

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО НАЛАДКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ
КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ТУРБИН ТЭС И АС****РД 34.30.302-87**Срок действия с 01.07.90
до 01.07.2000*

* См. ярлык "Примечание".

РАЗРАБОТАНЫ Всесоюзным дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехническим научно-исследовательским институтом им. Ф.Э.Дзержинского (ВТИ им. Ф.Э.Дзержинского)

ИСПОЛНИТЕЛЬ А.И.Белевич

УТВЕРЖДЕНЫ Главным научно-техническим управлением энергетики и электрификации Минэнерго СССР 28 сентября 1987 г.

Заместитель начальника А.П.Берсенеv

Главным научно-техническим и проектно-конструкторским управлением Минатомэнерго СССР 19 августа 1987 г.

Начальник Управления Б.Я.Прушинский

Настоящие Методические указания распространяются на пароструйные многоступенчатые эжекторы с кожухотрубными теплообменниками, применяемые на тепловых и атомных станциях в качестве газоудаляющих устройств конденсационных установок турбин, и устанавливают правила, предъявляемые к испытаниям эжекторов, и требования к их эксплуатации.

С вводом в действие настоящих Методических указаний утрачивают силу "Руководящие указания по наладке и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок" (М.: Госэнергоиздат, 1956).

Содержание:

1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ И СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ	1
2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ	- 16 -
3. ИСПЫТАНИЯ И НАЛАДКА ЭЖЕКТОРА	- 20 -
4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ	- 30 -
ПРИЛОЖЕНИЕ	- 34 -
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	- 34 -

**1. НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ И СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ
ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ**

1.1. Многоступенчатый пароструйный эжектор применяется для поддержания разрежения в конденсаторе паровой турбины путем постоянного удаления из него неконденсирующихся газов.

1.2. Пароструйный эжектор отсасывает из конденсатора не только неконденсирующиеся газы, но и некоторое количество пара. Парогазовая смесь находится в насыщенном состоянии. Она сжимается в аппарате до требуемого давления и направляется или в атмосферу (ТЭС и двухконтурная АС), или в специальную установку для сжигания радиолизного водорода - УСГС (одноконтурная АС).

1.3. Давление эжектируемой парогазовой смеси на входе в эжектор всегда ниже давления отработавшего пара, поступающего из турбины в конденсатор, на величину парового сопротивления последнего. Это давление при неизменном расходе пара в конденсатор, состоянии его теплообменной поверхности, расходе и температуре циркуляционной воды не является для данного пароструйного эжектора постоянным, а растет с увеличением расхода неконденсирующихся газов, содержащихся в отсасываемой парогазовой смеси, и с увеличением температуры этой смеси, определяемой содержанием в ней водяного пара.

1.4. Количество пара, содержащегося в эжектируемой смеси, зависит от условий теплопередачи в конденсаторе. Между работой конденсатора и пароструйного эжектора существует тесная взаимосвязь. Увеличение по какой-либо причине давления всасывания эжектора влечет за собой также и рост давления в конденсаторе. В результате повышается температура пара и соответственно возрастает разность температур пара и циркуляционной воды. Это увеличивает количество сконденсировавшегося пара и уменьшает количество его в эжектируемой парогазовой смеси. Последнее в свою очередь приводит к понижению давления всасывания эжектора и давления в конденсаторе, пока не будет достигнуто новое установившееся состояние. Эжектор оказывает непосредственное влияние на величину давления в конденсаторе, от которой сильно зависит экономичность турбоагрегата.

1.5. Процесс изменения параметров рабочего, эжектируемого в паровоздушной смеси и смешанного пара в расчетном режиме работы аппарата изображен в $i-s$ диаграмме на черт.1,а. На этом чертеже обозначены:

i_p, t_p, P_p - энтальпия, температура и давление рабочего пара перед аппаратом (точка P);

$i_{пн}, t_{пн}, P_{пн}$ - энтальпия, температура и парциальное давление пара в эжектируемой парогазовой смеси на входе в аппарат (точка ПН);

$i_{пс}, t_c, P_{пс}$ - энтальпия, температура и парциальное давление пара в сжатой парогазовой смеси на выходе из аппарата (точка П4);

P_p - давление рабочего пара на входе в аппарат;

P_p^* - давление рабочего пара в минимальном сечении сопла (сечение *-*);

P_{p1} - давление рабочего пара в сечении среза сопла (сечение 1-1);

$P_{пн}$ - давление эжектируемой парогазовой смеси на входе в аппарат;

$P_{пс}$ - давление эжектируемой парогазовой смеси в сечении камеры смешения (s-s), в котором оно минимально;

$(P_{пн})_s$ - парциальное давление пара в эжектируемой парогазовой смеси в сечении s-s;

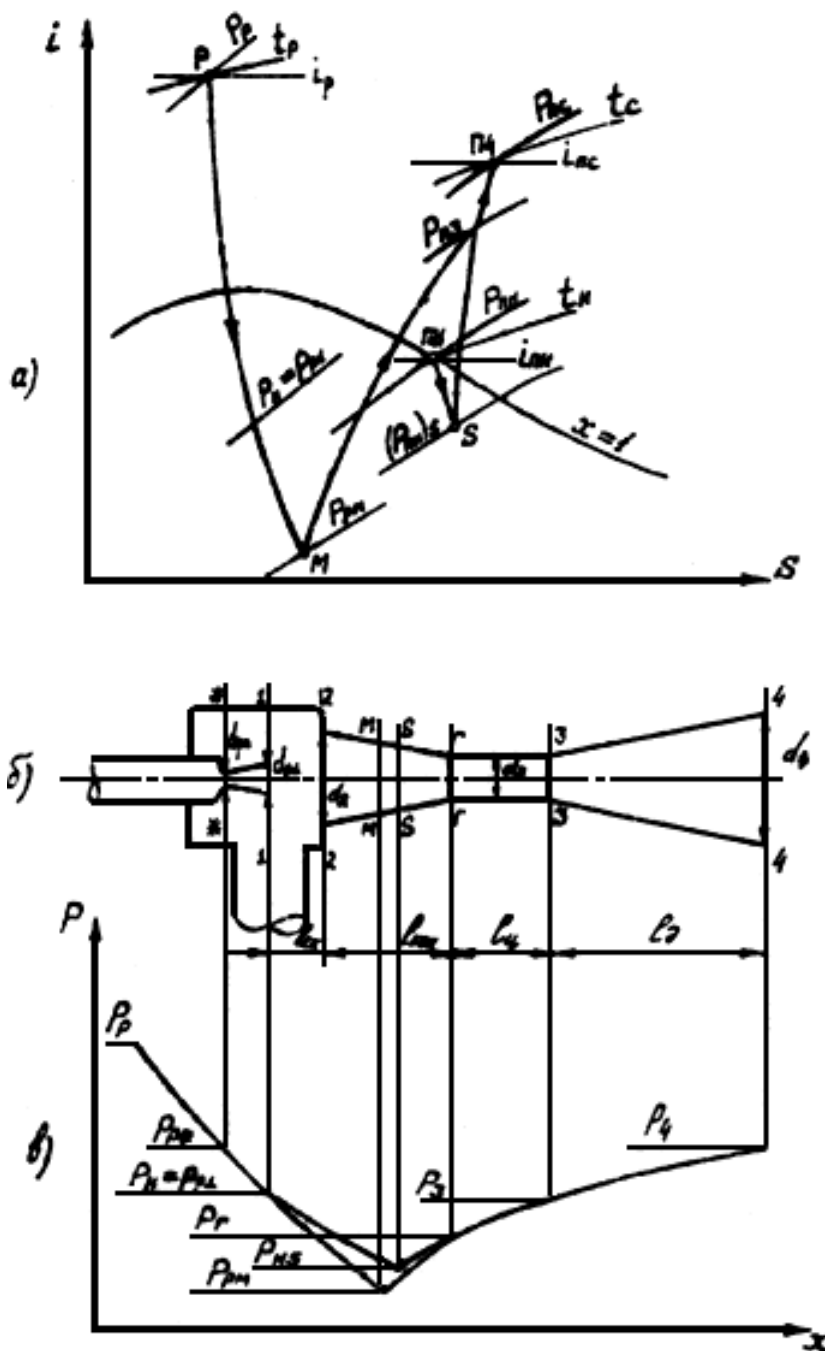
$P_{рм}$ - давление рабочего пара в сечении камеры смешения (m-m), в котором оно минимально;

$P_{г}, P_{з}, P_{4}$ - давления парогазовой смеси в сечениях Г-Г, з-з и 4-4.

Пароструйный аппарат состоит из рабочего сопла, приемной камеры, камеры смешения и диффузора (черт.1,б).

Рабочий пар поступает в сопло, в котором он ускоряется и расширяется, снижая давление до значения, определяемого геометрией сопла и параметрами пара перед соплом. Струя рабочего пара, выходя со сверхзвуковой скоростью из сопла в приемную камеру, захватывает эжектируемую парогазовую смесь и поступает вместе с ней в камеру смешения, где происходит выравнивание скоростей по сечению потока, сопровождающееся повышением давления. Дальнейшее сжатие смешанного потока до величины давления за аппаратом происходит в диффузоре (черт.1,в.).

Процессы в струйном аппарате

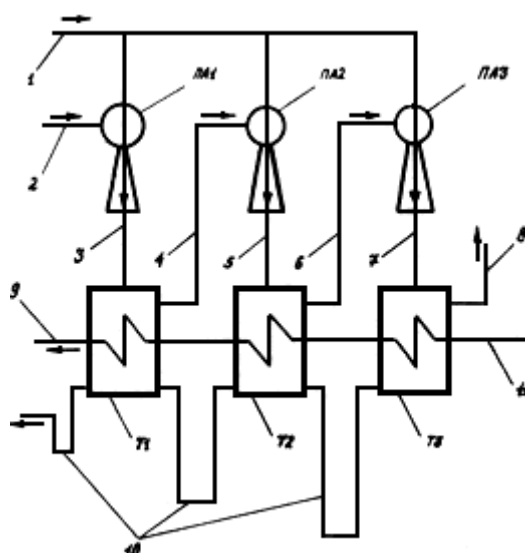


- а) процесс в $i-s$ диаграмме;
 б) схема пароструйного аппарата;
 в) изменения давления потоков по длине пароструйного аппарата.

Черт.1

1.6. В пароструйном аппарате степень повышения давления эжектируемого потока (P_C / P_H) обычно может достигать 4-6, в то время, как условия работы конденсационной установки требуют повышения давления эжектируемой парогазовой смеси в 30-40 раз (от 3-5 до 125 кПа). Поэтому эжекторы конденсационных установок выполняются многоступенчатыми. На черт.2 приведена принципиальная схема трехступенчатого эжектора с поверхностными теплообменниками. Теплообменники необходимы для того, чтобы не затрачивать лишнюю работу на сжатие большого количества пара, содержащегося в смеси, выходящей из предыдущей ступени, а также чтобы использовать теплоту и сохранить конденсат этого пара. В теплообменнике большая часть пара конденсируется, и выходящая из него смесь поступает в приемную камеру пароструйного аппарата следующей ступени. Теплота конденсации пара передается в теплообменниках основному конденсату, служащему охлаждающей водой.

Принципиальная схема трехступенчатого эжектора

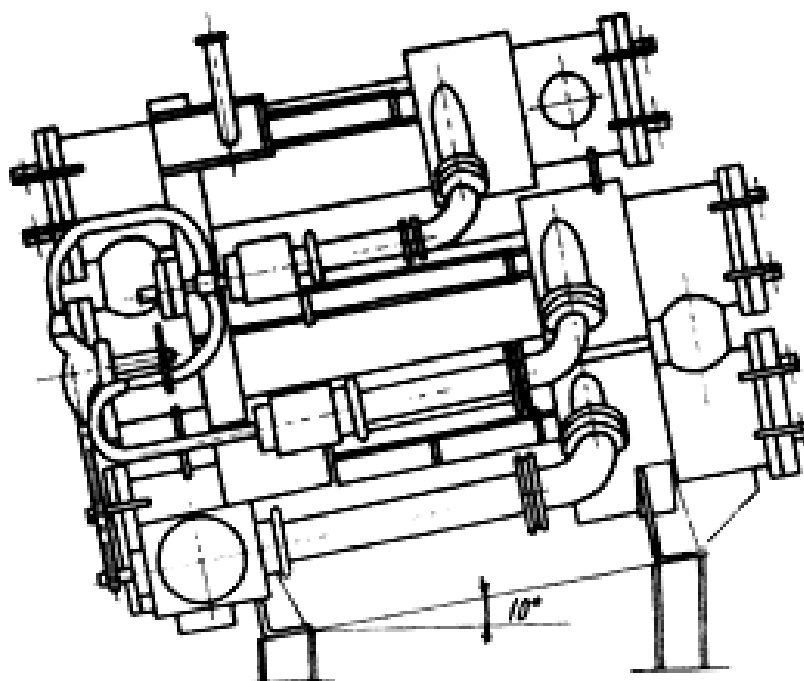


ПА1, ПА2, ПА3 - пароструйные аппараты I, II и III ступеней; Т1, Т2, Т3 - теплообменники I, II и III ступеней;
 1 - подвод рабочего пара; 2 - эжектируемая из конденсатора парогазовая смесь; 3, 5, 7 - сжатая парогазовая смесь после пароструйных аппаратов I, II и III ступеней; 4, 6 - эжектируемая парогазовая смесь II и III ступеней;
 8 - выхлоп эжектора; 9, 10 - вход и выход охлаждающей воды; 11 - дренаж конденсата.

