

ЦЕНА 1 р. 60 к.

ЭТ - 40 - 3 - 2 (3)

*ВСЕСОЮЗНЫЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. Ф. ДЗЕРЖИНСКОГО*

А. С. АЛЕКСАНДРОВ

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПАРОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



ЭНЕРГОИЗДАТ • 1933

ВСЕСОЮЗНЫЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. Ф. ДЗЕРЖИНСКОГО

А. С. АЛЕКСАНДРОВ

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПАРОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

7399939

Республиканская
научно-техническая библиотека
Атрымана ў дар ад У. К. СЕР-
СІЕНКО, В. А. ФЕТИСОВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — 1933 — ЛЕНИНГРАД

АННОТАЦИЯ

Предлагаемая книга представляет собой руководство по конденсационным устройствам паросиловых установок, написанное в доступной форме и рассчитанное на эксплуатационный персонал (машинисты и помощники машинистов).

Редактор С. М. Посев.
Технический редактор Чаров.

Поступило к печати с матриц 7 июля 1953 г.

Формат бумаги 62х94.

Количество печ. листов 7½.

Индекс ЭТ-4 -3-2(3).

Учред. Главлита № 13-37534.

Заказ № 2651.

Энергоиздат № 399.

Тираж 5000 экз.

4-й тип. ОНТИ НКТП СССР «Красный Печатник», Ленинград, Международная пр., 73а.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

К моменту написания этой книги в нашей технической литературе не было ни одного пособия специально по конденсационным установкам, доступного читателю, не получившему подготовки в технической школе. Имеющиеся книги по конденсационным установкам (например Макеева, Радцига и др.) рассчитаны в большинстве случаев на проектирующих инженеров и совершенно недоступны рабочему-читателю. В общих же курсах паровых машин, рассчитанных на малоподготовленного читателя (например Н. И в а н о в, Описательный курс паровых машин и др.), вопросу конденсации посвящается лишь небольшая глава, и даваемые сведения в большинстве случаев крайне недостаточны.

Предлагаемая книга как раз и имеет целью заполнить указанный пробел. Поскольку она рассчитана на читателя без специальной технической подготовки (преимущественно на эксплуатационный персонал паросиловых установок — машинистов и их помощников), сведения расчетного характера в ней совершенно отсутствуют. Помимо лиц, непосредственно занятых в производстве, книга может быть также полезной и учащимся технических школ при прохождении ими производственной практики на фабриках, заводах и электростанциях, имеющих паросиловые установки.

Предметом изложения книги являются конденсационные устройства как паровых турбин, так и паровых поршневых машин, но наибольшее внимание автором уделено поверхностной конденсации паровых труб, в настоящее время весьма широко применяющейся на электростанциях и представляющей наибольший интерес.

А. Александров.

Москва, 1932 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Г Л А В А I.	
Конденсация пара и назначение конденсационного устройства.	
1. Конденсация пара	7
2. Польза, приносимая конденсацией	9
3. Измерение вакуума	12
4. Глубина вакуума в конденсаторах паровых двигателей и расход пара	14
5. Способы конденсации пара	16
Г Л А В А II.	
Конденсация смещением.	
6. Сущность конденсации пара смещением (впрыскивающая конденсация)	17
7. Конструкции впрыскивающих конденсаторов с мокровоздушными насосами простого действия	22
8. Конструкции впрыскивающих конденсаторов с мокровоздушными насосами двойного действия	24
9. Детали впрыскивающих конденсационных установок	28
a) Впрыскивающий аппарат	—
b) Клапаны	30
c) Поршни	32
d) Уплотнение штока поршни	34
10. Мокровоздушные насосы со всасывающими щельями	—
11. Впрыскивающая конденсация локомотивов	36
12. Расположение и привод мокровоздушных насосов	37
13. Уход за впрыскивающей конденсационной установкой	39
a) Осмотр установки перед пуском в работу	—
b) Пуск в ход и работа	42
c) Остановка	—
d) Неисправности в работе	43

	Стр.
14. Центральная смешивающая конденсация	43
15. Струйная (эжекторная) конденсация	50
16. Смешивающая конденсация для глубокого вакуума	53

ГЛАВА IV.

