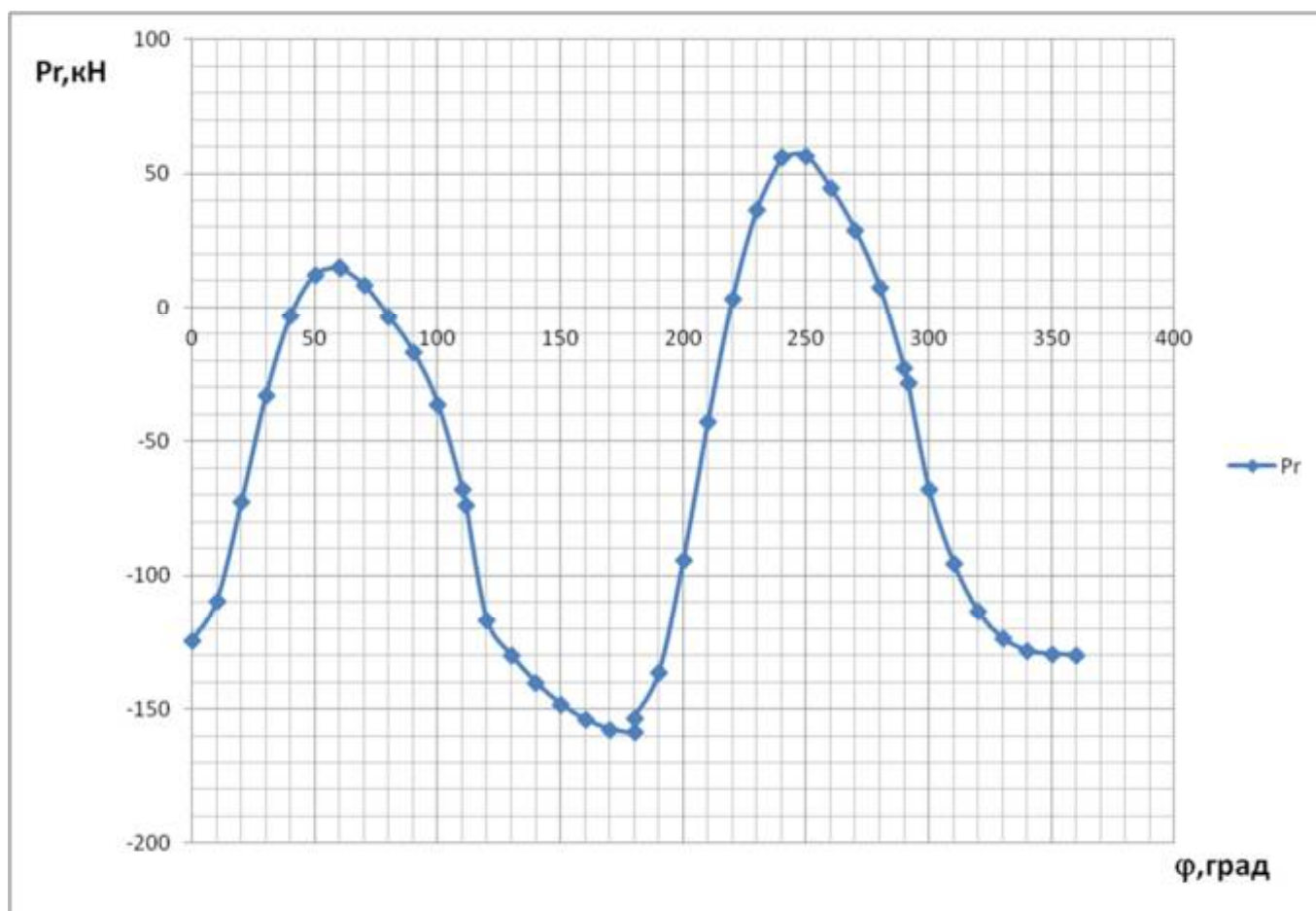


Рис.7. Диаграмма радиальных сил при развале колен 90 градусов

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

ТАБЛИЦА  
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА, ВАРИАНТ

НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ
1. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ УСЛОВИЯХ ВСАСЫВАНИЯ, М.КУБ/С	9.343E-0001
2. ПОДАЧА ПО СУХОМУ ГАЗУ, М.КУБ/С	8.143E+0000
3. МАССОВАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, КГ/С	5.943E+0000
4. МОЩНОСТЬ НА ВАЛУ, КВТ	2.711E+0003
5. НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ	2.288E+0003
6. ИНДИКАТОРНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ	2.494E+0003
7. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, КВТ	2.060E+0002
8. ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ	7.858E+0002
9. УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ/ М.КУБ/С	2.902E+0003
10. ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩИЙ МОМЕНТ НА ВАЛУ, Н.М	2.657E+0004
11. МОЩНОСТЬ НА ВАЛУ ПО ДИАГРАММЕ МОМЕНТА, КВТ	2.771E+0003
12. МОМЕНТ СИЛ ТРЕНИЯ, Н.М	8.318E+0002
13. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАГРУЗКИ БАЗЫ ПО ГАЗОВОЙ СИЛЕ	6.206E-0001
14. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАГРУЗКИ БАЗЫ ПО СУММАРНОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛЕ	9.377E-0001
15. ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОРНЫЙ К.П.Д.	3.150E-0001
16. АДИАБАТИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОРНЫЙ К.П.Д.	9.174E-0001
17. ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ К.П.Д.	2.898E-0001
18. АДИАБАТИЧЕСКИЙ К.П.Д.	8.440E-0001

ТАБЛИЦА

ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ПО СТУПЕНЯМ, ВАРИАНТ

НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СТУПЕНИ	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ
	1
1. НОМИНАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ВСАСЫВАНИЯ, Па	9.000E+0005
2. ДАВЛЕНИЕ ВСАСЫВАНИЯ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ, Па	8.522E+0005
3. ДАВЛЕНИЕ НАГНЕТАНИЯ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ, Па	2.399E+0006
4. ТЕМПЕРАТУРА НАГНЕТАНИЯ, К	3.555E+0002
5. НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ	2.288E+0003
6. ИНДИКАТОРНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ	2.494E+0003
7. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, КВТ	2.060E+0002
8. ОТНОСИТ. ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ НА ВСАСЫВАНИИ	5.313E-0002
9. ОТНОСИТ. ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ НА НАГНЕТАНИИ	3.390E-0002
10. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ	9.179E-0001
11. ОБЪЕМНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ	6.917E-0001
12. КОЭФФИЦИЕНТ ДАВЛЕНИЯ	9.964E-0001

13. КОЭФФИЦИЕНТ НАПОЛНЕНИЯ	6.327E-0001
14. КОЭФФИЦИЕНТ ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ	1.000E+0000
15. КОЭФФИЦИЕНТ УТЕЧЕК	2.289E+0000
16. УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ ГАЗА ПРИ ВСАСЫВАНИИ, М.КУБ/КГ	1.570E-0001
17. УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ ГАЗА ПРИ НАГНЕТАНИИ, М.КУБ/КГ	7.622E-0002
18. КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ ПРИ ВСАСЫВАНИИ	9.800E-0001
19. КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ ПРИ НАГНЕТАНИИ	9.781E-0001
20. ОБЪЕМ, ОПИСАННЫЙ ПОРШНЕМ, М.КУБ/С	3.381E+0000

ТАБЛИЦА

ПАРАМЕТРЫ КОМПРЕССОРА ПО РЯДАМ , ВАРИАНТ

НАИМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РЯДА	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ
-------------------------------	-----------------------