Черт.2

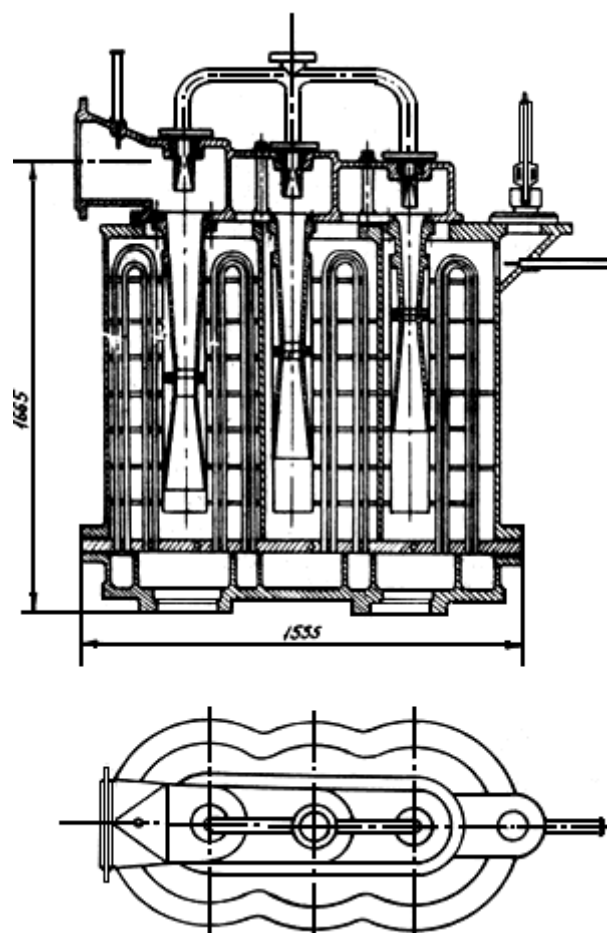
1.7. В конструктивном отношении многоступенчатые пароструйные эжекторы различаются между собой выполнением и компоновкой. Пароструйные аппараты иногда располагаются снаружи теплообменников и соединяются с соответствующими теплообменниками при помощи патрубков (черт.3), в других случаях встраиваются внутрь парового пространства теплообменников (черт.4) или монтируются в специальном едином корпусе вместе с теплообменниками (черт.5, 6, 7, 8).

Эжектор типа ЭПО-3-135 ПО УТМЗ



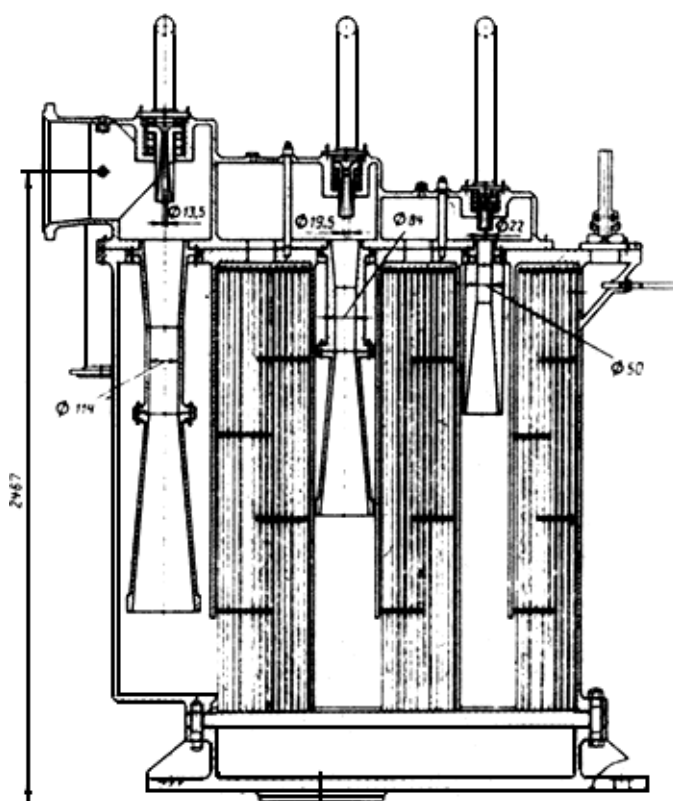
Черт.3

Эжектор типа ЭПО-3-75 ПО ХТЗ



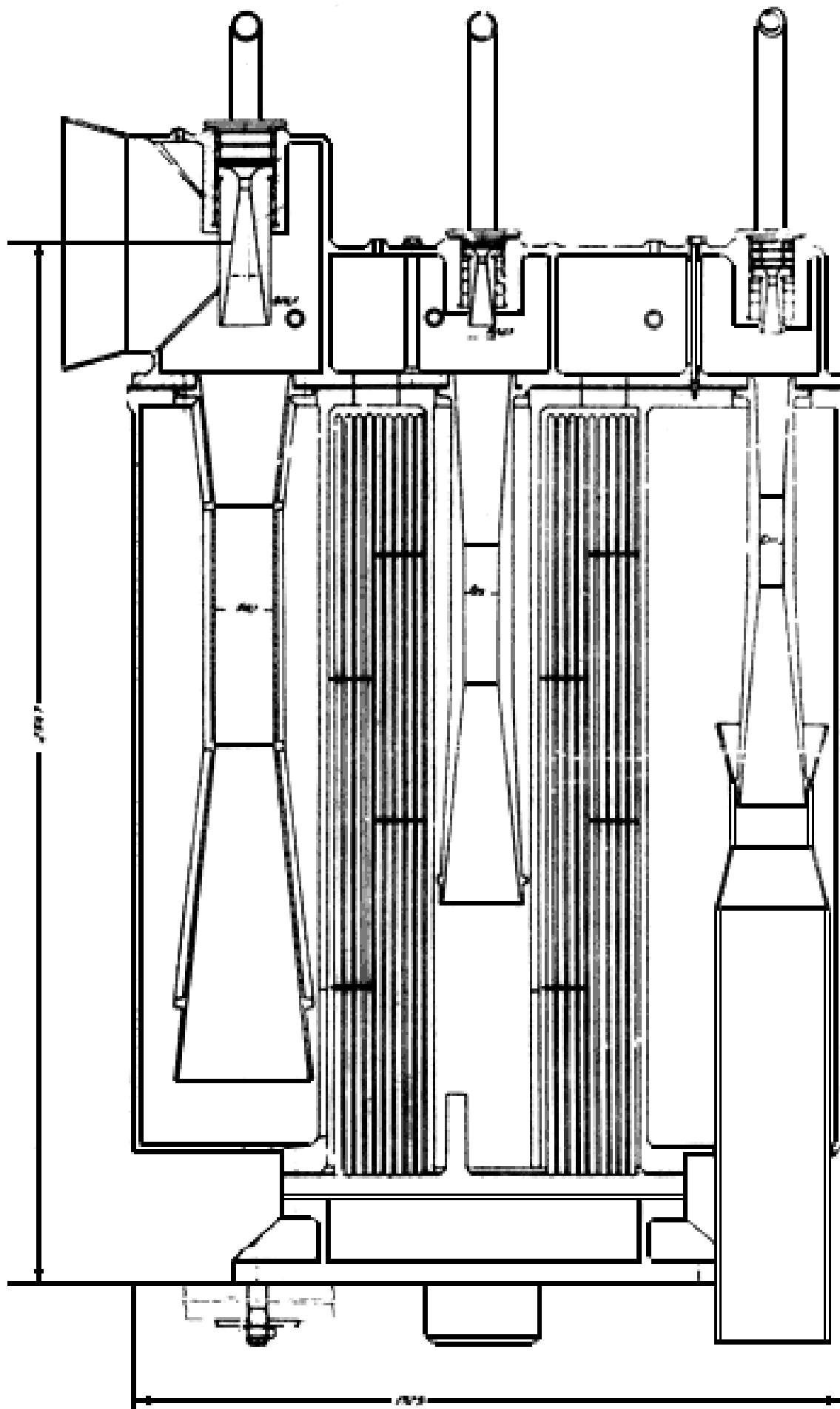
Черт.4

Эжектор типа ЭПО-3-150 ПО ХТЗ



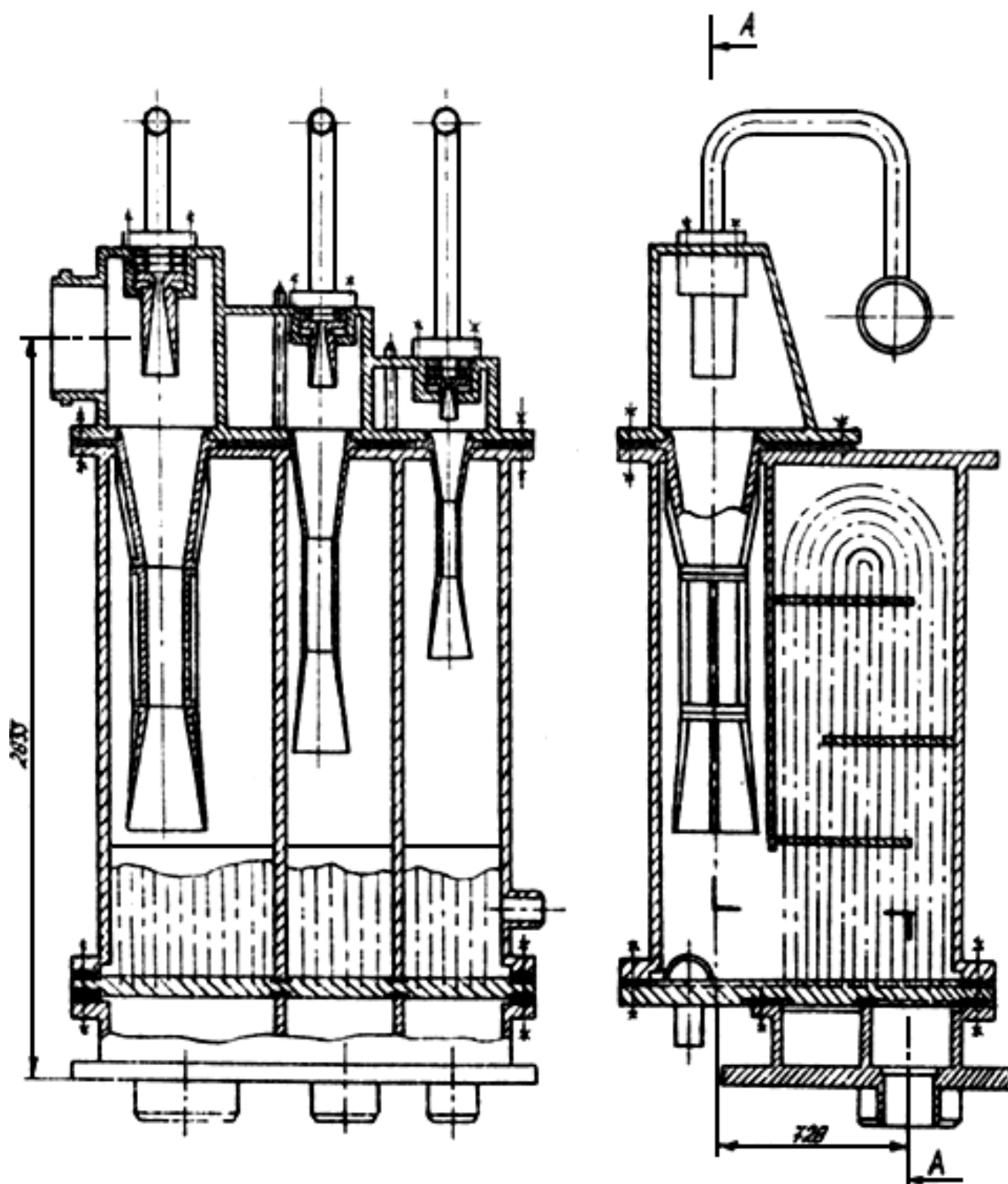
Черт.5

Эжектор типа ЭП-3-100/300 ПО ХТЗ



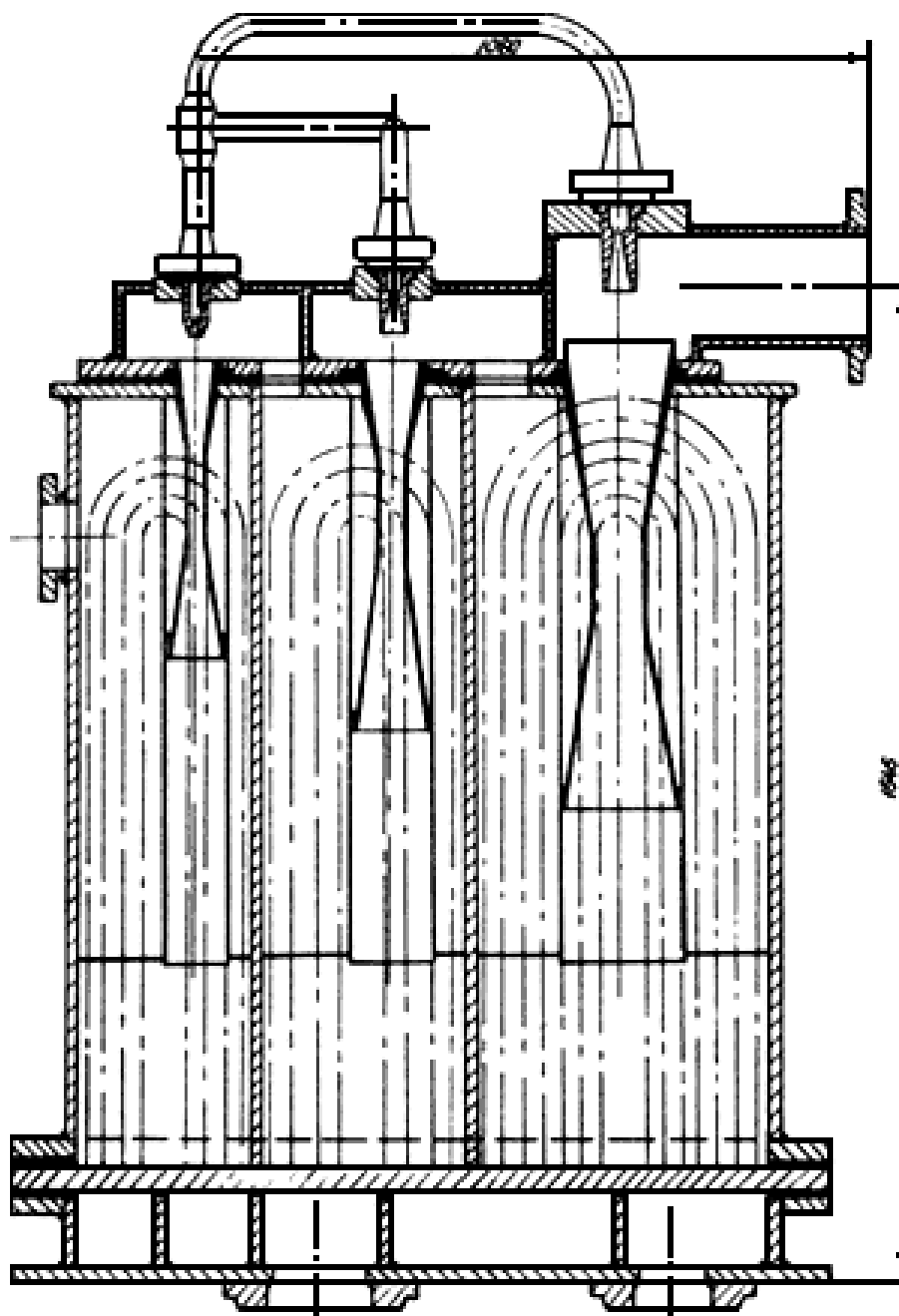
Черт.6

Эжектор типа ЭП-3-55/150 ПО ХТЗ



Черт.7

Эжектор типа ЭП-3-600 ПО ЛМЗ



Черт.8

Теплообменники по охлаждающей воде могут соединяться по последовательной, параллельной или смешанной схемам. Внутренний и наружный диаметры трубок в теплообменнике равны 17 и 19 мм, соответственно.