Поверхностная конденсация.

17. Сущность поверхностной конденсации пара	56
18. Детали поверхностных конденсаторов	61
а) Соединение конденсатора с турбиной	—
б) Корпус конденсатора	62
в) Охлаждающие трубы	—
г) Трубинные доски	63
д) Крепление труб конденсатора	—
19. Современные конструкции поверхностных конденсаторов	64
а) Основные требования к современному поверхностному конденсатору	—
б) Конденсаторы фирмы Бальке (Германия)	68
в) Конденсаторы Броун-Бовери (Швейцария)	70
г) Конденсаторы Метрополитен-Виккерс (Англия)	71
д) Конденсаторы AEG (Германия)	72
е) Конденсаторы фирмы Контрафло (Англия)	72
ж) Конденсаторы фирмы Мирлис-Вотсон	73
з) Конденсаторы фирмы Вилер	74
20. Конденсатный и циркуляционный насосы	74
21. Устройства для удаления воздуха из конденсаторов	79
а) Водоструйные эжекторы	80
б) Ротационные воздушные насосы (типа Вестингауз-Леблан и AEG)	84
в) Пароструйные воздушные насосы (паровые эжекторы)	89
22. Общее расположение поверхностных конденсационных установок	94
23. Неисправности в работе поверхностных конденсационных установок	96
а) Ухудшение вакуума	96
б) Затопление конденсатора водой	99
в) Ухудшение качества конденсата	99
24. Чистка конденсатора	100
а) Механические способы очистки	100
б) Химические способы	101
25. Уход за поверхностной конденсационной установкой	101
а) До пуска в ход	101
б) Пуск в ход	101
в) Работа	102
г) Остановка	102
д) Во время остановки турбины	102
26. Поверхностная конденсация паровых поршневых машин	102
а) Паровые маслоотделители	104
б) Маслоотделители для воды (масляные фильтры)	105
27. Испарительные конденсаторы	106

Г Л А В А IV.

Вторичное охлаждение воды.

28. Охлаждающие пруды	103
29. Градирни	108
a) Открытые градирни	110
b) Закрытые градирни с естественной тягой	110
c) Закрытые градирни с искусственной тягой	115
d) Оценка работы градирни и диаграмма зоны охлаждения	115
30. Список литературных источников	119

ГЛАВА I.

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРА И НАЗНАЧЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА.

1. Конденсация пара.

Конденсационное устройство является одной из важнейших частей большинства современных паросиловых установок. Назначение его — путем конденсации отработавшего пара поддерживать в выпускном патрубке машины или турбины давление ниже атмосферного. Выясним, что понимают под конденсацией пара и каким образом удается поддерживать в выпускном патрубке машины давление ниже атмосферного.

Конденсацией водяного пара называется обращение его в капельно-жидкое состояние, т. е. в воду. Достигается конденсация пара охлаждением его и представляет собой процесс, обратный процессу парообразования. Для обращения в пар воды, имеющей температуру 0°C , мы должны сообщить этой воде сначала тепло, чтобы нагреть ее до температуры кипения (сообщить ей так называемую «теплоту жидкости»), а затем, чтобы эту нагретую воду обратить в пар, т. е. сообщить ей еще так называемую «скрытую теплоту парообразования».