3	4	1	2
1. МАКСИМАЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ СИЛА ПРИ ХОДЕ К КРЫШКЕ, Н	2.296E+0005   -2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005
2. МАКСИМАЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ СИЛА ПРИ ХОДЕ К ВАЛУ, Н	2.296E+0005   2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
3. АМПЛИТУДА СУММАРНОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛЫ, Н	2.813E+0005   2.813E+0005	2.813E+0005	2.813E+0005
4. МАКСИМАЛЬНАЯ СУММАРНАЯ ПОРШНЕВАЯ СИЛА, Н	3.059E+0005   3.059E+0005	3.059E+0005	3.059E+0005
5. МИНИМАЛЬНАЯ СУММАРНАЯ ПОРШНЕВАЯ СИЛА, Н	2.567E+0005   -2.567E+0005	-2.567E+0005	-2.567E+0005
6. МАКСИМАЛЬНАЯ СИЛА ИНЕРЦИИ, Н	4.843E+0005   4.843E+0005	4.843E+0005	4.843E+0005
7. АМПЛИТУДА СУММАРНОЙ ПОРШНЕВОЙ СИЛЫ В СОЕДИНЕНИИ ШТОК-КРЕЙЦКОПФ, Н	1.826E+0005   1.826E+0005	1.826E+0005	1.826E+0005
8. СИЛА ТРЕНИЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ, Н	5.716E+0003   5.716E+0003	5.716E+0003	5.716E+0003
9. УГОЛ СМЕЩЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ВМТ В РЯДАХ ОТНОСИТЕЛЬНО ВМТ ПЕРВОГО РЯДА, ГРАД	9.000E+0001   9.000E+0001	0.000E+0000	0.000E+0000

ТАБЛИЦА

ПРОТИВОДЕЙСТВУЮЩИЙ МОМЕНТ НА ВАЛУ

УГОЛ ПОВОРОТА ВАЛА, ГРАД	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ, Н.М
0	1.358E+0004
15	2.580E+0004
30	3.123E+0004

45	3.494E+0004
60	3.203E+0004
75	2.146E+0004
90	1.358E+0004
105	1.418E+0004
120	1.249E+0004
135	2.002E+0004
150	3.024E+0004
165	3.840E+0004
180	3.588E+0004
195	3.201E+0004
210	2.716E+0004
225	1.830E+0004
240	1.891E+0004
255	2.863E+0004
270	3.588E+0004
285	4.363E+0004
300	4.590E+0004
315	3.322E+0004
330	2.070E+0004
345	1.170E+0004

ТАБЛИЦА

СУММАРНАЯ ПОРШНЕВАЯ СИЛА

УГОЛ ПОВОРОТА ВАЛА,	ОТНОСИТЕЛЬ- ГРАД ПОРШНЯ	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ В РЯДУ, Н			
		1	2	3	ХОД 4

0	0.000	2.792E+0005	2.792E+0005	2.792E+0005
15	0.021	3.019E+0005	3.019E+0005	3.019E+0005
30	0.081	3.045E+0005	3.045E+0005	3.045E+0005
45	0.175	2.732E+0005	2.732E+0005	2.732E+0005
60	0.293	2.136E+0005	2.136E+0005	2.136E+0005
75	0.424	1.308E+0005	1.308E+0005	1.308E+0005
90	0.557	7.435E+0004	7.435E+0004	7.435E+0004
105	0.683	5.538E+0004	5.538E+0004	5.538E+0004
120	0.793	-6.823E+0003	-6.823E+0003	-6.823E+0003
135	0.882	-4.354E+0004	-4.354E+0004	-4.354E+0004
150	0.947	-6.126E+0004	-6.126E+0004	-6.126E+0004
165	0.987	-6.775E+0004	-6.775E+0004	-6.775E+0004
180	1.000	-9.935E+0004	-9.935E+0004	-9.935E+0004
195	0.987	-1.368E+0005	-1.368E+0005	-1.368E+0005
210	0.947	-1.827E+0005	-1.827E+0005	-1.827E+0005

225	0.882	-2.327E+0005	-2.327E+0005	-2.327E+0005	-2.327E+0005
240	0.793	-2.562E+0005	-2.562E+0005	-2.562E+0005	-2.562E+0005
255	0.683	-2.565E+0005	-2.565E+0005	-2.565E+0005	-2.565E+0005
270	0.557	-2.044E+0005	-2.044E+0005	-2.044E+0005	-2.044E+0005
285	0.424	-1.506E+0005	-1.506E+0005	-1.506E+0005	-1.506E+0005
300	0.293	-8.310E+0004	-8.310E+0004	-8.310E+0004	-8.310E+0004
315	0.175	4.354E+0004	4.354E+0004	4.354E+0004	4.354E+0004
330	0.081	1.512E+0005	1.512E+0005	1.512E+0005	1.512E+0005
345	0.021	2.235E+0005	2.235E+0005	2.235E+0005	2.235E+0005

ТАБЛИЦА

СУММАРНАЯ ГАЗОВАЯ СИЛА

УГОЛ ПОВОРОТА ВАЛА,	ОТНОСИТЕЛЬ- ГРАД ПОРШНЯ	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ В РЯДУ, Н ХОД			
		1	2	3	4
0	0.000	-2.108E+0005	-2.108E+0005	-2.108E+0005	-2.108E+0005
15	0.021	-1.627E+0005	-1.627E+0005	-1.627E+0005	-1.627E+0005

30	0.081	-8.771E+0004	-8.771E+0004	-8.771E+0004	-8.771E+0004
45	0.175	-1.144E+0004	-1.144E+0004	-1.144E+0004	-1.144E+0004
60	0.293	5.568E+0004	5.568E+0004	5.568E+0004	5.568E+0004
75	0.424	1.009E+0005	1.009E+0005	1.009E+0005	1.009E+0005
90	0.557	1.586E+0005	1.586E+0005	1.586E+0005	1.586E+0005
105	0.683	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
120	0.793	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
135	0.882	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
150	0.947	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
165	0.987	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005	2.296E+0005
180	1.000	2.108E+0005	2.108E+0005	2.108E+0005	2.108E+0005
195	0.987	1.720E+0005	1.720E+0005	1.720E+0005	1.720E+0005
210	0.947	1.196E+0005	1.196E+0005	1.196E+0005	1.196E+0005
225	0.882	5.185E+0004	5.185E+0004	5.185E+0004	5.185E+0004

240	0.793	-8.316E+0003	-8.316E+0003	-8.316E+0003	-8.316E+0003
255	0.683	-7.082E+0004	-7.082E+0004	-7.082E+0004	-7.082E+0004
270	0.557	-1.088E+0005	-1.088E+0005	-1.088E+0005	-1.088E+0005
285	0.424	-1.691E+0005	-1.691E+0005	-1.691E+0005	-1.691E+0005
300	0.293	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005
315	0.175	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005
330	0.081	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005
345	0.021	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005	-2.296E+0005

ТАБЛИЦА

СИЛЫ ИНЕРЦИИ

УГОЛ ПОВОРОТА ВАЛА,	ОТНОСИТЕЛЬ- ГРАД ПОРШНЯ	ЧИСЛОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ В РЯДУ, Н			
		1	2	3	4
0	0.000	4.843E+0005	4.843E+0005	4.843E+0005	
15	0.021	4.588E+0005	4.588E+0005	4.588E+0005	
30	0.081	3.865E+0005	3.865E+0005	3.865E+0005	

45	0.175	2.789E+0005	2.789E+0005	2.789E+0005
2.789E+0005				
60	0.293	1.522E+0005	1.522E+0005	1.522E+0005
1.522E+0005				
75	0.424	2.420E+0004	2.420E+0004	2.420E+0004
2.420E+0004				
90	0.557	-8.992E+0004	-8.992E+0004	-8.992E+0004
8.992E+0004				
105	0.683	-1.800E+0005	-1.800E+0005	-1.800E+0005
1.800E+0005				
120	0.793	-2.422E+0005	-2.422E+0005	-2.422E+0005
2.422E+0005				
135	0.882	-2.789E+0005	-2.789E+0005	-2.789E+0005
2.789E+0005				
150	0.947	-2.966E+0005	-2.966E+0005	-2.966E+0005
2.966E+0005				
165	0.987	-3.031E+0005	-3.031E+0005	-3.031E+0005
3.031E+0005				
180	1.000	-3.045E+0005	-3.045E+0005	-3.045E+0005
3.045E+0005				
195	0.987	-3.031E+0005	-3.031E+0005	-3.031E+0005
3.031E+0005				
210	0.947	-2.966E+0005	-2.966E+0005	-2.966E+0005
2.966E+0005				
225	0.882	-2.789E+0005	-2.789E+0005	-2.789E+0005
2.789E+0005				
240	0.793	-2.422E+0005	-2.422E+0005	-2.422E+0005
2.422E+0005				
255	0.683	-1.800E+0005	-1.800E+0005	-1.800E+0005
1.800E+0005				