Отвод конденсата (дренаж) из теплообменников производится отдельно из каждой ступени в конденсатор или каскадно, то есть последовательно, через гидрозатворы, начиная с последней ступени и заканчивая первой, из которой конденсат отводится в конденсатор.

Основные размеры и параметры работы наиболее распространенных типов пароструйных эжекторов мощных турбин приведены в табл.1. Эжекторы УТМЗ: ЭП-3-2, ЭП-3-2А и ЭП-3-3 имеют такой же корпус и теплообменники, как эжектор ЛМЗ типа ЭП-3-600, а размеры их пароструйных аппаратов аналогичны приведенным в табл.1, относящимся к пароструйному эжектору УТМЗ типа ЭПО-3-135.

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ О ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРАХ

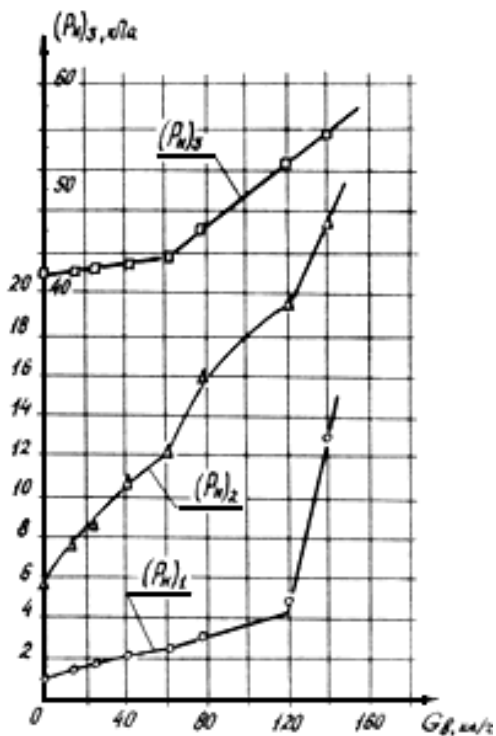
Параметр	Тип эжектора						
	ЭП-3-600	ЭПО-3-75	ЭПО-3-150	ЭП-3-100/300	ЭП-3-55/150	ЭПО-3-220	ЭПО-3-135
Максимальная рабочая производительность на сухом воздухе, G_B^* , кг/ч	<u>70</u>	<u>110</u> при $t_{1,0} = 36^\circ\text{C}$ $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 105$ кПа	<u>70</u> при $t_{1,0} = 30,5^\circ\text{C}$ <u>180</u> при $t_{1,0} = 20^\circ\text{C}$ $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 105$ кПа	<u>350</u> при $t_{1,0} = 30^\circ\text{C}$ и $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 131$ кПа	<u>240</u> при $t_{1,0} = 25^\circ\text{C}$ и $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 145$ кПа	<u>310</u> при $t_{1,0} = 4^\circ\text{C}$ и $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 145$ кПа	<u>125</u> при $t_{1,0} = 25^\circ\text{C}$ $P_c^{\text{ВЫБЛ}} = 105$ кПа
Давление перед I ступенью при максимальной рабочей производительности на сухом воздухе, P_H^* , кПа	<u>2,5</u>	<u>5,0</u>	<u>1,3</u> при $t_{1,0} = 30,5^\circ\text{C}$ <u>3,5</u> при $t_{1,0} = 20^\circ\text{C}$	<u>2,5</u>	<u>3,1</u>	<u>4,0</u>	<u>5,0</u>
Объемная производительность на паровоздушной смеси, V_H , $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$	<u>3000</u>	<u>3840</u> при $t_H = 20,4^\circ\text{C}$ $G_B = 25$ кг/ч (испытания)	<u>4960</u> при $t_H = 27^\circ\text{C}$ $G_B = 50$ кг/ч (испытания)	<u>13750</u> при $t_H = 17^\circ\text{C}$ и $G_B = 183$ кг/ч	<u>11200</u> при $t_H = 21^\circ\text{C}$ и $G_B = 76$ кг/ч	<u>7675</u> при $t_H = 23^\circ\text{C}$ и $G_B = 88$ кг/ч	<u>4230</u> при $t_H = 32^\circ\text{C}$ и $G_B = 45$ кг/ч
Давление / температура пара перед соплами, P_p/t_p , МПа / $^\circ\text{C}$	<u>1,27/400</u>	<u>0,49/160</u>	<u>0,49/160</u>	<u>0,49/160</u>	<u>0,49/160</u>	<u>0,79/170</u>	<u>0,49/155</u>

Параметр	Тип эжектора																				
	ЭП-3-600			ЭПО-3-75			ЭПО-3-150			ЭП-3-100/300			ЭП-3-55/150			ЭПО-3-220			ЭПО-3-135		
Номер ступени	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Диаметр критического сечения сопла, d_p^* , мм	6,8	6,8	6,8	9,0	12,4	15,6	13,5	19,5	22,0	28,5	22,5	24,5	24,0	25,5	21,0	16,0	16,0	20,3	12,0	12,0	10,4
Диаметр выходного сечения сопла, d_{p1} , мм	32,0	21,0	14,0	42,0	32,0	30,0	67,0	56,0	40,0	112	54	40	105	70	35	76	45	31	35	33	18
Длина расширяющейся части сопла, l_c , мм	137	51	13	117	95	52	242	165	82	330	150	117	340	240	70	273	143	63	165	80	36
Расстояние от сопла до камеры смешения, $l_{ск}$, мм	65	40	20	73	71	1	160	92	68	116	64	0	130	80	32	154	87	67	75	30	29
Длина конической части камеры смешения $l_{кон}$, мм	265	165	140	300	220	140	340	250	150	325	420	300	262	200	110	113	122	72	290	165	110
Диаметр входного сечения камеры смешения, d_2 , мм	135	70	33	113	86	54	162	110	63	172	112	82	225	120	65	157	92	68	100	63	42
Диаметр цилиндрической части камеры смешения, d_3 , мм	92	46	22	73	55,2	35	114	84	50	147	85	55	170	96	52	133	75	58	67	43	28
Диаметр выходного сечения диффузора, d_4 , мм	135	89	60	138	130	104	250	216	125	320	196	161	290	184	111	300	187	138	127	87	60
Длина цилиндрической	265	165	140	300	220	140	340	250	150	912	650	360	497	500	220	792	600	422	290	225	110

Параметр	Тип эжектора																				
	ЭП-3-600			ЭПО-3-75			ЭПО-3-150			ЭП-3-100/300			ЭП-3-55/150			ЭПО-3-220			ЭПО-3-135		
ского участка камеры смещения, $l_{ц}$, мм																					
Длина диффузора, $l_{д}$, мм	400	400	370	370	425	390	780	660	400	1000	666	636	571	365	304	622	480	428	428	318	233
Расход рабочего пара, G_p , м/ч	200	200	200	171	325	516	385	804	945	1700	1075	1270	1225	1390	932	840	840	1360	296	296	258
Поверхность теплообменников, F , м ²	14,3	8,4	5,1	14,0	9,6	7,6	40	30	20	30,0	13,3	-	49,1	35,7	24,5	49,1	35,7	24,5	15,3	17,9	17,9
Средняя длина трубок теплообменников, $L_{ср}$, мм	2450	2350	2250	1095	1095	1095	3300	3300	3300	3780	3780	-	2900	2900	2900	2900	2900	2900	1200	1500	1500
Количество трубок в теплообменнике, n , шт.	98	60	38	224	154	122	202	152	102	113	59	-	283	206	141	283	206	141	133	133	133
Расход охлаждающей воды через теплообменник, G_o , т/ч	75	46	29	165	165	165	222	167	112	149	78	-	500	297	203	337	245	168	200	200	200
Суммарный расход рабочего пара, ΣG_p , кг/ч	600			1012			2135			4045			3547			3040			850		

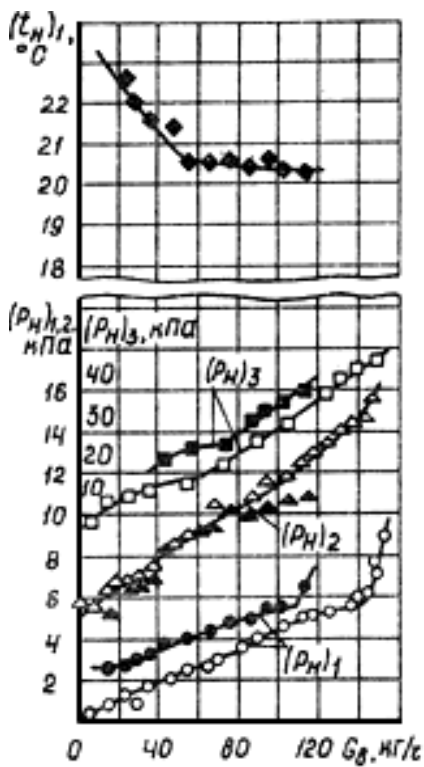
На чертежах 9-14 приведены характеристики шести пароструйных эжекторов.

Характеристики эжектора ЭП-3-3 при эжектировании сухого воздуха
 ($P_p = 0,490$ МПа; $t_p = 237$ °С; $G_0 = 74$ т/ч; $t_{1,0} = 31,7$ °С; $t_H = 30$ °С)



Черт.9

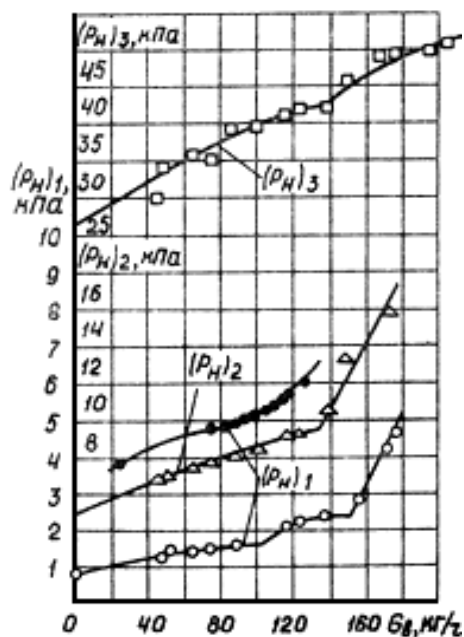
Характеристики эжектора ЭПО-3-75 при эжектировании сухого воздуха
 ($\circ, \Delta, \square - P_p = 0,589$ МПа; $t_p = 160$ °С; $t_H = 20$ °С) и паровоздушной смеси
 ($\bullet, \blacktriangle, \blacksquare, \blacklozenge - P_p = 0,500$ МПа; $t_H = 180$ °С; $t_H = \text{var}$).



Черт.10

Характеристики эжектора ЭПО-3-150 при эжектировании сухого воздуха

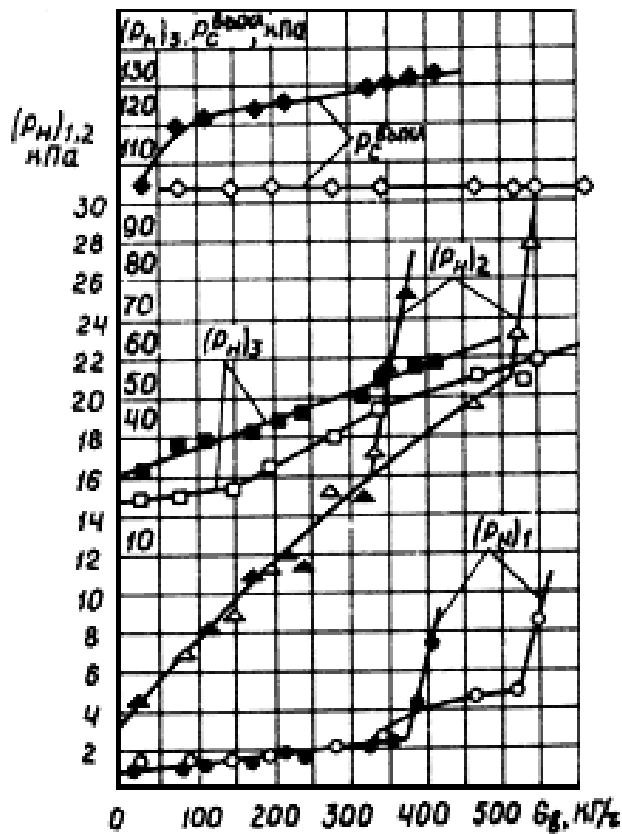
(○, △, □ - $P_p = 0,589$ МПа, $t_p = 175$ °С, $G_0 = 845$ т/ч, $t_{1,0} = 30,5$ °С, $t_H = 27$ °С)
 и паровоздушной смеси (● - $P_H = 0,638$ МПа; $t_p = 175$ °С, $G_0 = 1130$ т/ч, $t_{1,0} = 32,8$ °С).