Опыт показал, что температура кипения (температура парообразования) воды зависит от давления. Чем больше давление, тем больше должна быть и температура воды, при которой может начаться парообразование. Температура пара, получившегося из воды (насыщенного пара), равна температуре парообразования и, следовательно, также зависит от давления, при котором идет процесс парообразования. Если желают получить пар более высокой температуры, чем температура насыщенного пара данного давления, его перегревают. Чтобы полученный пар превратить обратно в воду, от него нужно отнять сначала теплоту перегрева (если пар перегретый), т. е. превратить его сначала в пар насыщенный, а затем отнять и скрытую теплоту парообразования. Когда пар сконденсируется (обратится в воду) — температура получившейся воды (так называемого конденсата) будет равна температуре пара в момент конденсации. Для руководства в приводимой ниже таблице 1 даны теплота жидкости, скрытая теплота парообразования и полное теплосодержание насыщенного водяного пара в зависимости от давления ¹.

Положим, что нам нужно сконденсировать 1 кг насыщенного пара, имеющего давление 1 *атм*, т. е. пар при атмосферном давлении. По таблице насыщенного пара количество тепла, которое нужно отнять, составляет 540,2 *кал* (скрытая теплота парообразования). Отняв это количество тепла, мы получим 1 кг воды (конденсата),

¹ В таблице указано абсолютное давление. Для получения манометрического давления (по манометру) нужно отнять 1 *атм*.

имеющей температуру около 100°C . Рассмотрим процесс конденсации пара в закрытом сосуде.

Таблица 1.

Температура и теплосодержание насыщенного водяного пара в зависимости от давления (по данным Киоблауха).

Давление в кг/см^2 <i>абс</i>	Температура $^{\circ}\text{C}$	Теплота жидкости в кал/кг	Скрытая теплота паро- образования в кал/кг	Полное теплосодер- жание пара в кал/кг
0,02	17,19	17,2	586,9	604,1
0,06	35,82	35,8	577,1	612,9
0,10	45,44	45,4	571,8	617,2
0,20	59,06	59,6	563,7	623,3
0,50	80,87	80,9	551,3	632,2
1,0	99,08	99,2	540,2	639,4
2,0	119,61	120,0	528,9	648,9
3,0	132,87	139,5	517,7	651,2
4,0	142,91	143,8	510,4	654,2
5,0	151,10	152,3	504,1	656,4
6,0	158,07	159,5	498,7	658,2
7,0	164,16	165,8	493,7	659,5
8,0	169,59	171,5	489,2	660,7
9,0	174,52	176,6	485,0	661,6
10,0	179,08	181,4	481,1	662,5
11,0	183,20	185,8	477,4	663,2
12,0	187,08	189,9	473,8	663,7
15,0	197,37	200,8	464,1	664,9
20,0	211,39	215,9	450,3	666,2

Пусть имеем некоторый сосуд, наполненный паром при атмосферном давлении. Предположим, далее, что сосуд плотно (герметически) закрыт и в нем совершенно нет воздуха. Начнем тем или иным способом охлаждать сосуд. При этом пар будет терять теплоту и, охлаждаясь, превращаться в воду. Получившийся конденсат будет занимать очень небольшой объем, так как удельный объем¹ воды во много раз меньше удельного объема пара при том же давлении. Например, при атмосферном давлении вода занимает в 1 722 раза меньший объем, чем сухой насыщенный пар. Конденсат соберется в нижней части сосуда, а в пространстве над поверхностью воды будет почти полная пустота² (вакуум), т. е. давление, почти равное нулю, если сосуд совершенно плотен, и атмосферный воздух не может проникнуть в полость сосуда. Если теперь этот сосуд соединить с выпускным патрубком турбины или машины, то в него будут непрерывно поступать новые порции пара, обработанного в машине. Для того чтобы поддерживать в сосуде полученный вначале вакуум, нужно будет успевать полностью конденсировать поступающий пар и удалять получающуюся из пара воду. Конденсация пара достигается практически путем подачи в сосуд (называемый конденсатором) холодной воды, которая, смешиваясь с паром или соприкасаясь с ним, будет отнимать теплоту. Для откачивания воды устанавливается специальный насос.

¹ Объем единицы веса 1 кг.