270	0.557	-8.992E+0004	-8.992E+0004	-8.992E+0004	-8.992E+0004
285	0.424	2.420E+0004	2.420E+0004	2.420E+0004	2.420E+0004
300	0.293	1.522E+0005	1.522E+0005	1.522E+0005	1.522E+0005
315	0.175	2.789E+0005	2.789E+0005	2.789E+0005	2.789E+0005
330	0.081	3.865E+0005	3.865E+0005	3.865E+0005	3.865E+0005
345	0.021	4.588E+0005	4.588E+0005	4.588E+0005	4.588E+0005

ПЕЧАТЬ С ШАГОМ ЧЕРЕЗ 15 ГРАДУСОВ :

1 - Й Р Я Д

СЖАТИЕ SCM2= 6.710E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPM2= 6.847E-0001 LVM2 = 6.917E-0001  
FM2 = 1.485E-0001

ЗНАЧЕНИЯ PM2:

1.336E+0005	1.458E+0005	1.579E+0005	1.700E+0005	1.900E+0005	2.274E+0005
2.851E+0005	3.562E+0005				
3.562E+0005	3.562E+0005	3.562E+0005	3.562E+0005	3.445E+0005	3.157E+0005
2.733E+0005	2.157E+0005				
1.656E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005
1.265E+0005	1.265E+0005				

СЖАТИЕ SCN2= 3.290E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPN2= 3.153E-0001 LVN2 = 6.917E-0001  
FN2 = 1.485E-0001

ЗНАЧЕНИЯ PN2:

3.445E+0005	3.084E+0005	2.456E+0005	1.815E+0005	1.344E+0005	1.265E+0005
1.265E+0005	1.265E+0005				
1.265E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005	1.265E+0005	1.336E+0005	1.437E+0005
1.538E+0005	1.638E+0005				
1.739E+0005	1.974E+0005	2.353E+0005	2.956E+0005	3.562E+0005	3.562E+0005
3.562E+0005	3.562E+0005				

NIND = 6.236E+0002

2 - Й Р Я Д

СЖАТИЕ SCM2= 6.710E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPM2= 6.847E-0001 LVM2 = 6.917E-0001  
FM2 = 1.485E-0001

ЗНАЧЕНИЯ PM2:

1.336E+0005	1.458E+0005	1.579E+0005	1.700E+0005	1.900E+0005	2.274E+0005
2.851E+0005	3.562E+0005				



3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.445E+0005 3.157E+0005  
 2.733E+0005 2.157E+0005  
 1.656E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 СЖАТИЕ SCN2= 3.290E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPN2= 3.153E-0001 LVN2 = 6.917E-0001  
 FN2 = 1.485E-0001  
 ЗНАЧЕНИЯ PN2:  
 3.445E+0005 3.084E+0005 2.456E+0005 1.815E+0005 1.344E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.336E+0005 1.437E+0005  
 1.538E+0005 1.638E+0005  
 1.739E+0005 1.974E+0005 2.353E+0005 2.956E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005  
 3.562E+0005 3.562E+0005  
 NIND = 6.236E+0002

3 - Й Р Я Д

СЖАТИЕ SCM2= 6.710E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPM2= 6.847E-0001 LVM2 = 6.917E-0001  
 FM2 = 1.485E-0001  
 ЗНАЧЕНИЯ PM2:  
 1.336E+0005 1.458E+0005 1.579E+0005 1.700E+0005 1.900E+0005 2.274E+0005  
 2.851E+0005 3.562E+0005  
 3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.445E+0005 3.157E+0005  
 2.733E+0005 2.157E+0005  
 1.656E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 СЖАТИЕ SCN2= 3.290E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPN2= 3.153E-0001 LVN2 = 6.917E-0001  
 FN2 = 1.485E-0001  
 ЗНАЧЕНИЯ PN2:  
 3.445E+0005 3.084E+0005 2.456E+0005 1.815E+0005 1.344E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.336E+0005 1.437E+0005  
 1.538E+0005 1.638E+0005  
 1.739E+0005 1.974E+0005 2.353E+0005 2.956E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005  
 3.562E+0005 3.562E+0005  
 NIND = 6.236E+0002

4 - Й Р Я Д

СЖАТИЕ SCM2= 6.710E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPM2= 6.847E-0001 LVM2 = 6.917E-0001  
 FM2 = 1.485E-0001  
 ЗНАЧЕНИЯ PM2:  
 1.336E+0005 1.458E+0005 1.579E+0005 1.700E+0005 1.900E+0005 2.274E+0005  
 2.851E+0005 3.562E+0005  
 3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005 3.445E+0005 3.157E+0005  
 2.733E+0005 2.157E+0005  
 1.656E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 СЖАТИЕ SCN2= 3.290E-0001 РАСШИРЕНИЕ SPN2= 3.153E-0001 LVN2 = 6.917E-0001  
 FN2 = 1.485E-0001  
 ЗНАЧЕНИЯ PN2:  
 3.445E+0005 3.084E+0005 2.456E+0005 1.815E+0005 1.344E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005  
 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.265E+0005 1.336E+0005 1.437E+0005  
 1.538E+0005 1.638E+0005  
 1.739E+0005 1.974E+0005 2.353E+0005 2.956E+0005 3.562E+0005 3.562E+0005  
 3.562E+0005 3.562E+0005  
 NIND = 6.236E+0002

РАЗЛОЖЕНИЕ В РЯД ФУРЬЕ КРИВОЙ МКР:

M0 = 2.657E+0004 M1 = 5.163E+0003 M2 = 3.737E-0007 M3 = 1.262E+0004 M4 = 2.336E+0003  
PSI1 = 1.879E+0002 PSI2 = 1.004E+0002 PSI3 = -5.914E+0001  
PSI4 = -1.756E+0001

## Газодожимной компрессор «Ariel JGZ/4»

### 1. Принцип работы

Компрессор представляет собой оборудование, состоящее из рамы и цилиндров: вращательное движение электродвигателя, преобразуется в поступательное движение поршня при помощи шатуна, установленного на коленчатом вале компрессора. Шатун поддерживается крейцкопфом, установленным в направляющей крейцкопфа. Шток поршня, соединенный с крейцкопфом с одной стороны и с поршнем с другой, проходит через набивку, которая обеспечивает уплотнение во время процесса компримирования (относится только к полости, соединенной с кривошипом).

Процесс компримирования включает в себя следующие этапы: газ поступает в цилиндр, когда поршень заходит внутрь цилиндра. Клапаны на всасе пропускают газ внутрь и предотвращают выход газа во время хода сжатия.

Максимальный рабочий объем цилиндра обеспечивается при полностью выдвинутом поршне.

Когда поршень начнет движение в противоположном направлении, начнется процесс компримирования газа за счет сокращения объема. При повышении давления клапан на всасе закрывается, и когда значение давления станет выше уставки клапанов на нагнетании, газ подается в линию нагнетания. Поршень

продолжает движение до тех пор, пока объем не сокращается до минимума. Затем эта последовательность действий повторяется.

## 2. Техническая характеристика газодожимных компрессоров.

Рабочие характеристики компрессора		
Объемный расход, Нм <sup>3</sup> /ч		59000
Параметры на всасе	Давление, МПа	От 0,59 до 1,20
	Температура, С°	10,5
	Ср/Сv	1,346
	Сжимаемость	0,9692
	Расход объемный	4681

Параметры на нагнетании	Давление, МПа	2,32
	Температура, С°	76-139
	Ср/Сv	1,346
	Степень сжатия	3,7

Скорость, об/мин	1000
Вид привода	электродвигатель
Число цилиндров	4
Номинальная мощность привода, кВт	3200
Масса, кг	18342
Тип компрессора	поршневой
Всасывающий патрубок, мм	304,8
Нагнетательный патрубок, мм	203,2

## 3. Описание потока

1. Газ подается на скруббер на всасе для удаления любых свободных жидкостей или твердых частиц.

2. Жидкости дренируются из данного технологического сосуда и направляются в бак конденсата, а газ направляется в компрессор, где он компримируется до необходимого давления на нагнетании.

3. Горячий газ со стороны нагнетания компрессора проходит через расположенный вне пределов установки концевой охладитель для того, чтобы температура снизилась до 50° С.

4. Прошедший через охладитель газ поступает в коагулятор для того, чтобы удалить все следы жидкостей/масла до того, как данный газ будет направлен по трубопроводам к наружной стороне установки на дуплексные фильтры.