Черт.11.

Характеристики эжектора ЭП-3-100/300 при эжектировании сухого воздуха

($t_{1,0} = 29$ °С; $t_H = 20$ °С; $P_p = 0,491$ МПа; $t_p = 170$ °С; $G_0 = 200$ т/ч)

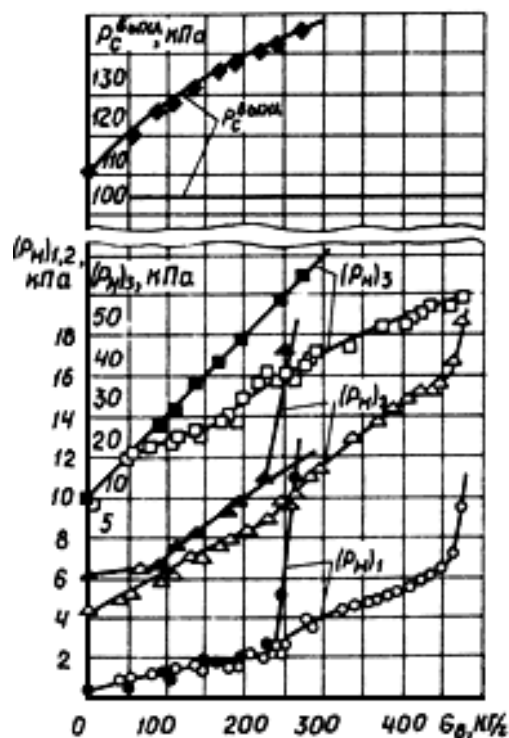


Черт.12

Характеристики эжектора ЭП-3-55/150 при эжектировании сухого воздуха

$t_H = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $P_p = 0,491\text{ МПа}$; $G_0 = 200\text{ т/ч}$; $t_{1,0} = 24\text{ }^\circ\text{C}$; $\circ, \triangle, \square, - P_c = 103\text{ кПа}$; $t_p = 160\text{ }^\circ\text{C}$;

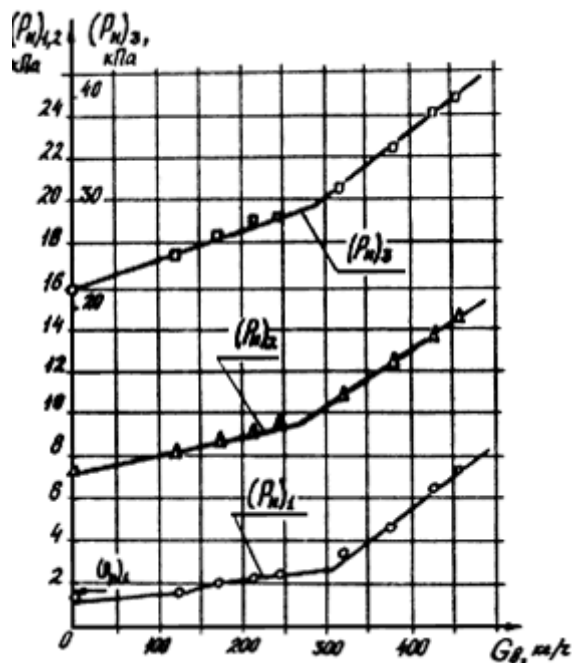
$\bullet, \blacktriangle, \blacksquare, \blacklozenge - P_c = 110\text{ кПа}$; $t_p = 190\text{ }^\circ\text{C}$.



Черт.13

Характеристики эжектора ЭПО-3-220 при эжектировании сухого воздуха

$(t_H = 20\text{ }^\circ\text{C}$; $P_p = 0,589\text{ МПа}$; $t_p = 160\text{ }^\circ\text{C}$; $P_c^{\text{вхлп}} = 105\text{ кПа}$; $t_{1,0} = 4\text{ }^\circ\text{C}$)



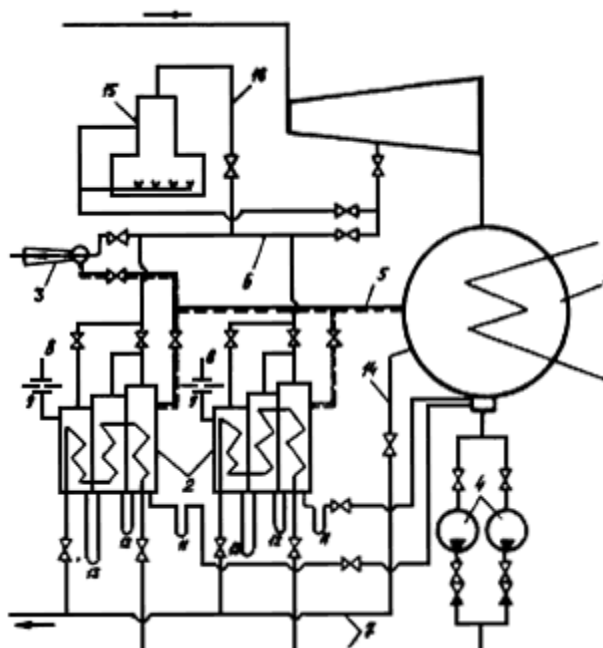
Черт.14

1.8. Конденсационная установка оборудуется двумя и более основными пароструйными эжекторами, из которых один является резервным и включается в работу в случае появления повышенных присосов воздуха. Установка двух или трех пароструйных эжекторов обладает также тем существенным преимуществом, что она допускает возмож-

ность производства работ, требующих выключения аппарата (очистка сопел, заглушение или замена поврежденных трубок теплообменников и т.п.), при работающей турбине.

Схема конденсационной установки с двумя пароструйными эжекторами представлена на черт.15. В турбоустановках ПО ХТЗ питание основных эжекторов при пуске и малых нагрузках турбины осуществляется от коллектора собственных нужд через редукционную установку на АС и редукционно-охладительную установку на ТЭС.

Схема конденсационной установки с двумя эжекторами



- 1 - конденсатор; 2 - основные эжекторы; 3 - пусковой эжектор; 4 - конденсатные насосы;
5 - подвод паровоздушной смеси из конденсатора; 6 - подвод рабочего пара; 7 - охлаждающая вода
(основной конденсат); 8 - выхлоп эжекторов; 9 - воздухомер; 11, 12, 13 - гидрозатворы;
14 - рециркуляция конденсата; 15 - деаэратор; 16 - выпар деаэратора

Черт.15

Модернизированные схемы питания рабочим паром эжекторов типов ЭПО-3-150 и ЭП-3-55/150, а также схема питания эжектора ЭПО-3-135 предусматривают подвод пара к первым двум ступеням эжектора из общего коллектора, перед которым установлен регулирующий орган, а к третьей - индивидуальный подвод пара со своим регулирующим органом. Это позволяет в случае необходимости регулировать расход пара на третью ступень, а также использовать пароструйный аппарат третьей ступени при отключенных по пару первых двух в качестве пускового эжектора.

1.9. Дренажные линии, по которым конденсат рабочего пара отводится из теплообменников эжектора, снабжаются гидравлическими затворами или подпорными шайбами (диафрагмами). Этим устраняется возможность опорожнения дренажных линий или работы их неполным сечением, при которой неконденсирующиеся газы из теплообменника могли бы по дренажной линии поступать в теплообменник предыдущей ступени, либо в конденсатор, вновь возвращаясь затем в эжектор и перегружая его.

Высоты гидрозатворов (h) в метрах между ступенями эжектора при каскадном сливе конденсата должны отвечать условию:

$$h \geq 0,2[P_{(i+1)} - P_i]$$

где i - номер ступени;

P - давление в теплообменнике i -ой ступени, кПа.

Высота гидрозатвора между первой ступенью эжектора и конденсатором определяется с учетом аналогичного условия при разности давлений: $P_{(i=1)} - P_K$, где P_K - давление в конденсаторе, кПа.

1.10. Охлаждающая вода (основной конденсат) поступает в теплообменники эжектора под давлением, создаваемым конденсатным насосом. Так как при холостом ходе турбины или низких ее нагрузках расход основного конденсата может быть недостаточным для обеспечения нормальной работы теплообменников эжектора, предусматривается специальная линия для рециркуляции конденсата. Присоединение этой линии к конденсатору выполняется таким образом, чтобы нагретый в эжекторе конденсат, прежде чем вновь поступить в конденсатный насос, стекал бы по трубкам конденсатора и отдавал воспринятое в эжекторе тепло охлаждающей воде.

При подводе линии рециркуляции в днище конденсатора для эффективного охлаждения конденсата нижние ряды трубок конденсатора затапливаются. При этом необходимо, чтобы воздухоохладитель не был залит конденсатом и к нему был обеспечен доступ отсасываемой паровоздушной смеси.

1.11. Эжектор снабжается манометром и термометром на трубопроводе рабочего пара за (по ходу его движения) регулирующим органом и мановакуумметрами, присоединенными к приемным камерам пароструйных аппаратов. Эжекторы одноконтурных АС оснащаются также термосопротивлениями для измерения температуры парогазовой смеси в приемных камерах пароструйных аппаратов. На выхлопном патрубке может быть установлен воздухомер (ТЭС и двухконтурные АС) или другое устройство (напр. измерительная шайба) с приборами для измерения давления и температуры парогазовой смеси перед ним, а также перепада давления (одноконтурные АС). Воздухомер представляет собой устройство дроссельного типа, совмещающее измерительную диафрагму и показывающий прибор (черт.21,а).

1.12. Для поддержания требуемой концентрации гремучей смеси в эжекторах одноконтурной АС предусматривается возможность подачи рабочего пара перед теплообменником третьей ступени эжектора и установка регулирующего клапана на выходе охлаждающей воды из теплообменника третьей ступени. Регулировка клапана должна осуществляться по импульсу от температуры парогазовой смеси на выхлопе эжектора.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

2.1. Для контроля работы эжектора необходимо знать его характеристику, то есть зависимость давления всасывания от режимных факторов в рабочем диапазоне их значений.

Давление всасывания эжектора (P_H) зависит от:

- массового расхода эжектируемой парогазовой смеси G_H ;
- термодинамических параметров эжектируемой парогазовой смеси: показателя адиабаты K_H и критической скорости a_{H*} ;
- параметров рабочего пара перед эжектором P_p, t_p ;
- температуры $t_{1,0}$ и расхода G_0 охлаждающей воды, поступающей в теплообменники.

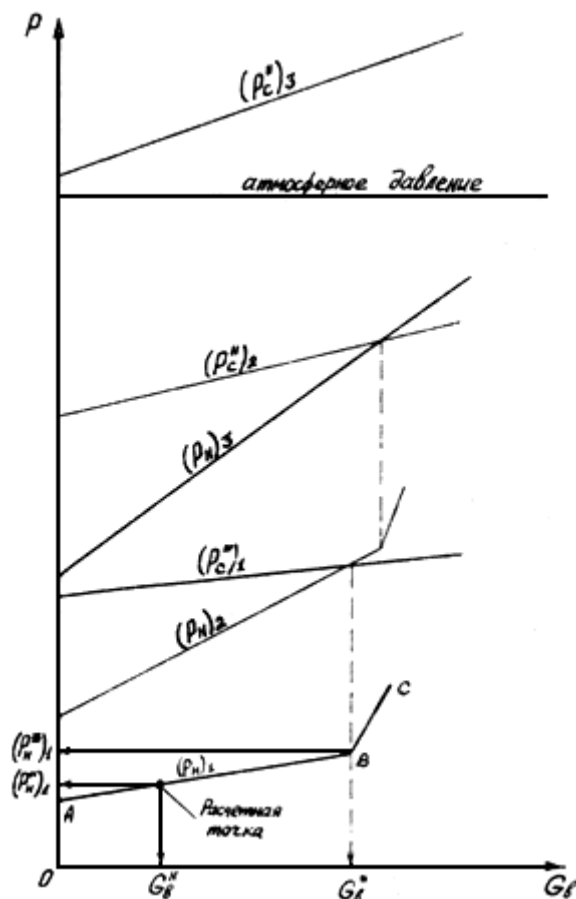
В условиях эксплуатации основными причинами, вызывающими изменение давления всасывания эжектора, являются:

- изменение массового расхода эжектируемой парогазовой смеси;
- изменение в ней соотношения количеств неконденсирующихся газов и водяного пара.

Содержание пара в насыщенной парогазовой смеси при фиксированных расходе неконденсирующихся газов и ее давлении определяет ее температуру, поэтому наиболее удобными для практических целей являются характеристики эжектора, представленные в форме зависимости давления всасывания (P_H) от расхода сухого воздуха G_B при различных температурах эжектируемой парогазовой смеси t_H . Для эжекторов одноконтурных АС необходимо учитывать присутствие в эжектируемой смеси радиолизных газов, количество которых зависит от расхода пара в конденсаторе (нагрузки турбины) и от процесса радиолиза в реакторе.