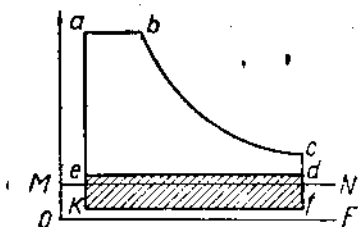
² Совершенно полной пустоты получить при этом не удастся, так как из пара выделяется некоторое количество воздуха, который не конденсируется и остается в пространстве сосуда над водой. Кроме того, в сосуде остается часть несконденсировавшегося пара, давление которого будет соответствовать температуре в конденсаторе.

Конденсатор (сосуд или камера, куда поступает отработавший пар и где он конденсируется), устройство для подачи в конденсатор охлаждающей пар воды и приспособления для откачивания продуктов конденсации составляют вместе конденсационную установку парового двигателя. Конструктивное осуществление конденсационного устройства может быть различное. Устройство и работа их будут описаны нами далее; теперь же постараемся установить пользу, приносимую конденсацией пара, и выяснить, в чем преимущество выпуска пара в конденсатор (где поддерживается вакуум) по сравнению с выпуском его прямо в атмосферу.

2. Польза, приносимая конденсацией.

Назначением всякого парового двигателя, как известно, является преобразование тепловой энергии топлива в механическую работу. Практика показывает, что полностью всю тепловую энергию пара в паровом двигателе использовать невозможно, так как отработавший пар, покидая машину, уносит с собой значительное количество тепла, которое для силовой установки является потерянным. Однако, в зависимости от условий работы пара может быть использовано большее или меньшее количество тепла, причем естественно стремление использовать в большинстве случаев в машине возможно большее количество тепла каждого килограмма пара с тем, чтобы с затратой возможно меньшего количества пара получить возможно большее количество механической или электрической энергии. Теоретические исследования показывают, что использование тепла в установке получается тем большим, чем больше разность теплосодержаний между паром, вступающим в машину, и паром за машиной, или, как говорят, чем больше перепад тепла в машине. Теплосодержание пара до машины зависит от характера пара, даваемого котельной установкой (т. е. от его давления и перегрева), и повышается с увеличением давления, как это видно из таблицы 1, и с увеличением температуры перегрева. Теплосодержание же пара за машиной зависит от того, до какой степени расширяется в турбине или машине пар и с каким давлением он эту машину покидает или, вернее, от того давления, которое поддерживается в конденсаторе. Из таблицы 1 видно, что теплосодержание пара тем меньше, чем меньше его давление. Поэтому чем меньше будет давление пара, уходящего из парового двигателя, тем меньше будет количество потерянных калорий тепла, тем выше тепловой (термический) коэффициент полезного действия машины. Снижать давление пара при выпуске и составляет цель конденсационного устройства, как уже говорилось нами выше.

Постараемся теперь на примере разбора индикаторных диаграмм¹ паровой поршневой машины наглядно показать, какое большое влияние имеет давление выпуска на работу и экономичность парового двигателя. На фиг. 1 буквами *abcd*



Фиг. 1. Индикаторная диаграмма паровой машины.

¹ Индикаторная диаграмма представляет собою графическое изображение процесса, происходящего с паром в цилиндре машины. Посит эта диаграмма называние индикаторной потому, что снимается во время работы машины особым прибором — индикатором. По индикаторной диаграмме можно судить о том, как изменяется давление пара в какой-либо полости машины за один оборот вала, т. е. за два хода поршня. Индикаторная диаграмма также дает возможность судить о том, насколько правильно установлено и работает парораспределение машины, своевременно ли происходит впуск, отсечка, выпуск и сжатие пара. Наконец, зная число оборотов машины и ее основные размеры (ход и диаметр цилиндра), помощью индикаторной диаграммы можно определить мощность машины.