## 4. Контроль производительности

Компрессорная система рассчитана на эксплуатацию в различных режимах и предназначена для обеспечения производительности 4 x 50%.

а. Давление на входе может варьировать от 6 кг/см<sup>2</sup> до 12 кг/см<sup>2</sup>.

б. Система рассчитана на 100% расход природного газа в объеме 39600 кг/ч с использованием 2<sup>x</sup> или более компрессоров. Работа при сниженном расходе также

возможна с использованием одного, двух или трех компрессоров.

До 50% производительности каждого компрессора контролируется посредством 4-х этапного процесса с использованием разгрузочных устройств. Для регулировки производительности компрессора на каждом цилиндре со стороны всаса установлено по 3-и разгрузочных клапана с индикаторами положения. Выдвинутый шток индикатора показывает закрытое состояние разгрузочного клапана. Утопленный шток индикатора показывает, что впускной разгрузочный клапан за счет подачи силового газа принудительно зафиксирован в открытом положении. Микро/макро регулирующие клапана, установленные в основном коллекторе, также используются для того, чтобы направлять избыток газа из коллектора на нагнетании обратно в коллектор на всасе.

На компрессоре установлен байпасный шаровой клапан с пневматическим приводом, что позволяет осуществлять пуск компрессора в разгруженном состоянии. Открытие данного клапана во время пуска предотвращает повышение давления на стороне нагнетания компрессора.

Подробное описание панели управления приведено в разделе "Основные принципы управления и обеспечения безопасности".

## 5. Продувочные клапаны компрессора

На каждой установке предусматривается автоматический продувочный клапан, который можно задействовать после останова для того, чтобы выполнить безопасный сброс давления на данной I установке. При приведении установки в режим готовности после останова необходимо повторно I создать необходимое давление в системе.

## 6. Система смазочного масла

Нельзя включать или эксплуатировать компрессор, если масло холодное. Перед пуском установки масло ВО ВСЕМ масляном контуре должно быть не менее 40 °С. Если масло не нагрето, это может привести к повреждению или выходу из строя компрессора.

Смазка компрессора обеспечивается с помощью замкнутой системы подачи масла. После циркуляции во внутрикорпусных устройствах компрессора масло охлаждается и фильтруется, а затем возвращается в распределительные блоки смазочного масла.

Система распределительных блоков смазочного масла цилиндров представляет собой несколько гидравлических подвижных блоков, обеспечивающих подачу смазочного масла на следующие внутренние компоненты:

- отверстия цилиндров
- набивки

Каждая газоконпрессорная установка укомплектована устанавливаемым на

раме ребристым маслоохладителем, который обеспечивает охлаждение смазочного масла.

Температура компрессорного масла регулируется при помощи трехходового терморегулирующего клапана. Термостат поддерживает постоянную температуру подаваемого масла посредством смешивания горячего масла из байпасной линии с холодным маслом, выходящим из маслоохладителя. Система подачи масла защищена реле отключения при высокой температуре.

#### 7. Расходная емкость для масла

Расходная емкость для масла вместимостью около 420 литров предусматривается для автоматической подачи дополнительного масла в компрессор. Данная емкость установлена на 2,5 метра выше поддона компрессора. Она содержит запас масла для непрерывной подачи в течение 15-20 дней на тот случай, если компрессор будет эксплуатироваться круглосуточно в режиме полной производительности. Уровень масла в расходной емкости виден через смотровое стекло. Достигнутый уровень следует проверять раз в смену и добавлять масло по мере необходимости. Для того чтобы обеспечить адекватную подачу масла, целесообразно не допускать снижения уровня масла ниже середины расходной емкости. При полной загрузке каждый компрессор потребляет приблизительно 22 литра масла в сутки.

#### 8. Доохлаждение газа

После компримирования технологический газ проходит через оребренный трубчатый охладитель и охлаждается до 50°C. Вентилятор охладителя приводится в движение электродвигателем мощностью 22,4 кВт при помощи ременной передачи. Выходящий из дополнительного охладителя газ проходит через коагулятор для того, чтобы удалить из газа все частицы масла до того, как данный газ будет направлен на наружную сторону установки.

#### 9. Воздух для КИП

Управление приборами и приводами клапанов осуществляется с использованием воздуха для КИП установки или сухим малосернистым природным газом, которые обеспечиваются третьей стороной и подается в коллектор воздуха для КИП на каждой установке. Управление всеми I приборами осуществляется с использованием воздуха/газа для КИП, поставляемого заказчиком под давлением 7-9 бар (изб.) с оборудования, расположенного вне установки.

Все отводные патрубки КИП соединяются с общим коллектором со сбросом отводимого газа в безопасную зону.

#### 10. Особые положения

**ОСТОРОЖНО!** В резервном или временно неработающем компрессоре может происходить конденсация влаги. В случае обнаружения конденсата, необходимо связаться с компанией *"ТОРОМОНТ ЭНЕРДЖИ СИСТЕМЗ"*. Если компрессор вышел из строя в результате неправильной эксплуатации, гарантия теряет силу.

### 11. Описание системы смазки компрессора

Смазка в компрессоре выполняет следующие функции:

- уменьшение трения
- уменьшение износа
- охлаждение трущихся частей
- защита от коррозии
- уплотнение и уменьшение накопления отложений
- снижение ударных нагрузок

### 12. Охладитель масла

Каждая газоконпрессорная установка поставляется с устанавливаемым на раме ребристым маслоохладителем, который обеспечивает охлаждение смазочного масла.

Максимально допустимая температура масла на входе в компрессор равна 87°C. Температура компрессорного масла регулируется при помощи трехходового терморегулирующего клапана. Термостат поддерживает постоянную температуру подаваемого масла посредством смешивания горячего масла из байпасной линии с холодным маслом, выходящим из маслоохладителя. Система подачи масла защищена реле отключения при высокой температуре.

### 13. Пуск при низких температурах

Для работы в холодных условиях в циркуляционной системе смазки могут использоваться масла с широким спектром вязкости, при условии, что поставщик масла гарантирует его фракционную стабильность. Вязкость фракционно стабильного масла не изменяется в процессе работы. Масла с широким спектром вязкости имеют на 30%-50% меньший срок службы, чем однокомпонентные масла.

### 14. Смазочные масла

В компрессорах для смазки обычно применяются масла на нефтяной основе или синтетические масла, к которым добавляют улучшающие свойства присадки.

### 15. Давление на выходе маслососа

Приводимый от вала компрессора масляный насос поддерживает давление масла с помощью размещенного в корпусе подпружиненного регулирующего клапана или с помощью отдельного клапана. Регулировкой этого клапана давление масла в системе может увеличиваться или уменьшаться (при наличии отдельного клапана клапан на насосе используется как предохранительный).

На компрессорах стандартное давление масла на выходе из фильтра масла 4,1 бар изб. Если давление снижается ниже 3,4 бар, то необходимо найти и устранить причину такого снижения. Для защиты компрессора от пониженного давления масла установлена защита с выдачей сигнала на останов при давлении 2,46 бар.

#### 16. Вязкость масла при пуске в холодных условиях

Максимальная вязкость масла при пуске в холодных условиях не должна превышать 3000 сСт. Как правило этим условиям удовлетворяют масла класса 8AE 30 при температуре 4°C и масла класса 8AE 40 при температуре 13°C.

#### 17. Минимальная температура масла

Минимальная рабочая температура масла равна 68°C. Эта температура необходима для предотвращения конденсации влаги.

#### 18. Фильтрация масла

Базы компрессоров большой мощности в стандартном исполнении оснащаются одинарными стационарными фильтрами со сменными фильтрующими элементами (картриджами) из гофрированного синтетического материала.-

#### 19. Смена масла

Масло в картере компрессора должно регулярно заменяться (через 6 месяцев или через 4000 часов работы), или при смене фильтра, или по результатам анализа регулярно отбираемых проб масла. Более частые смены масла могут понадобиться в случае работы компрессора в чрезвычайно пыльных условиях или если этого требует поставщик масла.

#### 20. Система смазки - описание.

Компрессоры Ариель имеют две системы смазки: систему смазки механизма движения, которая работает при низком давлении (3,5-4,2 бар), и систему смазки цилиндров и уплотнений (лубликаторная система), которая работает при высоком давлении.