2.2. Характеристика эжектора вида $P_H = f(G_B^*)$ состоит из двух участков (черт.16). Первый участок, отвечающий изменению расхода воздуха от нуля до некоторого значения G_B^* , называется рабочим участком характеристики (А-В). Второй участок, отвечающий условию $G_B > G_B^*$ называется перегрузочным участком характеристики (В-С). Эти два участка характеристики эжектора соответствуют двум различным режимам работы пароструйного аппарата его первой ступени - предельному и допредельному, а переход одного из этих режимов к другому зависит от того, является ли действительное противодавление рассматриваемого пароструйного аппарата большим или меньшим, чем его предельное противодавление.

Характеристики ступеней многоступенчатого эжектора



Черт.16

На черт.16 схематически изображены также характеристики ступеней трехступенчатого эжектора ТЭС, отражающие особенности совместной работы последовательно включенных пароструйных аппаратов. На этом рисунке обозначены:

- $(P_H^H)_1$ - давление всасывания эжектора при нормированном присосе воздуха и расчетной температуре эжектируемой паровоздушной смеси;
- $(P_H^*)_1$ - давление всасывания эжектора при его максимальной рабочей производительности по сухому воздуху;
- G_B^H - нормированные присосы воздуха; $G_B^{H1)}$ - максимальная рабочая производительность эжектора по сухому воздуху;
- _____
1) Соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.
- $(P_H)_1, (P_H)_2, (P_H)_3$ - давления всасывания пароструйных аппаратов первой, второй и третьей ступеней;

- $(P_c^*)_1, (P_c^*)_2, (P_c^*)_3$ - предельные противодавления пароструйных аппаратов первой, второй и третьей ступеней.

В трехступенчатом эжекторе первая и вторая ступени работают с переменными противодавлениями, равными давлению всасывания следующих за ними ступеней (потери давления паровоздушной смеси в теплообменниках обычно весьма незначительны - до одного килопаскаля). В области расходов воздуха, меньших G_B^* , действительные противодавления меньше предельных и пароструйный аппарат работает на предельном режиме, а при больших расходах воздуха $P_H > P_c^*$ и пароструйный аппарат переходит на допредельный режим работы. В общем случае значение расхода воздуха, разделяющее предельный и допредельный режимы для каждой ступени, может не быть одинаковым.

2.3. Характеристики эжектора вида $P_H = f(G_B)$ при различных температурах отсасываемой парогазовой смеси t_H представляют собой в пределах их рабочих участков практически эквидистантные линии.

Каждая характеристика пересекает ось ординат в точке, отвечающей давлению насыщенного водяного пара $P_{пн}$ при температуре t_H , то есть начальная точка характеристики однозначно определяется величиной t_H и не зависит от каких-либо других режимных или конструктивных факторов.

2.4. Объемную производительность эжектора V_H в кубических метрах в час определяют с использованием законов Клапейрона-Менделеева и Дальтона для идеальных газов по замеренным: расходу неконденсирующихся газов в эжектируемой смеси (с помощью воздухомера или другого измерительного устройства, установленных на выхлопе аппарата), давлению и температуре эжектируемой парогазовой смеси (методику измерений см. в р.3)

$$V_H = \frac{(G_B + G_G)R_{BG}(t_H + 273,15)}{P_H - P_{пн}}, \quad (1)$$

где

$$R_{BG} = \frac{R_B G_B + R_G G_G}{G_B + G_G}; \quad (2)$$

$P_{пн}$ - парциальное давление пара, Па (определяется по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара при температуре t_H и состоянии насыщения);

R_G - газовая постоянная гремучей смеси, равная 687 Дж/(кг·град);

G_G - массовый расход гремучей смеси в эжектируемой парогазовой смеси, кг/ч;

Для ТЭС и двухконтурных АС $G_G = R_G = 0$.

Объемная производительность пароструйного аппарата в общем случае не является постоянной величиной и зависит от геометрических размеров сопла и камеры смешения, параметров рабочего пара, а также от меняющихся параметров эжектируемой парогазовой смеси при изменении расхода воздуха в ней. В диапазоне давлений всасывания P_H меньших статического давления рабочего пара в сечении среза рабочего сопла $P_{р1}$, сопло работает в режиме недорасширения.

При возрастании P_H в этом диапазоне объемная производительность эжектора увеличивается и имеет максимальное значение при $P_H = P_{р1}$. Дальнейшее увеличение P_H приводит к изменению режима работы сопла, оно начинает работать в режиме перерасширения и объемная производительность эжектора несколько снижается, но в за-

висимости от конкретных условий (геометрии аппарата и его режимных параметров) это снижение может быть весьма незначительно или вообще отсутствовать.

В случае параллельной работы двух эжекторов общая их объемная производительность является суммой производительностей каждого эжектора.

2.5. Большей частью заводы-изготовители ограничиваются снятием характеристики эжектора при отсасывании им воздуха из помещения. Заводская характеристика, снятая на сухом воздухе, прилагается к паспорту эжектора и позволяет проверить в случае необходимости качество его изготовления или монтажа. Но она не может быть непосредственно использована для эксплуатационного контроля в условиях, когда эжектор отсасывает из конденсатора паровоздушную смесь, содержащую по массе до 50% и более насыщенного водяного пара.

Рабочий участок характеристики, снятой на сухом воздухе, обычно располагается как в области с $P_H < P_{p1}$, так и в области $P_H > P_{p1}$, то есть эжектор на предельном режиме работает с переменной объемной производительностью. При эжектировании паровоздушной смеси ее массовый расход чаще всего превышает значение, при котором давление всасывания равно статическому давлению рабочего пара в выходном сечении сопла и объемная производительность эжектора в этом диапазоне давлений обычно почти постоянна. Следует однако иметь в виду, что в зависимости от расчетных значений давления всасывания и расхода эжектируемой парогазовой смеси, выбранных при проектировании аппарата, а также конкретных условий работы эжектора, то есть фактических присосов воздуха и расхода пара в смеси, эжектор может работать на парогазовой смеси и на участке характеристики с переменной объемной производительностью.

Предельное противодавление пароструйного аппарата I ступени меняется в зависимости от того, отсасывается ли сухой воздух или паровоздушная смесь. Поэтому по характеристике, снятой при эжектировании сухого воздуха, нельзя судить о максимальной рабочей производительности эжектора при работе его на паровоздушной смеси.

2.6. Для контроля работы эжектора на электростанции недостаточно знать его характеристики, снятые на сухом воздухе. Необходимо располагать характеристиками эжектора при отсасывании им паровоздушной смеси. Такие характеристики могут быть получены путем проведения специальных испытаний на работающей турбине, методика которых описана в п.4.4.1.

Можно построить эксплуатационные характеристики при помощи приближенного способа на основе опытных данных, полученных при испытании эжектора на сухом воздухе.

Построение характеристик вида $P_H = f(G_B)$ для разных значений температуры паровоздушной смеси t_H производится в этом случае с использованием формулы

$$P_H = P_{пн} + G_B \times a, \quad (3)$$

где

$$a = \frac{P_H^* - 0,45}{0,95 G_B^*}, \quad (4)$$

$P_{пн}$ (кПа) - парциальное давление насыщенного пара в эжектируемой паровоздушной смеси, соответствующее принятой температуре t_H ;

P_H^* (кПа) - давление эжектируемой паровоздушной смеси на входе в эжектор при его максимальной массовой рабочей производительности по сухому воздуху G_B^* (кг/ч).

Расход воздуха, при превышении которого эжектор перегружается в случае отсасывания паровоздушной смеси, несколько меньше G_B^* и зависит от температуры основного конденсата, возрастающей вместе с температурой удаляемой из конденсатора паровоздушной смеси. Поэтому построенные описанным выше способом характеристики

для паровоздушной смеси могут использоваться обычно при расходах воздуха в отсасываемой эжектором смеси меньше $(0,7-0,8) G_B^*$.

2.7. Достаточность производительности эжектора для заданных условий может быть определена по двум характерным величинам: объемной производительности эжектора (его первой ступени) V_H при отсасывании паровоздушной смеси, определяющей расположение рабочего участка его характеристик при $t_H = \text{const}$:

максимальной рабочей производительности эжектора G_B^* при отсасывании сухого воздуха, определяющей диапазон работы эжектора без перегрузки.

Объемная производительность (V_H) в метрах кубических в час подсчитывается или непосредственно по данным испытаний с использованием формул п.2.4. или, если последние велись только при работе эжектора на сухом воздухе, по приближенной формуле

$$V_H = \frac{0,85 G_B^*}{P_H^* - 0,45}$$

Величина объемной производительности, отнесенная к номинальному расходу пара в конденсатор, то есть $V_H / D_K^{\text{ном}}$ должна составлять нормально около 20 кубометров на тонну пара и не опускаться ниже 10-15 кубометров на тонну пара. При установке нескольких эжекторов на конденсатор указанная производительность должна обеспечиваться всеми эжекторами.

3. ИСПЫТАНИЯ И НАЛАДКА ЭЖЕКТОРА

3.1. Необходимость в проверке качества работы и наладке нового эжектора, смонтированного заводом-изготовителем, или эжектора, вводимого в эксплуатацию после ремонта, возникает только в том случае, если при пробных пусках турбины обнаруживаются ненормальности в его работе или неудовлетворительная работа конденсационной установки, причем есть основания предполагать, что причиной недостаточного вакуума в конденсаторе является плохая работа эжектора.

3.2. Проверка работы эжектора, для которого имеется заводская характеристика, снятая на сухом воздухе, если эта проверка должна быть произведена, может заключаться в проведении контрольного испытания при эжектировании сухого воздуха.

Полученная опытная характеристика сопоставляется с заводской. Если при расчетных параметрах рабочего пара, расходе и температуре охлаждающей воды действительная характеристика отличается от заводской, должны быть выяснены причины этого. Следует различать два случая:

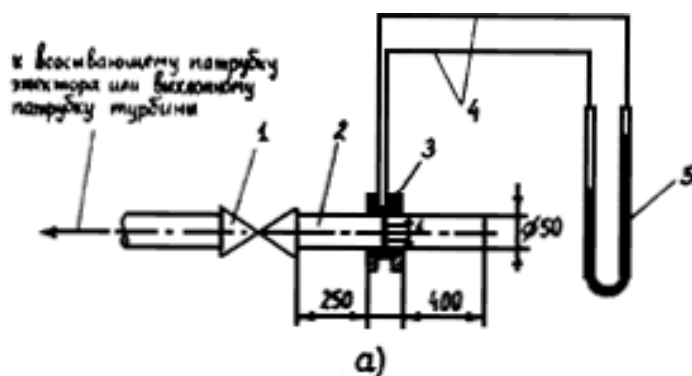
- рабочий участок опытной характеристики располагается на всем его протяжении выше рабочего участка заводской характеристики;
- действительная характеристика в пределах ее рабочего участка совпадает с заводской, но протяженность этого участка меньше, то есть перегрузка эжектора (переход на допредельный режим) начинается при меньшем расходе воздуха.

В первом случае причину нужно искать в ненормальной работе пароструйного аппарата I ступени эжектора, во втором случае - также и следующих ступеней, включая их пароструйные аппараты и теплообменники (см. р.5).

3.3. Для снятия характеристики эжектора при отсасывании им сухого воздуха должна быть закрыта задвижка на трубопроводе, по которому подается парогазовая смесь из конденсатора в эжектор. На приемном патрубке эжектора должен быть установлен фланец с устройством (сопло, диафрагма) для измерения расхода эжектируемого воздуха (черт.17). После измерительного устройства следует установить вентиль для регулирования его расхода. Изготовление и установка измерительного устройства, а также измерения должны производиться согласно РД 50-213-80 "Пра-

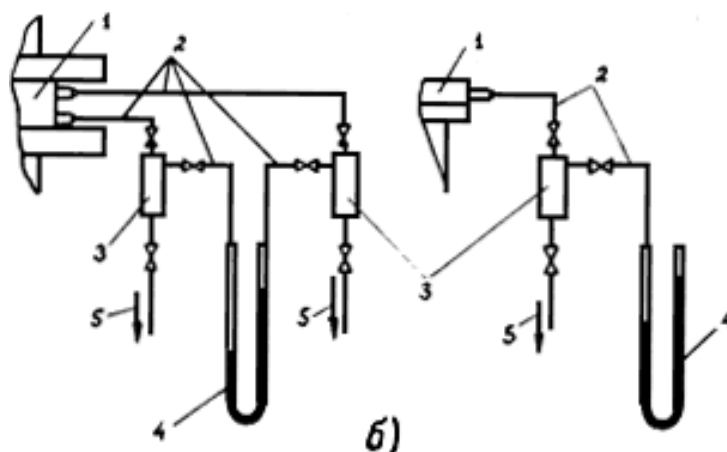
вила измерения расхода газов, жидкостей и паров стандартными сужающими устройствами".

Устройство для впуска воздуха в эжектор или конденсатор турбины и измерения его расхода



- 1 - вентиль; 2 - трубопровод; 3 - дроссельное устройство; 4 - импульсные линии;
5 - U-образный дифманометр.

Схемы подключения показывающего прибора к устройствам для измерения расхода воздуха при выхлопе эжектора в машзал (открытый) и при выхлопе эжектора в атмосферную трубу (закрытый)



- 1 - измерительное устройство (дроссельное); 2 - импульсные линии; 3 - разделительные сосуды;
4 - U-образные дифманометры; 5 - слив конденсата.

Черт.17

При заполнении дифманометра водой расход воздуха через измерительную шайбу за час (G_B) в кг определяют по формуле

$$G_B = 0,433 \times 10^6 \times \alpha \times d^2 \sqrt{H}, \quad (6)$$

где α - коэффициент расхода;

d - диаметр отверстия шайбы, м;

H - перепад уровней воды в дифманометре, м.

Так как отношение давления всасывания эжектора к атмосферному меньше критического, измерение расхода воздуха может быть произведено без дифманометра при помощи сменных сопел с критическим расходом воздуха. Расход воздуха в этом случае может быть приближенно определен по формуле

$$G_B = 0,67 d_c^2, \quad (7)$$

где d_c - диаметр сопла, мм.