обозначена индикаторная диаграмма машины с выпуском отработавшего пара в атмосферу (машины, не имеющей конденсационного устройства и работающей на выхлоп), линией MN обозначена линия атмосферного давления, а линией OF — линия нулевого давления. Из рассмотрения этой диаграммы легко уяснить себе весь процесс работы пара в такой машине. Здесь ab — линия наполнения цилиндра паром (выпускное окно открыто, поршень двигается вправо от левой мертвой точки, вследствие притекающего пара давление в цилиндре остается во все время наполнения неизменным). В точке b происходит закрытие паровпускного окна или впускного клапана, т. е. приток пара в цилиндр прекращается, и дальнейшее движение поршня вправо совершается под давлением расширяющегося пара, поступившего за период впуска; линия bc представляет собой графическое изображение процесса расширения пара в цилиндре (по мере движения поршня вправо давление в цилиндре падает). По приходе поршня в правое мертвое положение происходит открытие выпускного окна, или клапана, и давление в цилиндре резко падает (линия cd). Наконец, линия de — линия выпуска пара из левой полости цилиндра во время обратного хода поршня к левой мертвой точке. Здесь следует заметить, что линия de идет выше атмосферной линии, так как для того, чтобы при открытии выпускного клапана отработавший пар вышел из цилиндра наружу, его давление должно несколько превышать атмосферное. Обычно выпуск пара у машины, работающей на выхлоп (т. е. в атмосферу), происходит с давлением $1,1 - 1,2 \text{ атм}$. По приходе поршня в точку e (левая мертвая точка) открывается впускной клапан, давление в цилиндре снова повышается до давления пара при впуске, и описанный процесс работы пара повторяется по такой же диаграмме. Площадь, ограниченная диаграммой $abcde$, представляет собой в некотором масштабе (в зависимости от масштабов давлений и вертикальной оси и хода поршня на горизонтальной, принятых при построении диаграммы) работу, совершенную паром в одной полости цилиндра за один оборот вала машины. Представлена диаграмма на фиг. 1 в своем теоретическом виде. Практическая диаграмма будет иметь, как известно, меньшую площадь и несколько иное очертание в силу падения давления пара при впуске, предварения выпуска, сжатия пара и т. д., но для простоты и наглядности рассуждений мы будем пользоваться именно теоретической диаграммой.

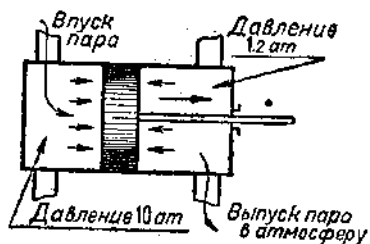
Машина, работающая по рассмотренному нами типу, характеризуется сравнительной простотой устройства и большим расходом пара на лошадиную силу-час (т. е. на единицу выработанной энергии). Еще великий изобретатель паровой машины Джеймс Уатт учел, что машина с выпуском пара в атмосферу расходует много пара и неэкономична, почему им и была предложена машина с конденсацией отработавшего пара. По устройству и обслуживанию машина с конденсацией получилась более сложной, но зато и более экономичной — настолько, что в короткое время получила широкое распространение.

Изучая индикаторную диаграмму паровой машины, Уатт нашел, что пар в машине может быть использован полнее, если понизить давление пара при выпуске. В машине, работающей на выхлоп, понизить давление выпуска оказывается невозможным, так как оно не может быть ниже вполне определенного атмосферного давления. Но если в момент выпуска пара цилиндр сообщать с пространством, где давление будет меньше атмосферного (где будет так называемое «разреженное пространство»), то оказывается, что энергия пара в этом случае используется полнее, увеличивается перепад давлений (разность между давлением пара при впуске и выпуске) и возрастает мощность машины. Понять это нетрудно. Обратимся к фиг. 2 и 3.

Фиг. 2 дает схематическое изображение паровой машины без конденсации, а фиг. 3 — с конденсацией.