Система смазки подает масло компрессорным цилиндрам и сальникам штоков. Масло из основной масляной системы или из расположенного сверху расходного бака под давлением подается к 150 мкм фильтру из спеченной бронзы на стороне всасывания маслососа. Из фильтра масло поступает в коллектор и к маслососам.

Корпус маслососа служит емкостью для масла смазки червячной шестерни и кулачка. Емкость автономна и не связана с масляной системой. Уровнемерное стекло на корпусе показывает уровень масла в корпусе.

На выходной линии рядом с маслососом имеется штуцер диаметром 6.35 мм (1/4 дюйма), через который можно прокачать маслосистему.

Далее на выходной линии установлен разрывной диск (мембрана). Если система запирается (блокируется), возросшее давление разрывает диск. Разгрузка системы через разрывной диск приводит к срабатыванию защиты по отсутствию потока масла.



Затем масло поступает в блок распределительных клапанов. Именно в нем смазочное масло дозируется для подачи к цилиндрам и сальникам. В средних секциях распределительного блока поршни циклически двигаются взад-вперед, подавая масло через несколько выходов до тех пор, пока масло под давлением поступает на вход. Каждый выход имеет обратный клапан, чтобы предотвратить обратное поступление масла в распределительный блок. Имеющийся на блоке индикатор показывает величину подачи масла, обеспечиваемой циклической работой блока.

Из распределительного блока масло направляется к цилиндрам и сальникам. У входа в направляющие и цилиндры система обеспечивает напор около 25 мм, что позволяет повысить ресурс обратных клапанов.

Некоторая часть масла, поданного к сальникам, поступает в цилиндры, основная же часть дренируется через продувочно-дренажный штуцер в нижней части направляющий крейцкопфа и через вентиляционную атмосферную линию, расположенную в задней части направляющих.

Изготовитель агрегата поставляет клапан поддержания уровня масла, монтируемый на раме агрегата; это клапан поддерживает требуемый уровень масла в поддоне рамы компрессора, компенсируя расход масла в лубрикаторной системе.

## **Основные принципы управления газодожимным компрессором**

### **Контролеры**

Комплектная компрессорная установка топливного газа состоит из четырех параллельно установленных компрессорных установок. В каждой установке предусматривается несколько контуров управления для регулирования производительности компрессора.

Следующие контролеры играют важную роль в эксплуатации каждой компрессорной установки и должны являться частью системы управления.

Контролер температуры рециркуляционной системы охладителя (T1C-208) - это наружный пневматический контролер температуры, который управляет жалюзи на входе и выходе охлаждающего воздуха. В качестве входного сигнала используется сигнал термометра сопротивления TE-208.

#### **1. Регулирование производительности системы**

Регулировка степени открытия двух рециркуляционных клапанов (микро- и макро-клапанов) обеспечивает контроль производительности системы топливного газа. Управление данными клапанами осуществляется с центрального пульта управления.



Предполагается, что один ПИД-контролер будет поддерживать давление в общем коллекторе компрессора на нагнетании, который обеспечивает подачу топливного газа на турбины. Рециркуляционные клапаны располагаются между основными коллекторами на нагнетании и на всасе. Данные клапаны предназначены для того, чтобы обеспечить рециркуляцию выходящего газа обратно в коллектор на всасе в зависимости от требуемого давления в коллекторе на нагнетании. Выходной сигнал данного контроллера разделяется между двумя регулирующими клапанами.

ПИД-контроллер начинает осуществлять регулировку, когда по крайней мере один из компрессоров войдет в режим готовности.

## 2. Выбор режима

На случай если по какой-либо причине давление на всасе системы поднимается в связи с возможным нарушением процесса или сокращением потребности, для каждого работающего компрессора предусматривается соленоид разгрузочного устройства в каждом цилиндре, который активируется, если давление на всасе достигает определенной пороговой уставки. Каждый из цилиндров газового компрессора может обеспечить незамедлительную разгрузку или снижение до 50% от номинальной пропускной способности за счет использования соленоидов разгрузочного устройства со стороны поршневой полости. Таким образом предотвращается перегрузка компрессора, которая может привести к нежелательному отключению. Количество соленоидов разгрузочного устройства, которые могут быть задействованы, зависит от различных режимов с учетом давления на всасе, количества работающих турбин и количества задействованных компрессоров.

Каждый работающий компрессор выбирает соответствующий режим работы автоматически. Однако если режим не выбран, компрессор будет работать в независимом режиме.

## 3. Нагрузка/разгрузка

У каждого соленоидного клапана разгрузочного устройства имеется своя пороговая уставка, которая зависит от выбранного режима. Если давление на всасе превысит значение данной уставки, срабатывает клапан каждого работающего компрессора. Соленоид соответствующего разгрузочного устройства сработает при различном уровне порогового значения давления на всасе. Значение пороговой уставки также может автоматически измениться в зависимости от изменяющихся условий системы.

Разгрузочные устройства цилиндров включаются (разгружаются) при следующих условиях:

- Пуск электродвигателя компрессора и достижение им полной скорости
- Обнаружение статуса отключения всех газовых турбин
- Режим эксплуатации
- Перегрузка электродвигателя, при высоком давлении на всасе.

## 4. Байпасный клапан

Каждая компрессорная установка оснащена двухпозиционным байпасным клапаном пуска. Данный клапан предназначен только для пуска компрессора и не используется для контроля производительности. Байпасный клапан откроется до пуска компрессора только в том случае, если давление на нагнетании будет ниже значения уставки предупредительного сигнала о высоком давлении на всасе. Когда компрессор начинает работать и входит в режим готовности, байпасный клапан автоматически закрывается.

#### 5. Параллельная эксплуатация компрессоров

В зависимости от требований по нагрузке турбин, каждая компрессорная установка может включаться независимо и эксплуатироваться параллельно с другими аналогичными компрессорными установками. Рециркуляционные клапаны являются основными устройствами для контроля давления на нагнетании для всех параллельно эксплуатирующихся компрессоров. Принудительная разгрузка относится ко всем параллельно установленным компрессорам, которые эксплуатируются одновременно.

#### 6. Пуск нагруженного резерва

Оператор должен выбрать одну из неработающих компрессорных установок, которая «готова к пуску», для использования в качестве нагруженного резерва. Данный сигнал программного обеспечения нагруженного резерва должен быть получен ПЛК панели управления компрессора, включая сигнал о статусе загрузки турбины от центрального пульта управления, а также сигнал о том, что работает по крайней мере одна турбина. Каждый ПЛК панели управления компрессора контролирует статус каждого работающего компрессора. Как только происходит отключение одного из работающих компрессоров в связи с превышением предельных технологических параметров или в связи с падением давления в основном коллекторе на нагнетании ниже уставки (значение уставки можно изменять), компрессорная установка, выбранная в качестве нагруженного резерва, автоматически включается без вмешательства оператора. Оператор должен проследить за тем, чтобы компрессор находился в состоянии «Готовность к пуску». Если происходит пуск выбранного в качестве нагруженного резерва компрессора, оператор должен выбрать новую компрессорную установку для использования в качестве нагруженного резерва.

#### 7. Пуск/останов компрессора

Последовательность операций по ПУСКУ компрессора.

Пуск каждого компрессора осуществляется по отдельности с соответствующего ИЧМ или дистанционно, если подан необходимый сигнал для выполнения подобного действия.

Экранная форма пуска компрессора в ИЧМ содержит данные, которые необходимы оператору до пуска компрессора. Данная экранная форма также

содержит строку сообщений, которая сообщает о статусе компрессора во время выполнения последовательности операций по пуску.

Ниже приведены сообщения, которые выводятся на экран компрессора:

ЭТАП 0. Отмена сигналов на отключение. Для того чтобы отменить сигналы на отключение, может потребоваться установка системы в исходное состояние. После отмены сигналов на отключение ПЛК сразу же переходит к выполнению следующего этапа. В противном случае следует проверить причину сигнала на отключение в экранной форме сообщений о сигналах на отключение.

ЭТАП 1. Проверка наличия необходимых условий. Перед пуском система обеспечения безопасности проверяет отсутствие условий, которые могут оказывать негативное воздействие на плавный пуск компрессорной установки.

ЭТАП 2. Готовность к пуску. Теперь можно приступить к выполнению последовательности операций по пуску компрессора, нажав на кнопку пуска в ИЧМ на самом компрессоре.