Ниже в табл.2 приведены значения расходов воздуха для сопел различных диаметров.

Таблица 2

d_c , мм	2	3	4	5	6	7	8	9
G_B , кг/ч	2,7	6,0	10,7	16,7	24,1	32,8	42,9	54,3
d_c , мм	10	11	12	15	17	19		
G_B , кг/ч	67	81	96	150	192	240		

Параметры рабочего пара при снятии характеристики поддерживают постоянными.

Расход эжектируемого воздуха следует постепенно увеличивать открытием вентиля или путем установки сопел с большим диаметром отверстия.

Кроме расхода отсасываемого воздуха, должны измеряться следующие параметры:

- 1) давление в приемной камере каждого пароструйного аппарата, например, при помощи ртутных дифманометров.
- 2) Соединение дифманометра с эжектором должно производиться трубкой из вакуумной резины с внутренним диаметром не менее 4 мм. На соединительных трубках II и III ступеней должны быть разделительные сосуды с вентилями для слива конденсата (черт.17).
- 3) Давление всасывания (P_H) в килопаскалях определяют по формуле

$$P_H = B - (H + \Delta K) \rho_{рт} \times 0,00981, \quad (8)$$

где B - барометрическое давление, кПа;

H - показание дифманометра, м;

ΔK - поправка на капиллярность (при диаметре стеклянной трубки дифманометра 8-10 мм и высоте мениска 0,6-1,2 мм $\Delta K = 0,0005$ м);

$\rho_{рт}$ - плотность ртути при температуре воздуха в помещении.

Для расчета ($\rho_{рт}$) в килограммах на метр кубический можно использовать следующую зависимость

$$\rho_{рт} = 13645 - 2,4(t + 20) \quad (9)$$

Кроме ртутного дифманометра, для измерения давления парогазовой смеси в приемной камере пароструйного аппарата первой ступени может быть использован тензорезисторный преобразователь абсолютного давления типа

"Сапфир" 22ДА, модель 2020, выпускаемый по ТУ 25.02 720136-81 заводом "Манометр" (г.Москва) и имеющий погрешность измерения 0,25% в диапазоне давлений от 0 до 10 кПа. Для измерения давления парогазовой смеси в приемных камерах пароструйных аппаратов второй и третьей ступеней можно использовать образцовые пружинные вакуумметры.

2) давление P_p и температура t_p рабочего пара перед эжектором могут быть измерены образцовым манометром и ртутным термометром, соответственно.

Расход рабочего пара (G_p) в килограммах в час вычисляют по формуле

$$G_p = 2,28f_p^* \sqrt{P_p/v_p}, \quad (10)^1$$

где f_p^* ¹⁾ - площадь критического сечения сопла, мм ²;

P_p - давление рабочего пара, МПа;

v_p - удельный объем рабочего пара, м ³ /кг.

¹⁾ Формула и экспликация к ней соответствуют оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

Для насыщенного пара зависимость v_p от температуры t_p приведена в табл.3.

Таблица 3

$t_p, ^\circ\text{C}$	120	140	160	180	200	220	240
$v_p, \text{кг/м}^3$	0,892	0,509	0,307	0,194	0,127	0,086	0,0596

4) расход и температуры охлаждающей воды ($G_0, t_{1,0}, t_{2,0}$).

5) Расход охлаждающей воды (G_0) в тоннах в час замеряют с помощью стандартной измерительной диафрагмы, установленной на трубопроводе, подводящем охлаждающую воду (основной конденсат к эжектору). Однако, на электростанциях установка штатного измерительного устройства на этом трубопроводе обычно не предусматривается, поэтому необходимо либо специально монтировать его для испытаний, либо ограничиться оценкой расхода охлаждающей воды, используя уравнение теплового баланса

$$G_0 = \frac{\sum G_p (i_p - 4,19t_d)}{(t_{1,0} - t_{2,0})4,19 \times 10^3}, \quad (11)$$

где $\sum G_p$ - суммарный расход рабочего пара на все ступени эжектора, кг/ч;

i_p - удельная энтальпия рабочего пара, кДж/кг;

$t_{1,0}, t_{2,0}$ - температура охлаждающей воды на входе и выходе, $^\circ\text{C}$;

t_d - температура дренажа эжектора, $^\circ\text{C}$.

Удельную энтальпию насыщенного пара можно определить по t_p с использованием зависимости, приведенной в табл 4.

Таблица 4

$t_p, ^\circ\text{C}$	120	140	160	180	200	220	240
$i_p, \text{кДж/кг}$	2707	2734	2758	2777	2791	2800	2802

Температуры охлаждающей воды на входе ($t_{1,0}$) и выходе ($t_{2,0}$) эжектора, а также температура дренажа (t_d) может быть измерена ртутными термометрами, установленными в гильзах, заполненных маслом или водой.

4) Температуры парогазовой смеси в приемных камерах пароструйных аппаратов II и последующих ступеней.

Замеры этих температур должны производиться ртутными термометрами без защитных гильз, установленными через резиновые уплотнения в корпусе эжектора. В эжекторах одноконтурных АС температуры парогазовой смеси измеряются штатными термометрами сопротивления.

Длительность каждого опыта (при неизменном расходе воздуха) должна составлять не менее 5 минут.

Форма сводки результатов испытаний эжектора приведена в табл.5.

Таблица 5

Параметр	Условное обозначение	Единица измерения
№ опыта		
Время замера		
Барометрическое давление	B	кПа
Давление рабочего пара	P_p	МПа
Температура " "	t_p	$^\circ\text{C}$
Расход*	$(G_p)_{1,2,3}$	кг/ч
Температура эжектируемого воздуха	$(t_n)_1$	$^\circ\text{C}$
Температура парогазовой смеси после теплообменников*	$(t_n)_{2,3}$	$^\circ\text{C}$
Давление всасывания*	$(P_n)_{1,2,3}$	кПа
Расход охлаждающей воды	G_0	т/ч
Температура охлаждающей воды на входе в эжектор	$t_{1,0}$	$^\circ\text{C}$
Температура охлаждающей воды на выходе из эжектора	$t_{2,0}$	$^\circ\text{C}$

* Параметры измеряют и вносят в таблицу для каждой ступени эжектора.

В случае испытания эжектора для одноконтурной АС необходимо также измерять давление парогазовой смеси на выходе эжектора ($P_c^{\text{вЫХЛ}}$). При этом, если испытания проводятся на заводском стенде, то паровоздушная смесь из эжектора направляется в атмосферу. Имитацию газодинамического сопротивления УСГС (см. п.1.2) производят регулирующим органом, устанавливаемым на выхлопном патрубке аппарата. Степень открытия регулирующего органа подбирают таким образом, чтобы при нормированном расходе эжектируемого воздуха разность между измеренным давлением паровоздушной смеси до регулирующего воздуха и барометрическим давлением была равна расчетной величине газодинамических потерь в УСГС.

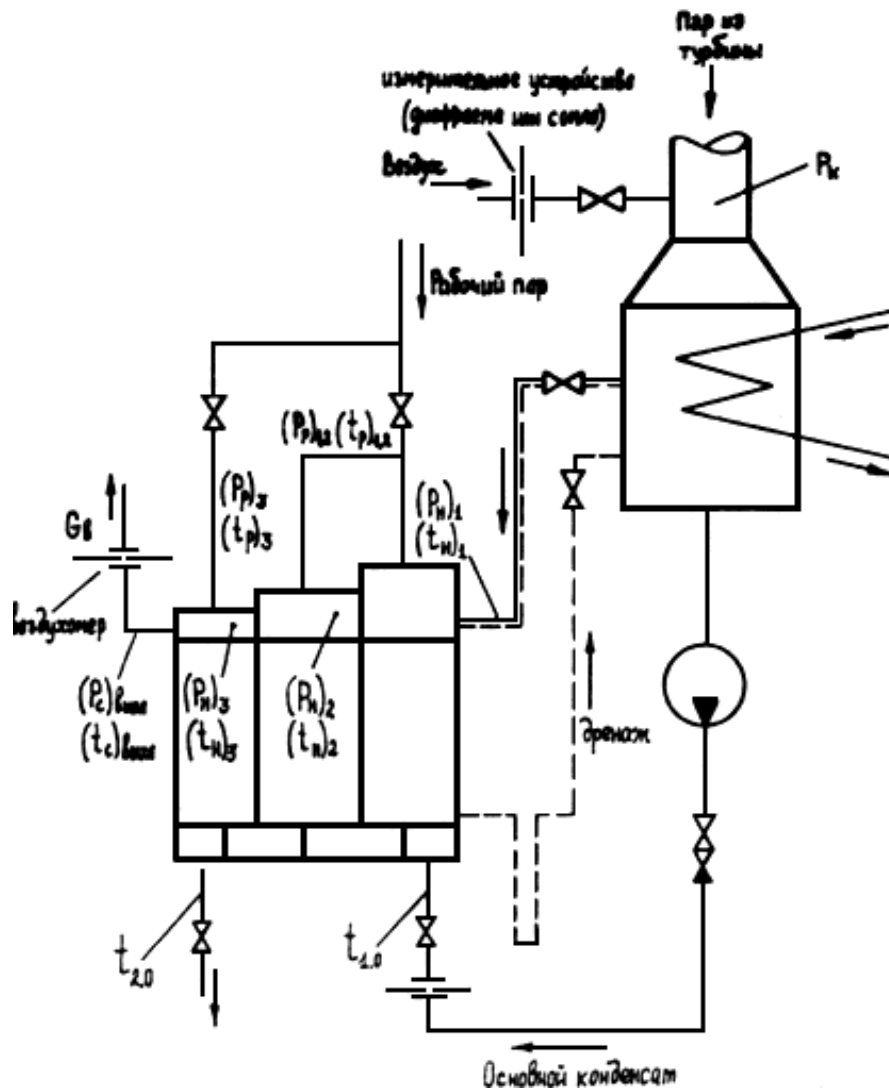
Если испытания проводятся на электростанции, то паровоздушная смесь из эжектора направляется по байпасной линии мимо УСГС и далее через камеру выдержки в атмосферу. Газодинамическое сопротивление УСГС имитируют

при этом задвижкой на байпасной линии. Расход смеси неконденсирующихся газов ($G_{\text{Б}}^{\text{ЭКВ}}$), состоящей из воздуха и заданного постоянного расхода гремучего газа, в этих испытаниях заменяется эквивалентным расходом воздуха, определяемым по формуле:

$$G_{\text{Б}}^{\text{ЭКВ}} = G_{\text{В}} + G_{\text{Г}} \frac{R_{\text{Г}}}{R_{\text{В}}}. \quad (12)$$

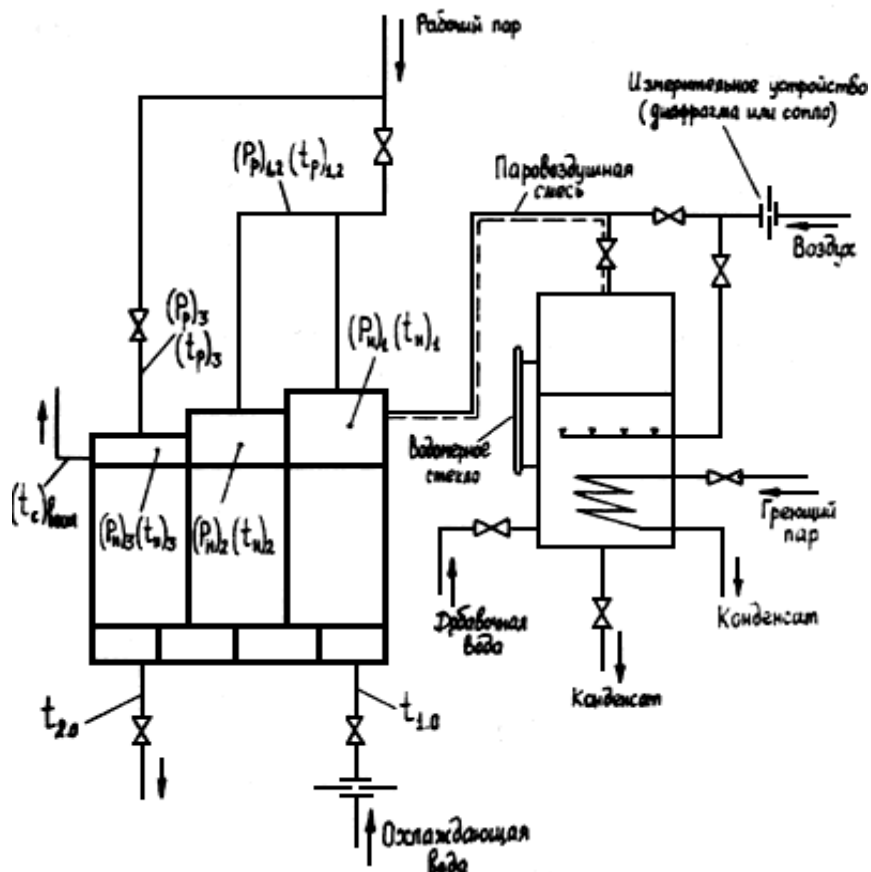
3.4. Получение характеристики пароструйного эжектора при отсасывании парогазовой смеси можно осуществить как на действующей конденсационной установке без выключения эжектора из нормальной работы (черт.18), так и на специальном стенде (черт.19).