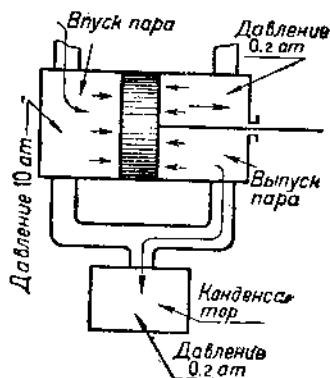
Предположим, что в машине без конденсации в левую часть цилиндра производится впуск пара с давлением 10 атм , а в правой части — выпуск. Примем, что давление пара

в момент выпуска составляет $1,2 \text{ ат}$. Сила, с какой двигается поршень машины (в данном случае вправо), определяется разностью давлений с обеих сторон поршня, в данном случае эта разность будет: $10 - 1,2 = 8,8 \text{ ат}$. Пусть на некоторой части хода поршня такой машины выпускной клапан левой полости цилиндра закроется и дальнейшее движение поршня будет совершаться под давлением расширяющегося пара. Пусть давление пара в левой части цилиндра упадет сначала до 8 ат , потом до $6,5$ и т. д.; в правой же полости, соединенной с атмосферой, будет идти все время выпуск пара при неизменном давлении $1,2 \text{ ат}$. Вполне понятно, что так как результирующее давление определяется в каждый из моментов движения поршня разностью давлений с обеих его сторон, то нам выгодно уменьшать давление с той стороны, которая в данную минуту является неработающей, т. е. в нашем случае с правой стороны поршня. Эту-то задачу и выполняет конденсатор.



Фиг. 2. Схема паровой машины с выпуском пара в атмосферу.

На фиг. 3, где дана схема машины с конденсатором, видно, что выпускной патрубок машины соединен с резервуаром (конденсатором), в котором путем конденсации отработавшего пара и откачивания продуктов конденсации (как это разбиралось нами выше) поддерживается давление, положим, всего $0,2 \text{ ат}$. Разность давлений с обеих сторон поршня, в этом случае $10 - 0,2 = 9,8 \text{ ат}$, больше, чем в предыдущем случае; следовательно, и мощность машины больше. Графически это объясняется на фиг. 1, где кроме диаграммы машины без конденсации нанесена и диаграмма, принадлежащая машине с конденсацией, причем обе диаграммы как бы наложены одна на другую и в части наполнения и расширения совпадают, ибо обе машины имеют одинаковое устройство, одинаковые размеры и работают с одним и тем же начальным давлением пара. Площадь диаграммы машины без конденсации — $abcde$, а площадь диаграммы машины с конденсацией — $abcfk$, причем разность между ними (на фигуре заштрихована), выражающаяся в прямоугольнике $edfk$, представляет разность между работами обеих машин.



Фиг. 3. Схема машины с конденсатором.

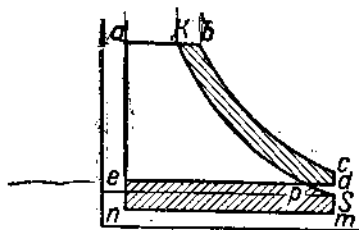
Итак, мы видим, что машина с конденсацией точно таких же размеров и устройства совершила в результате работы большую, чем машина без конденсации. За счет чего же мы имеем это увеличение? За счет того, что выпуск пара из машины производится при давлении меньшем, чем в машине без конденсации. Теоретически, когда поршень машины приходит в правую мертвую точку (точка e на диаграмме фиг. 1), открывается выпускной клапан левой полости и давление пара в той части цилиндра падает до давления в конденсаторе (точка f), равного всего лишь $0,2 \text{ ат}$, при котором и происходит выпуск пара.

Отсюда мы можем сделать вывод, что путем устройства конденсатора у существующей машины можно даваемую ей работу увеличить. Обычно пользуются другой выгодой, доставляемой конденсатором. Чтобы понять ее, обратимся к фиг. 4.