ЭТАП 3. Сброс давления. Если давление на нагнетании по-прежнему выше уставки давления на нагнетании при пуске, продувочный клапан открывается до тех пор, пока давление не снизится до безопасного значения, после чего открывается байпасный клапан.

ЭТАП 4. Пуск насоса предварительной смазки — Выполнение следующего этапа последовательности начинается через 5 секунд после того, как будет достигнуто минимальное давление масла. Если давление масла не будет подтверждено в течение 30 секунд, выполнение последовательности операций по пуску компрессора будет автоматически остановлено. В этом случае перед попыткой повторного пуска необходимо устранить причину недостаточного давления масла.

На данном этапе также осуществляется пуск вентилятора маслоохладителя.

ЭТАП 5. Пуск электродвигателя компрессора — Для пуска двигателя компрессора необходимо подать напряжение на контакт реле «Пуск/Останов». ПЛК должен получить от НКУ обратный сигнал о рабочем статусе для того, чтобы подтвердить, что электродвигатель работает, прежде чем истечет 10 секундная задержка прерывания. В противном случае выполнение последовательности операций по пуску компрессора будет остановлено. Электродвигатель масляного насоса останавливается после получения подтверждения о том, что компрессор работает. После этого начинается выполнение следующего этапа.

ЭТАП 6. Компрессор в режиме готовности — Открывается впускной и выпускной клапаны, затем открывается байпасный клапан и включаются технологические контроллеры. Вентиляторы охладителя тоже включаются.

## 8. Последовательность операций по останову компрессора

Любой из компрессоров может быть остановлен в любое время посредством нажатия на кнопку «стоп» на ИЧМ, превышения технологических ограничений или посредством дистанционного управления. При этом соответствующее

работающее оборудование также останавливается.

Сброс давления компрессора — Впускной/выпускной клапаны закрываются, байпасный клапан закрыт, а регулирующий продувочный клапан открывается. Байпасный клапан откроется, когда давление опустится ниже приемлемого уровня.

## 9. Обеспечение безопасности

Самая важная функция системы управления заключается в отключении компрессора в случае превышения безопасных эксплуатационных параметров. Отключение осуществляется при превышении заданных значений аналоговых технологических параметров (на датчиках давления, термометрах и т.п.). Предупредительные сигналы подаются с целью предупреждения оператора и не приводят к отключению установки, однако после получения подобных сигналов оператору следует незамедлительно принять соответствующие меры, чтобы предотвратить отключение.

Сигналы на отключение комплексной установки.

Сигналы на отключение приводят к остановке вращающегося оборудования, в зависимости от того, какая группа взаимоблокированных сигналов на отключение была задействована. Таблица всех групп взаимоблокированных сигналов и описание их действий приведена в причинно- следственной диаграмме данной установки (см. Приложение). Перед пуском любого вращающегося оборудования на установке все сигналы на отключение компрессора должны быть отменены за исключением сигнала о низком давлении масла.

Иницирующие условия для отключения:

Все иницирующие условия являются частью системы управления. Любой общий сигнал на отключение приведет к остановке выполнения последовательности операций по пуску. При этом будет приведен в действие пускатель электродвигателя в НКУ, а также все необходимые клапаны. Точное описание применения каждого иницирующего условия приведено в матрице причинно- следственных связей. Поскольку некоторые сигналы на отключения могут приводить к отключению нескольких единиц оборудования, каждый перечень сигналов на отключение относится только к тому оборудованию, для которого он подготовлен.

Аварийное отключение комплексной установки

Все работающее оборудование установки незамедлительно остановится, как только оператор начнет выполнение аварийного отключения или сработает аварийное отключение установки.

При этом закроются все клапаны аварийного отключения, а продувочный клапан откроется, чтобы обеспечить сброс давления в системе. На причинно- следственной диаграмме показаны причины и оборудование, на которое влияют условия, иницирующие отключение.

## 10. Автоматическое включение резерва.

У компрессора, находящегося в резерве с включённой блокировкой «В РЕЗЕРВ» автоматически включается пусковой маслонасос, что позволяет ГДК пуститься сразу же по факту отключения эл. двигателя одного из работающих ГДК - если нет условий, препятствующих включению (давление газа в гасителе пульсаций на всасе должно быть 8.. 8,5 кгс/см<sup>2</sup>)

#### 11. Защиты, действующие на останов ГДК.

Любой работающий ГДК отключится автоматически (или должен быть отключён вручную при несрабатывании защиты) в следующих случаях:

повышении температуры газа на нагнетании любого из цилиндров	- 170 °С
повышении давления газа на нагнетании	26 кгс/см <sup>2</sup> ;
повышении давления газа на нагнетании 1 ступени	- 28 кгс/см <sup>2</sup> ;
повышении давления газа на всасе 1 ступени	- 13,5 кгс/см <sup>2</sup> ;
повышении уровня в скруббере	
повышении уровня в коагуляторе	дискретный датчик;
понижении давления масла на смазку	дискретный датчик;
понижении температуры масла	дискретный датчик;
повышении температуры масла	- 2,46 кгс/см <sup>2</sup> ;
повышении вибрации вентилятора охладителя газа	115 °С;
понижении расхода масла	- 87 °С;
повышении вибрации подшипника №1	- дискретный датчик;
повышении вибрации подшипника №2	дискретный датчик;
повышении вибрации подшипника №3	- дискретный датчик;
повышении вибрации подшипника №4	дискретный датчик;
повышении температуры подшипников компрессора	- 10 мм/с;
повышении температуры подшипника №1 и №2	
повышении температуры обмотки эл. двигателя	- 12 мм/с;
	- 18 мм/с;

### Данные реального компрессора с ГДК ПГУ-450 Южной ТЭЦ

Компрессор JGZ/4 используется в составе газодожимной компрессорной станции ПГУ-450 Южной ТЭЦ и участвует в подготовке топливного газа, который затем подаётся на газовую турбину.