Схема испытаний эжектора на работающей турбоустановке



Черт.18

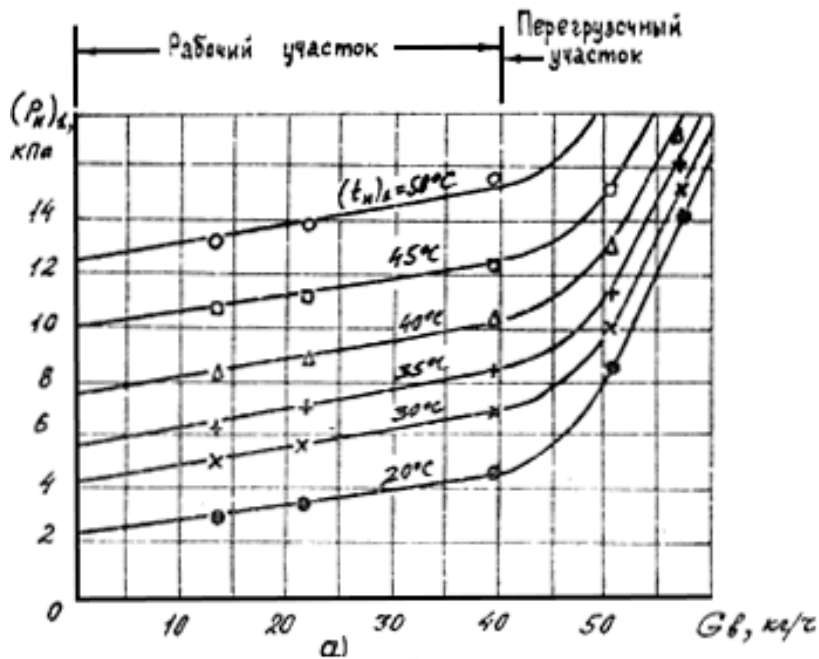
Схема испытаний эжектора на сухом воздухе и паровоздушной смеси на стенде



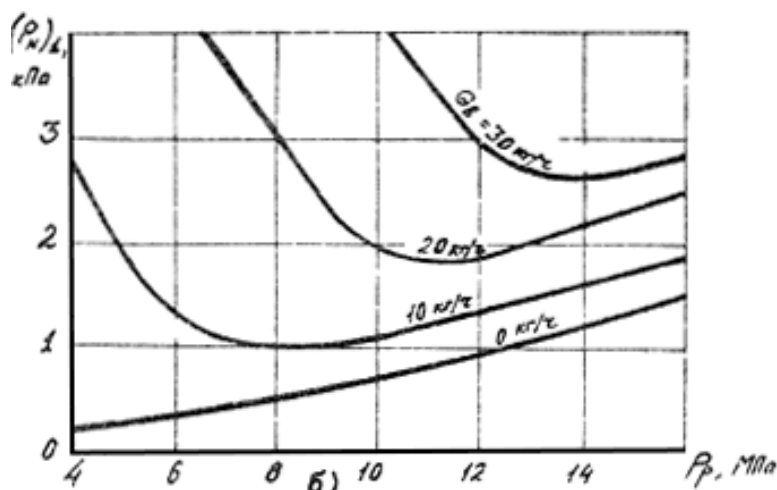
Черт.19

Типичные характеристики эжектора при отсасывании паровоздушной смеси различной температуры приведены на черт.20,а.

Характеристики эжектора $(P_{п1})_1 = f(G_B)$ при отсасывании парогазовой смеси различной температуры $(t_{п1})$



Характеристики эжектора $(P_H)_1 = f(P_P)$ при различных расходах эжектируемого воздуха (G_B)



Черт.20

3.4.1. Для снятия характеристики пароструйного эжектора на действующей конденсационной установке следует через штуцер, присоединенный к выхлопному патрубку турбины или горловине конденсатора, дополнительно вводить некоторое количество воздуха, не выходя за пределы, при которых температура отработавшего пара становится выше максимально допустимой для данной турбины, что означает начало перегрузки эжектора.

3.4.2. Измерение суммарного расхода воздуха (дополнительно вводимого и проникающего через неплотности в системе) можно производить при помощи воздухомера на выхлопном патрубке эжектора или измерительного устройства (диафрагмы или сопла), непосредственно измеряющего расход добавочно подаваемого в конденсатор воздуха. В последнем случае воздухомер служит для определения величины присоса воздуха через неплотности в вакуумной системе (черт.18).

3.4.3. Измерения расхода воздуха, давления всасывания, температуры парогазовой смеси после теплообменников по ступеням эжектора, а также оценку расхода охлаждающей воды производят так же, как и при снятии характеристики эжектора на сухом воздухе.

3.4.4. Температуру эжектируемой из конденсатора парогазовой смеси измеряют с помощью термометра без защитной гильзы, вставленного в трубопровод через резиновое уплотнение (пробку).

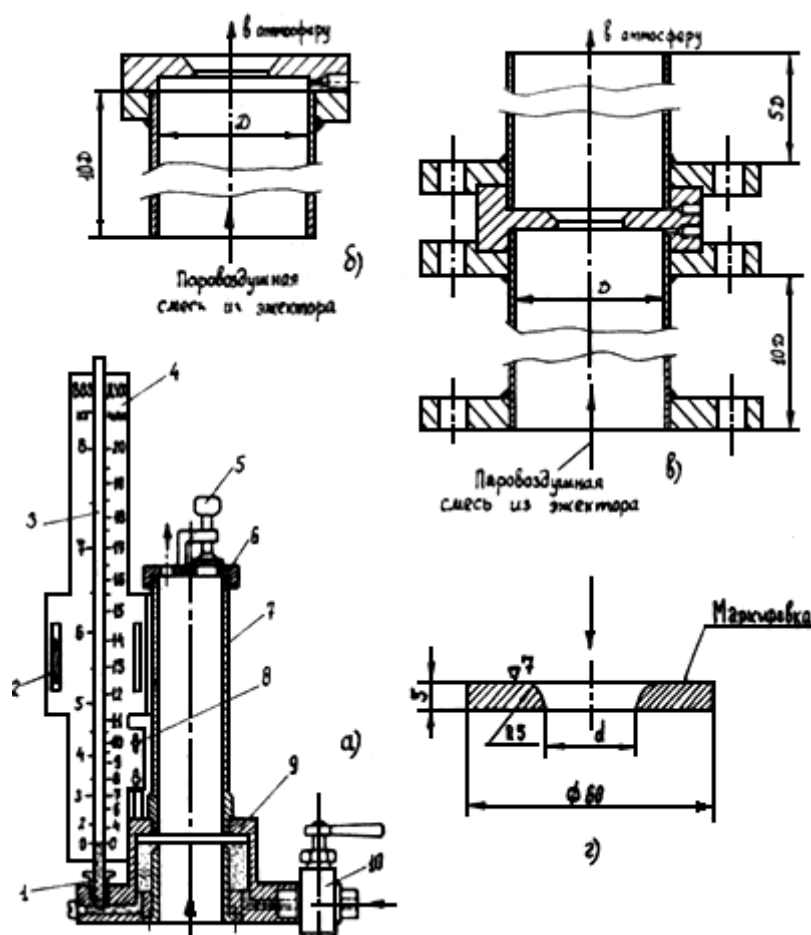
3.4.5. В процессе снятия характеристики необходимо контролировать давление пара в горловине конденсатора перед его трубным пучком. Увеличение расхода добавочного воздуха следует производить до тех пор, пока вакуум в конденсаторе не начнет резко падать, или температура пара в горловине конденсатора не превысит допустимого значения, что означает начало перегрузки эжектора.

3.4.6. Для получения характеристики при другой температуре эжектируемой смеси следует провести опыты при другом режиме работы конденсатора (например, при другой паровой нагрузке).

3.4.7. В случае, если в работе находятся два или три эжектора, то необходимо измерять расходы неконденсирующихся газов на выхлопах всех работающих эжекторов, в то время, как все другие параметры измеряют только у эжектора, характеристика которого снимается. Измерение расходов газов через выхлопные патрубки всех работающих эжекторов необходимо, потому что распределение отсасываемого воздуха по эжекторам может быть неравномерным.

На черт.21 изображены чертежи устройств для измерения расхода воздуха на выходе из эжектора.

Устройства для измерения расхода воздуха на выходе эжектора



- а) дроссельный воздухомер ВТИ типа ДВ-3: 1 - грундбукса с сальником; 2 - указатель шкалы; 3 - стеклянная трубка; 4 - шкала; 5 - затвор; 6 - дроссельный орган; 7, 9 - патрубки; 8 - крепление шкалы; 10 - пробковый кран; б) выхлоп эжектора в машинный зал (открытый); в) выхлоп эжектора через атмосферную трубу (закрытый); г) калиброванное сопло для измерения расхода воздуха.

Черт.21

Если выход паровоздушной смеси из эжектора осуществляется через трубу в атмосферу (двухконтурная АС), устройство для измерения расхода воздуха и схему измерений следует выполнять согласно черт.21 в. Перепад давлений на измерительной диафрагме должен измеряться с помощью \cup -образного водяного дифманометра. При выхлопе паровоздушной смеси в машинный зал измерительное устройство выполняется согласно черт.21б, а перепад давлений измеряется водяным \cup -образным дифманометром, одно колено которого сообщается с атмосферой.

Расход воздуха в паровоздушной смеси (G_B) килограмм в час рассчитывают по формуле

$$G_B = K \cdot 0,0065d^2 \sqrt{H} \quad (13)$$

где d - диаметр отверстия диафрагмы, мм;

H - перепад уровней воды в водяном дифманометре, мм;

K - коэффициент, зависящий от температуры паровоздушной смеси перед измерительным устройством (табл.6).

$t_{см}$, °С	20	40	50	60	70	80
К	1,16	1,11	1,06	1,00	0,89	0,74

Температуру паровоздушной смеси $t_{см}$ измеряют ртутным термометром, установленным перед измерительным устройством на расстоянии 200-300 мм без защитной гильзы через уплотнение в трубопроводе.

Диаметр отверстия измерительной диафрагмы рассчитывают исходя из того, что перепад уровней воды в U-образном дифманометре не должен превышать 300-400 мм при максимальном принятом расходе воздуха.

Следует отметить, что при использовании основного эжектора в процессе пуска турбины, когда он удаляет большое количество воздуха, измерительная диафрагма на его выхлопе может вызывать большие потери давления и время набора вакуума увеличивается. Поэтому установку измерительных диафрагм на выхлопе эжекторов следует производить на работающей турбине и только на время проведения испытаний.

3.4.8. Снятие характеристики эжектора на специальном стенде требует приготовления насыщенной паровоздушной смеси заданного состава (температуры). Для этого засасываемый из помещения воздух перед поступлением его в эжектор пропускают через слой воды в смесительном баке (черт.19). Воду в баке подогревают до нужной температуры при помощи пара, который может подаваться или в установленный в баке змеевик, или непосредственно в нагреваемую воду. Температура поступающей во всасывающий патрубок эжектора паровоздушной смеси равна температуре воды в баке.

3.4.9. Измерения параметров работы эжектора производят так же, как и при снятии характеристики эжектора на работающей конденсационной установке.

- Методика проведения опытов может быть принята следующей:
- устанавливают определенный, не изменяемый в дальнейшем расход воздуха;
- постепенно увеличивают подачу пара для нагрева воды в баке и повышают тем самым температуру отсасываемой паровоздушной смеси, а соответственно и давление во всасывающем патрубке эжектора.
- При определенных температурах смеси, примерно через каждые 5 °С, производят одновременное измерение всех величин. Верхний предел температуры смеси - 60 °С.
- После достижения максимальной температуры смеси следует выключить греющий пар, слить из бака нагретую воду и заполнить его холодной водой. После этого провести опыты при другом расходе воздуха.

Опыты могут быть проведены и таким образом, чтобы непосредственно получить характеристики, изображенные на черт.20,а. Для этого следует изменять расход воздуха, поддерживая все время определенную температуру воды в баке.

3.5. Настройка эжектора подразумевает:

- 1) выбор оптимального значения давления рабочего пара;
- 2) выбор оптимального расстояния между соплом и камерой смешения в пароструйных аппаратах всех ступеней, при которых аппарат потребляет минимальное количество рабочего пара и одновременно обеспечивает надежное поддержание требуемого давления в конденсаторе.

Определение оптимального давления рабочего пара нельзя проводить при произвольном расходе эжектируемого воздуха, а тем более при холостом ходе, то есть при полностью закрытой задвижке на всасывающем трубопроводе. Давление пара, обеспечивающее достаточно низкое давление всасывания при холостом ходе или при небольшом расходе засасываемого сухого воздуха, может оказаться недостаточным, чтобы предотвратить перегрузку эжектора в условиях эксплуатации при несколько повышенном присосе воздуха в вакуумную систему турбоустановки.

Оптимальное давление рабочего пара определяют при эжектировании сухого воздуха следующим образом. Устанавливают определенный расход воздуха с помощью измерительного устройства и регулировочного вентиля (черт.19) и меняют давление рабочего пара. При этом измеряют давления воздуха (I ст.) и паровоздушной смеси (II и последующие ступени) в приемных камерах пароструйных аппаратов.

Те же измерения производятся при других расходах воздуха. Строятся зависимости давления всасывания первой ступени от давления рабочего пара при постоянном расходе воздуха. Примерный вид этих зависимостей приведен на черт.20,б. Выбирают такое значение давления рабочего пара, которое при принятом значении расхода эжектируемого воздуха обеспечивает минимальное давление всасывания.

Полученная при испытаниях неблагоприятная характеристика может иногда обуславливаться тем, что расстояние между соплом и камерой смешения для одной или всех ступеней отклоняется от требуемого (оптимального) для данного эжектора. Выбор оптимального расстояния от сопла до камеры смешения производят путем снятия характеристик ступеней эжектора при различных расположениях сопл. Изменять расположение сопл следует начиная от последней ступени и, установив для нее оптимальное расстояние от сопла до камеры смешения, переходить к предыдущей ступени.

Изменение расположения сопла во второй и третьей ступенях, а соответственно и характеристики этих ступеней не отражаются на работе первой ступени в пределах рабочего участка ее характеристики, но могут приводить к заметному изменению расхода воздуха, при котором наступает перегрузка первой ступени. Оптимальным для второй ступени является такое расстояние от сопла до камеры смешения, при котором протяженность рабочего участка характеристики первой ступени является наибольшей.