Фиг. 4 представляет собой наложенные друг на друга две диаграммы паровых машин, из которых одна принадлежит машине без конденсации, а другая — машине

с конденсацией. Обе машины работают с одинаковым начальным давлением пара. Исследование диаграмм показало, что машины имеют и одинаковую мощность. Диаграмма $abcde$ принадлежит машине без конденсации, а диаграмма $akSmn$ — машине с конденсацией. Несовпадающие площади обеих диаграмм заштрихованы. Диаграмма машины без конденсации имеет заштрихованную площадь $KbcdpK$, а машина с конденсацией имеет другую заштрихованную площадь $epsmne$, которой нет у диаграммы машины без конденсации. Сравнение показало, что обе эти площади равны между собой, площадь же $акrea$ — общая для обеих диаграмм. Отсюда ясно, что работа, совершенная обеими машинами, одинакова.

Из нашего рассуждения можно было бы, пожалуй, заключить, что раз совершенные машинами работы одинаковы, то можно предпочесть машину без конденсации, так как она проще. Но это далеко не так и дело здесь не в простоте. Постараемся из дальнейшего анализа диаграмм установить, какая из машин выгоднее, а это в современных условиях едва ли не самое главное.



Фиг. 4. Индикаторные диаграммы машин без конденсации и с конденсацией, наложенные одна на другую.

Лишняя площадь $epsmne$ у машины с конденсацией по сравнению с другой машиной получилась вследствие выпуска пара у машины с конденсацией при давлении меньшем 1 ат. Это дало меньшее противодавление на поршень в тот момент, когда работала другая полость цилиндра, и таким образом полезное давление на поршень увеличилось, увеличилось среднее индикаторное давление против среднего индикаторного давления в такой же машине без конденсации.

У машины без конденсации лишняя площадь $KbcdpK$ получилась вследствие увеличения степени наполнения¹. Момент отсечки у этой машины, как видно из фиг. 4, наступил позже (на диаграмме машины без конденсации момент отсечки характеризуется точка b , а в машине с конденсацией — точка K), в цилиндр поступило больше пара, чем в машине с конденсацией, а период расширения сократился. В результате это дало повышение среднего индикаторного давления и сравняло его со средним индикаторным давлением машины с конденсацией, но за счет большего расхода пара, следовательно, за счет меньшей экономичности машины.

Вывод отсюда таков: выгода машины с конденсацией заключается в том, что для достижения одинаковой работы с машиной без конденсации степень наполнения у машины с конденсацией может быть значительно меньше. Машина работает здесь главным образом за счет расширения пара, тепло пара используется лучше, а расход пара на силу-час сокращается. Практика показывает, что выгода в расходе пара в машинах с конденсацией составляет от 20 до 35% (и даже иногда больше) против машины, работающей на выпуск.

Рассуждение о пользе конденсации нами проведено применительно к паровым поршневым машинам, но точно так же и в паровых турбинах при работе на конденсацию расширение пара идет дальше, чем при работе на выпуск, увеличивается перепад давлений, а это сокращает расход пара на единицу вырабатываемой энергии.

3. Измерение вакуума.

Чтобы можно было судить, какой поддерживается вакуум (разрежение) в конденсаторе во время работы машины и насколько хорошо работает конденсационное устрой-

¹ Степенью наполнения называется отношение длины хода поршня, при котором производится впуск пара в цилиндр машины, ко всему ходу поршня.

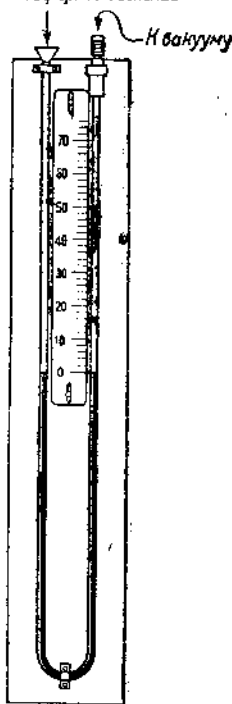
ство, нужно уметь вакуум измерять. Для измерения давлений меньше 1 ат (величины разрежения) служат в практике приборы, называемые **вакуумметрами**.