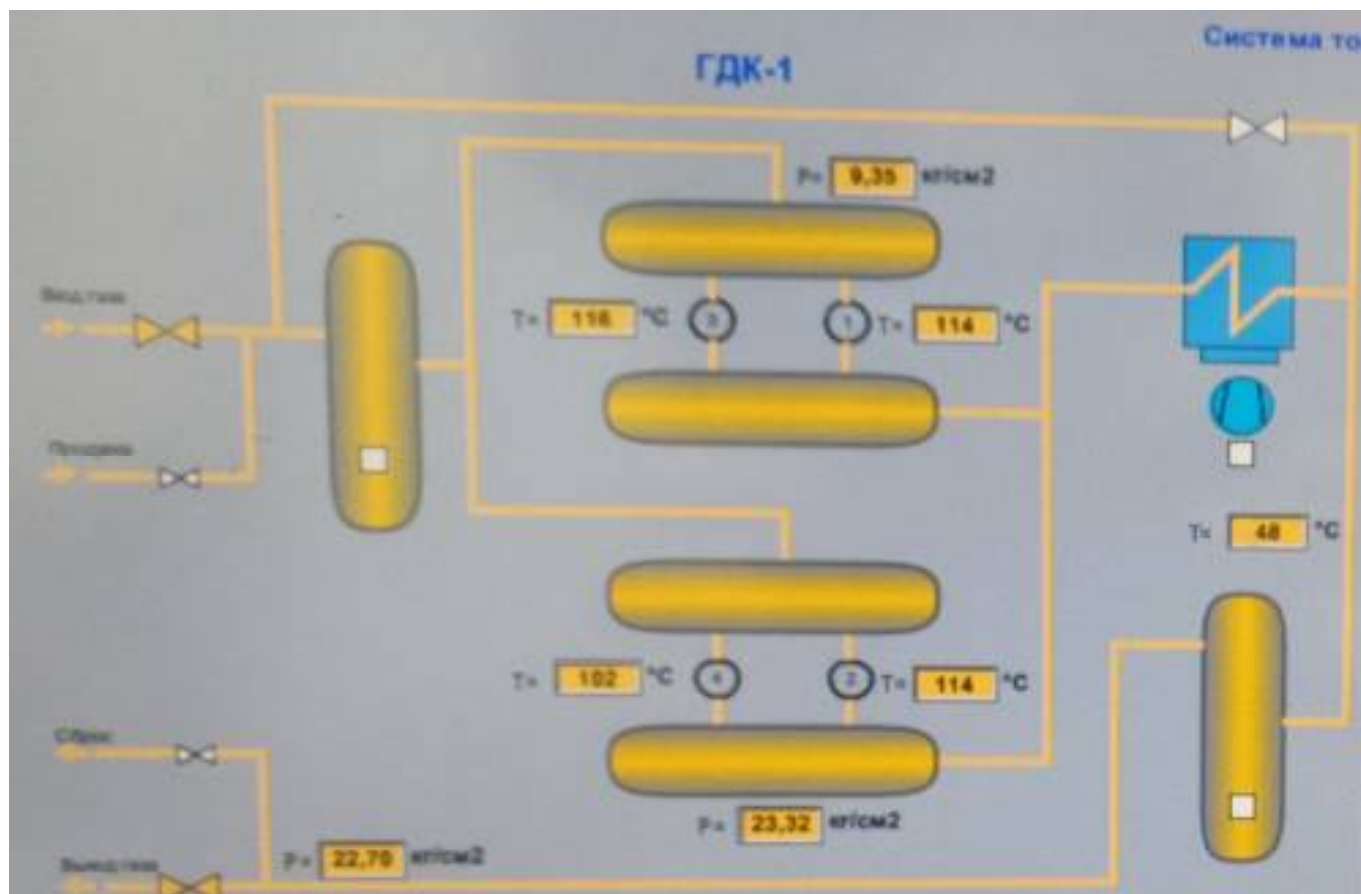


Рис.8. Схема системы топливного газа газодожимной станции (фото с БЦУ)



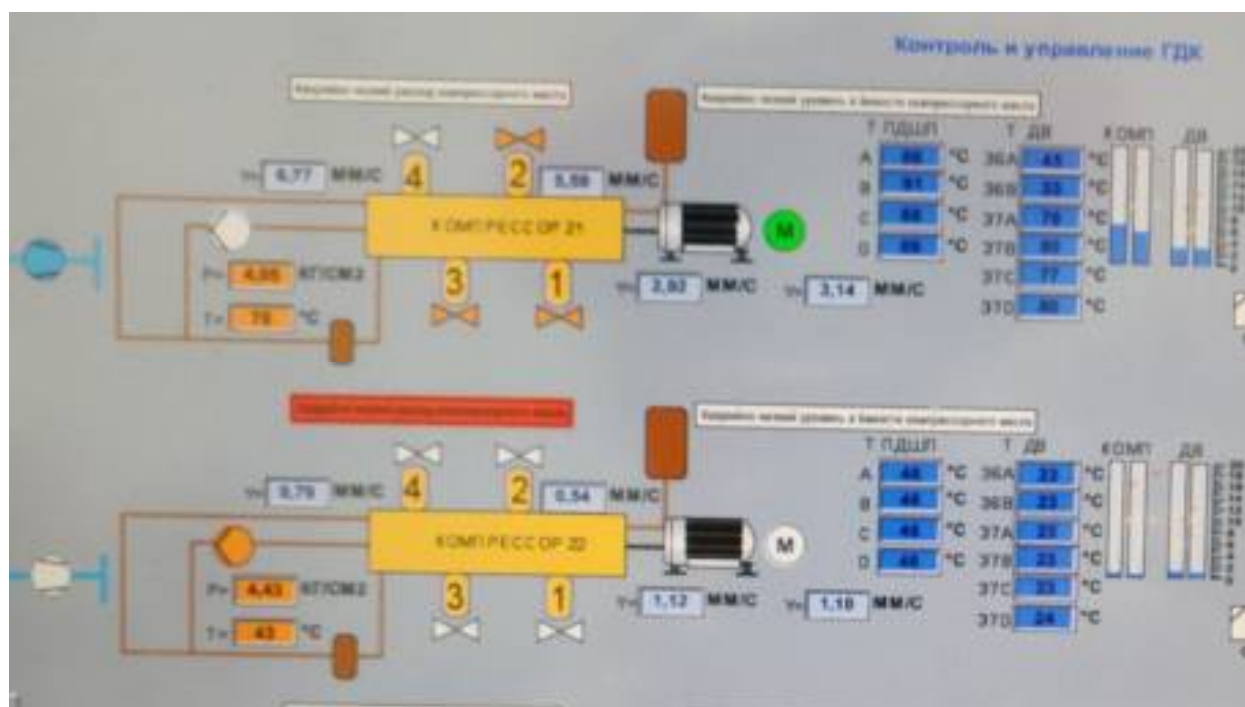


Рис.9. Контроль и управление ГДК

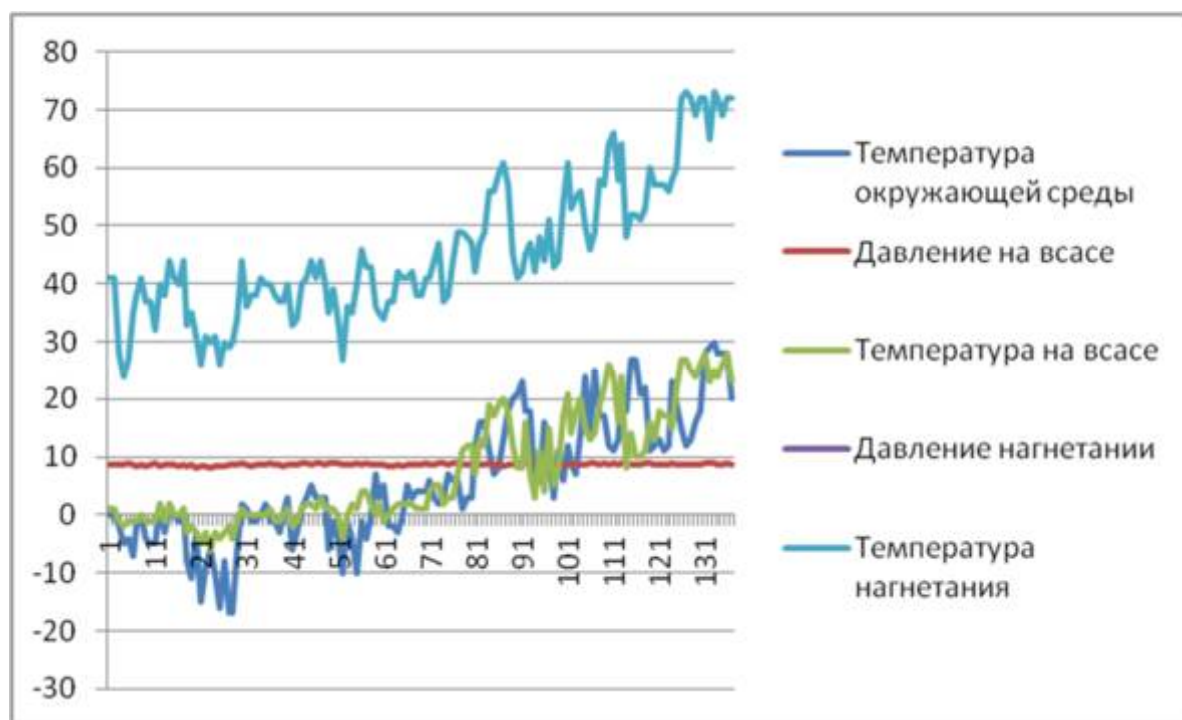


Таблица 4. Распределение температур и давлений за полгода с 01.01.2019 по 10.06.19

Карта уставок ГДК			
		Предупредительная сигнализация	Аварийное отключение
Топливный газ	Температура газа на всасе компрессора	<5,0 кг/см <sup>2</sup>	<5,5 кг/см <sup>2</sup>
		>13,0 кг/см <sup>2</sup>	>13,5 кг/см <sup>2</sup>
	Температура газа на нагнетании компрессора	>25,0 кг/см <sup>2</sup>	>28 кг/см <sup>2</sup>
	Температура газа в цилиндре компрессора	>150°С	>170°С
	Температура газа после газоохладителя		<15°С ; >87°С
	Уровень в скруббере	дискретный датчик	
	Уровень в коагуляторе	дискретный датчик	
Датчик вибрации в газохладителе	дискретный датчик		
Контроль ГДК	Давление масла в маслосистеме компрессора	<3,4 кг/см <sup>2</sup>	<2,4 кг/см <sup>2</sup>
	Температура масла в маслосистеме компрессора		<15°С ; >87°С
	Температура подшипников компрессора	>95°С	>105°С
	Температура подшипников эл.двигателя	>105°С	>115°С
	Вибрация 1-ого подшипника двигателя	>6 мм/с	>10 мм/с
	Вибрация 2-ого подшипника двигателя	>6 мм/с	>12 мм/с
	Вибрация 3-ого подшипника компрессора	>10 мм/с	>18 мм/с
	Вибрация 4-ого подшипника компрессора	>10 мм/с	>16 мм/с