Опыты с различным расположением сопла первой ступени должны проводиться при оптимальном расположении сопла во второй и третьей ступенях.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

4.1. Включение в работу основного эжектора при пуске турбины должно производиться после того, как включен конденсатный насос и через теплообменники эжектора обеспечена подача достаточного количества охлаждающей воды по линии рециркуляции основного конденсата. Также должны работать эжекторы уплотнений.

4.2. В зависимости от организации процесса пуска турбины и от того, может ли третья ступень основного эжектора быть использована автономно как пусковой эжектор, включение основного эжектора может осуществляться из различных ситуаций:

- набор вакуума происходит при работе одного или группы пусковых эжекторов;
- набор вакуума происходит при одновременной работе третьей ступени основного эжектора и пусковых эжекторов.

В первом случае пуск основного эжектора должен производиться после создания пусковыми эжекторами разрежения (P_K) в конденсаторе не более 22 кПа. Для этого после включения подачи рабочего пара на сопла основного эжектора и создания разрежения в его приемной камере открывается задвижка на трубопроводе, по которому подается парогазовая смесь из конденсатора к эжектору.

Во втором случае задвижка на трубопроводе подвода парогазовой смеси к основным эжекторам открыта и для пуска основного эжектора необходимо только подать пар к соплам первой и второй ступеней.

В обоих случаях во избежание срыва вакуума в результате присоса воздуха через пусковой эжектор необходимо сначала отсоединить последний от конденсатора путем закрытия задвижки на всасывающей воздушной линии, а затем уже прекратить подачу на него рабочего пара.

4.3. При наличии двух или более основных эжекторов, даже если не обеспечено автономное питание рабочим паром их третьих ступеней, в период пуска турбины они все могут быть включены в работу. Это может потребоваться, если пусковыми эжекторами не удастся создать требуемое разрежение в конденсаторе из-за большого присоса воздуха или с целью ускорения пуска турбины.

4.4. При эксплуатации эжектора необходимо:

- а) поддерживать нормальное (по возможности расчетное) давление рабочего пара перед эжектором;
- б) поддерживать в чистоте поверхность охлаждения теплообменников с водяной и паровой стороны и своевременно заменять поврежденные трубки, не допуская длительной работы с большим числом заглушенных трубок в теплообменниках;
- в) контролировать расход охлаждающей воды (основного конденсата) по нагреву ее в теплообменниках и не допускать понижения этого расхода ниже установленного предела для данного эжектора;
- г) следить за чистотой, исправным состоянием и действием дренажных устройств: гидравлических затворов, дроссельных шайб и перепускных трубок, снабженных регулируемыми вентилями,
- д) обеспечить достаточную плотность фланцевых соединений и арматуры, особенно работающей под вакуумом;
- е) своевременно выяснять и устранять причины явных ненормальностей в работе эжектора (см. р.5);
- ж) чередовать работу эжекторов, включая резервный согласно установленному графику их работы, а также включать в работу второй эжектор, когда присос воздуха близок к пределу, указанному в местной инструкции.

4.5. Для того чтобы установить, является ли причиной ухудшения вакуума при отсутствии повышенного присоса воздуха плохая работа конденсатора или эжектора, можно произвести следующую проверку.

Когда включен только один эжектор, сначала перейти на работу с другим эжектором. Если в результате такого переключения разрежение в конденсаторе возрастает, то это будет свидетельствовать о неисправности находившегося ранее в работе эжектора.

При совместной работе двух эжекторов показателем неисправности одного из них может являться резкое различие расходов отсасываемого ими воздуха, обнаруживаемое по показаниям воздухомеров. Неисправный эжектор отсасывает при этом значительно меньшее количество воздуха по сравнению с исправным.

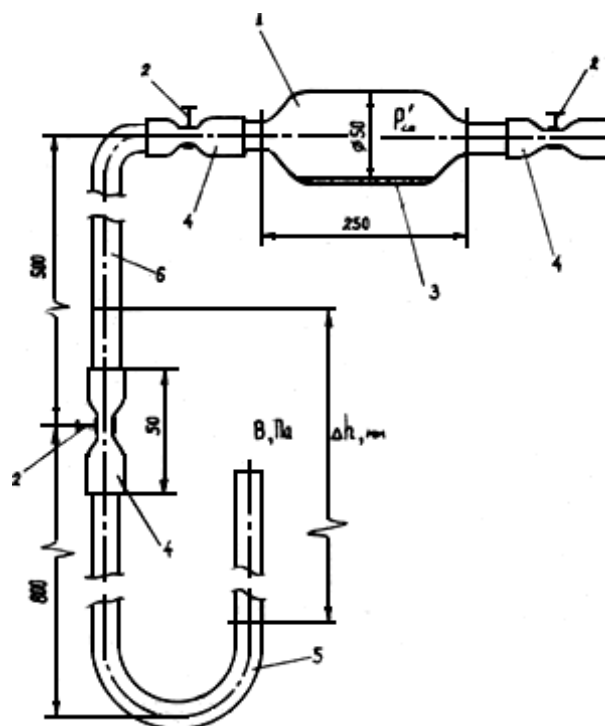
4.6. При работе турбины с ухудшенным вакуумом в конденсаторе для экономии пара можно отключать первую и вторую ступени эжектора. Решение об отключении одной первой или первой и второй ступеней принимается на основании анализа характеристик ступеней рассматриваемого эжектора.

4.7. На одноконтурных АС в процессе эксплуатации эжекторов необходимо контролировать концентрацию радиолизного водорода в парогазовой смеси на выхлопе эжектора.

4.7.1. Для этого из штуцера на выхлопном трубопроводе эжектора берется порция (проба) парогазовой смеси в сосуд известного объема V (см³). На выхлопе эжектора штатными приборами измеряются давление ($P_{см}$) в килопаскалях и температура ($t_{см}$) парогазовой смеси в градусах Цельсия.

4.7.2. Водяной пар конденсируется из парогазовой смеси в объеме пробы, пока она доставляется от места установки эжектора до химлаборатории. При этом температура газов в пробе становится равной температуре воздуха в помещении химлаборатории $t_{см}$, а давление сухих газов в ней $P'_{см}$ становится меньше, чем давление парогазовой смеси на выхлопе эжектора $P_{см}$.

4.7.3. Измерение давления сухих газов в объеме пробы может быть выполнено с помощью U-образного водяного или ртутного дифманометра. Длина соединительной линии между дифманометром и сосудом должна быть как можно меньше, и объем воздуха в ней должен составлять не более 5% от объема сосуда с пробой газов. На черт.22 представлен стеклянный сосуд для забора пробы парогазовой смеси с U-образным ртутным дифманометром. Давление газов в сосуде определяется как разность барометрического давления и перепада уровней рабочей жидкости в дифманометре.

Сосуд для пробы парогазовой смеси с \cup -образным дифманометром для определения концентрации водорода

1 - стеклянным сосуд; 2 - зажимы; 3 - конденсат; 4 - резиновая трубка диаметром 10x3 мм; 5 - \cup -образный дифференциальный манометр; 6 - стеклянная трубка диаметром 10x3 мм.

Черт.22

4.7.4. В химлаборатории электростанции измеряют объемную концентрацию радиолизного водорода в смеси сухих газов в объеме пробы (C'_{H_2}) в процентах.

4.7.5. Определяют парциальное давление водорода с помощью измеренных давления смеси сухих газов в объеме пробы ($P'_{см}$) в килопаскалях и его концентрации (C'_{H_2}) в процентах по формуле

$$P'_H = \frac{C'_H}{100} P'_{см} \quad (14)$$

4.7.8. Определяют объемную концентрацию водорода (C_{H_2}) в процентах в парогазовой смеси по формуле

$$C_{H_2} = 100 \times \frac{P'_{H_2} (t_{см} + 273,15)}{P_{см} (t'_{см} + 273,15)} \quad (15)$$

4.7.9. Объемные концентрации кислорода [$(R_{O_2} = 260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$)] и азота [$(P_{N_2} = 297 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$)] в парогазовой смеси определяют аналогично.

4.7.10. Объемную концентрацию водяного пара в насыщенной парогазовой смеси на выхлопе эжектора (C_{H_2O}) в процентах находят по парциальному давлению (P_{H_2O}) в килопаскалях, которое определяют с помощью таблиц свойств водяного пара по измеренной температуре ($t_{см}$) в градусах Цельсия, и общему давлению парогазовой смеси ($P_{см}$) в килопаскалях как их отношению $100 \times P_{H_2O} / P_{см}$.

4.7.11. В случае, если концентрация радиолизного водорода в парогазовой смеси превышает допустимое значение, необходимо изменить режим работы эжектора. Для этого у эжектора ЭП-3-55/150 предусмотрена возможность регулирования расхода охлаждающей воды через теплообменник III ступени, а также подача дополнительного пара на вход этого теплообменника. При этом возможно повышение давления на выходе эжектора, могущее вызвать переход эжектора на допредельный режим работы. В этом случае одновременно следует повысить давление рабочего пара до значения, при котором эжектор станет работать на предельном режиме.

4.8. Основные неполадки, возникающие в процессе эксплуатации эжектора, вызванные отклонением внешних по отношению к нему режимных параметров (давления рабочего пара, температуры и расхода охлаждающей воды) или разрушением какого-либо элемента конструкции эжектора, причины возникновения и способы устранения приводятся в таблице 7.

Таблица 7

Признак неполадки	Причина неполадки	Способ устранения
1. Повышение давления всасывания эжектора по сравнению с отвечающим данному режиму (G_B, t_H) по его характеристике	Избыточное давление рабочего пара	Понизить давление рабочего пара в пределах, не вызывающих нарушения устойчивой работы и перегрузки эжектора
	Переток части парогазовой смеси из II ступени в I через уплотнения между ступенями эжектора	Заменить уплотнения между ступенями
	Переток части парогазовой смеси (рециркуляции) через гидрозатвор, из-за недостаточной его высоты	Увеличить высоту гидрозатвора
2. Неустойчивая работа эжектора-пульсации давления всасывания и давления парогазовой смеси на выхлопе эжектора	Недостаточный расход рабочего пара вследствие пониженного давления рабочего пара или засорения паровых сеток, рабочих сопел (продуктами коррозии, окислины и др.)	Повысить давление рабочего пара или очистить сетки или сопла от загрязнений
	3. Снижение максимальной рабочей производительности эжектора	Недостаточный расход или высокая температура охлаждающей воды на входе в эжектор
4. Гидравлические удары внутри корпуса эжектора, "запаривание" и выбрасывание воды из выхлопного патрубка	Низкое давление рабочего пара	Повысить давление рабочего пара
	Загрязнение поверхности теплообмена теплообменников эжектора с водяной или паровой стороны	Провести механическую или химическую чистку трубок теплообменников
	Уменьшение поверхности теплообмена из-за заглушения большого числа поврежденных трубок	Заменить поврежденные трубки новыми
	Затопление теплообменников конденсатом рабочего пара из-за плохой работы дренажной системы, что приводит к уменьшению проходного сечения 1-го хода теплообменника для парогазовой смеси	Наладить нормальный дренаж конденсата из теплообменников
	Попадание в паровое пространство теплообменника охлаждающей воды через поврежденные трубки	Заменить поврежденные трубки новыми

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Пароструйный аппарат - устройство, в котором за счет работы, производимой над эжектируемой парогазовой смесью рабочим паром, образуется парогазовая смесь с давлением, превышающим давление эжектируемой.

Теплообменный аппарат (теплообменник) - устройство, в котором охлаждается парогазовая смесь с конденсацией из нее водяного пара и одновременно нагревается охлаждающая вода.

Многоступенчатый пароструйный эжектор - установка, в которой ступенчато повышается давление эжектируемых неконденсирующихся газов в последовательно включенных пароструйных аппаратах, а водяной пар из парогазовой смеси конденсируется в теплообменниках, установленных за каждым пароструйным аппаратом.

Степень многоступенчатого пароструйного эжектора - пароструйный аппарат с теплообменником, на вход которого поступает парогазовая смесь из этого пароструйного аппарата.

Рабочий пар - водяной пар, поступающий в сопла пароструйных аппаратов.

Эжектируемый (пассивный) поток - смесь неконденсирующихся газов и водяного пара; для первой ступени - удаляемая эжектором из конденсатора турбины; для второй и последующих ступеней - поступающая на вход этих ступеней из теплообменников предыдущих.

Характеристика пароструйного аппарата - функциональная зависимость двух параметров: обычно, давления эжектируемой среды на входе в аппарат (P_H) или давления смешанной (сжатой) среды на выходе из аппарата (P_C) от расхода воздуха в эжектируемой парогазовой смеси (G_B) при различных ее температурах (t_H).

Предельный режим работы пароструйного аппарата - режим, в котором при неизменных давлениях рабочего пара (P_P) и эжектируемой парогазовой смеси (P_H) давление за диффузором аппарата (P_C) не влияет на расход последней. Такой режим для пароструйного аппарата является рабочим.

Предельное противодавление пароструйного аппарата - значение давления парогазовой смеси на выходе из пароструйного аппарата (P_C''), ниже которого при фиксированных P_P и P_H изменение давления P_C не влияет на расход эжектируемой среды.

Максимальная рабочая производительность пароструйного аппарата по неконденсирующимся газам ($G_{БГ}^*$) - расход неконденсирующихся газов в эжектируемой смеси, превышение которого приводит к переходу пароструйного аппарата на допредельный режим работы и резкому возрастанию давления эжектируемой смеси на входе в аппарат. Максимальная рабочая производительность пароструйного аппарата по неконденсирующимся газам указывается при определенных параметрах рабочего пара (P_P, t_P), температуре эжектируемой смеси (t_H), расходе (G_0) и температуре ($t_{1.0}$)