Таблица 5. Карта уставок ГДК



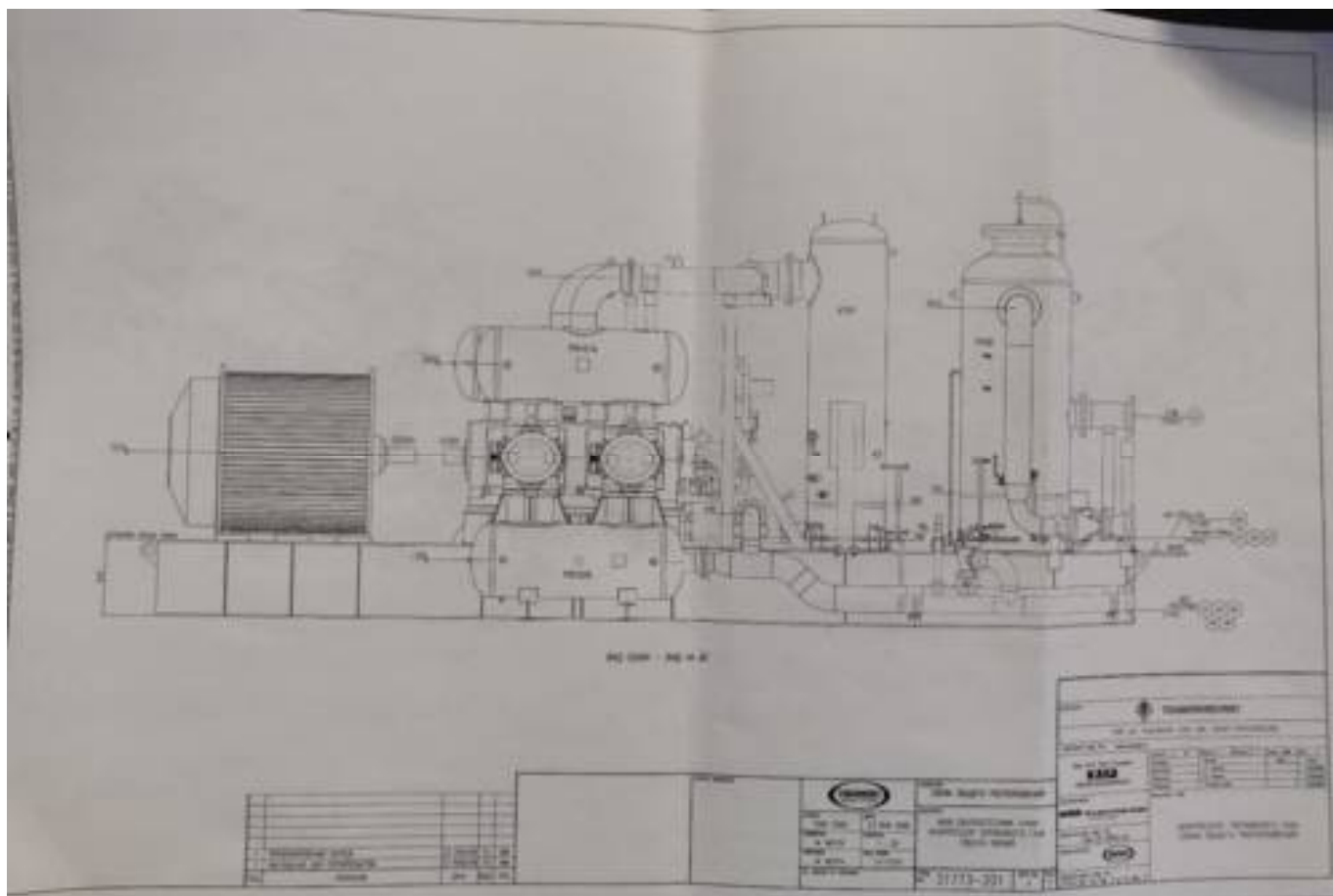


Рис.10. Компрессор топливного газа (схема общего расположения)

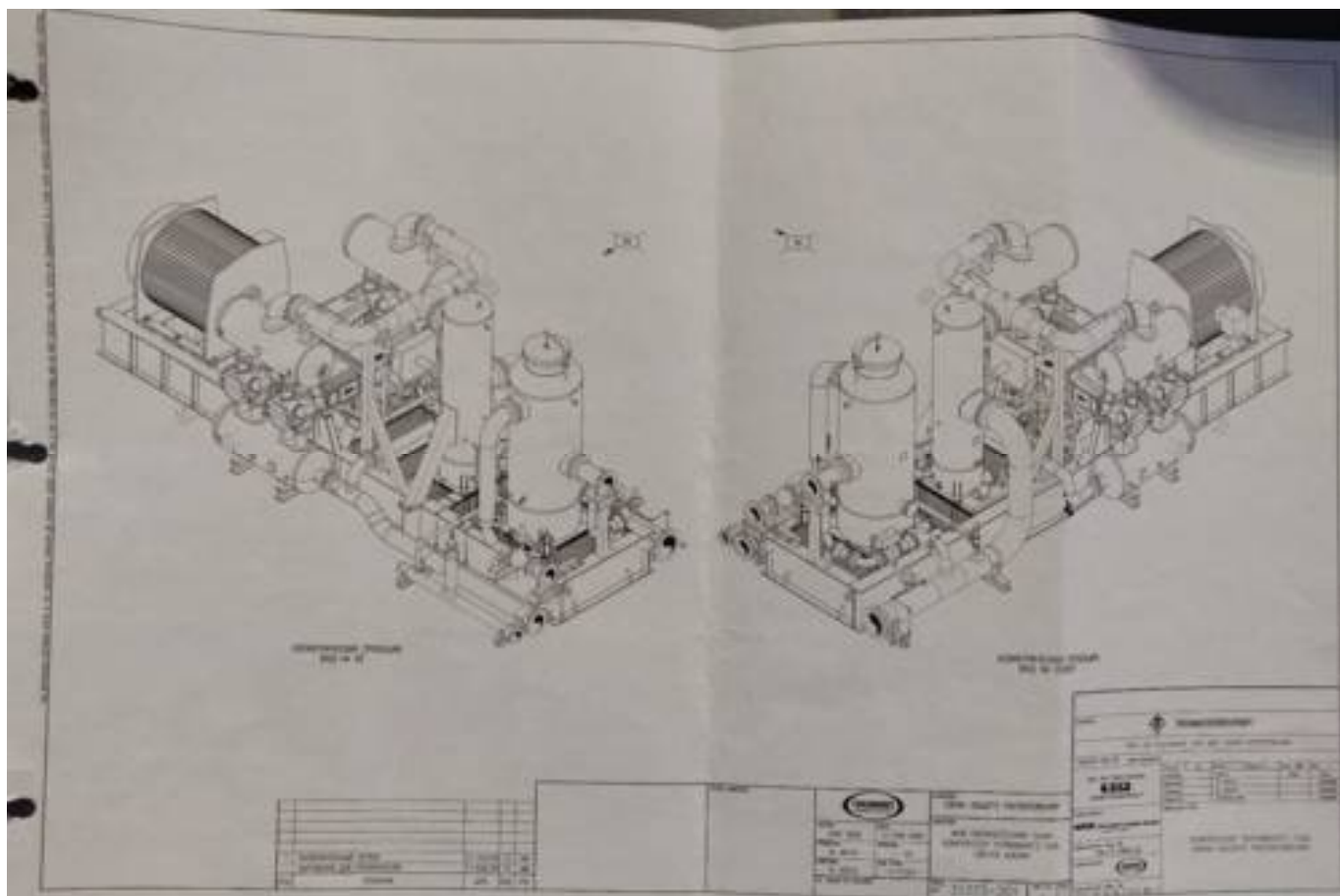


Рис.11. Компрессор топливного газа (схема общего расположения)