Простейшим и в то же время наиболее точным прибором является ртутный вакуумметр. Схема этого прибора дана на фиг. 5. Он состоит из изогнутой U-образной стеклянной трубки, наполненной ртутью до половины. Левый конец этой трубки, как показано на фиг. 5, открыт, т. е. находится под атмосферным давлением, и имеет воронку для наполнения трубки ртутью, а правый помощью свиновой или толстостенной резиновой трубки сообщается с полостью конденсатора. Когда в конденсаторе нет вакуума, ртуть в обоих коленях по закону сообщающихся сосудов стоит на одном уровне. Против того положения ртути, когда *Атмосферное давление* уровни ртути в обоих коленях находятся на одной высоте, на шкале ставится ноль. На нуле ртуть стоит тогда, когда давление над обоими столбами ртути (левым и правым) равно атмосферному. Когда машина начинает работать и в конденсаторе создается разрежение, давление на столб ртути в левом колене (атмосферное) начинает превышать давление в правом, соединенном с конденсатором. В силу этой разности давлений уровень ртути в правом колене поднимается тем больше, чем больше вакуум в конденсаторе.

Так как известно, что 1 ат^1 уравновешивается столбом ртути высотой в 760 мм, то очевидно, что в случае полного вакуума в пространстве над ртутью в правом колене, она поднимается в правом колене от нуля на высоту 360 мм, а в левом на столько же опустится. Положение уровня ртути в правом колене на 380 мм выше нуля указывает на полное разрежение в конденсаторе. Расстояние между крайними положениями ртути в правом колене (наивысшем и наивысшем) делится на равные части. Подобный вакуумметр дает возможность определять вакуум в миллиметрах ртутного столба весьма точно.

Практически о глубине вакуума очень часто судят в процентном отношении к абсолютному разрежению (абсолютному вакууму), говоря, например, что вакуум составляет 85 или 75%. Чтобы узнать при помощи показаний вакуумметра, какой имеется вакуум в конденсаторе в процентах, поступают следующим образом.

Положим, что у нас вакуумметр показывает разрежение 600 мм рт. ст. (т. е. уровень ртути в правом колене вакуумметра, соединенном с конденсатором, стоит на делении 600). Для того чтобы судить, насколько давление в конденсаторе меньше, чем в окружающем нас воздухе, нужно знать и давление воздуха в данный момент. Нормальное барометрическое ² давление, как мы уже указывали, принимается равным 760 мм рт. ст. Однако в зависимости от



Фиг. 5. Схема ртутного вакуумметра.

¹ Атмосфера подразумевается здесь физическая, представляющая собою среднее давление атмосферного воздуха и измеряемая весом ртутного столба высотой 760 мм.

Если принять удельный вес ртути равным 13,596, то значение физической атмосферы в 1 кг/м^2 будет:

$1 \text{ ат} = 13,596 \cdot 1\,000 \cdot 0,760 = 10\,332,9 \text{ кг/м}^2$; обычно физическая атмосфера принимается равной:

$1 \text{ ат} = 10\,333 \text{ кг/м}^2 \approx 1,0333 \text{ кг/см}^2$, т. е. несколько больше атмосферы технической, представляющей давление 1 кг/см^2 .

² Давление атмосферного воздуха, измеряемое барометром.

погоды оно может уклоняться от этого значения в ту или другую сторону, поэтому для более точного расчета нужно измерить (по барометру) давление атмосферы в данный момент.

Пусть барометр, находящийся в помещении, показывает давление 759 мм рт. ст. Для определения вакуума в процентах пользуются следующей формулой:

$$V = \left(1 - \frac{b - h}{760}\right) \cdot 100,$$

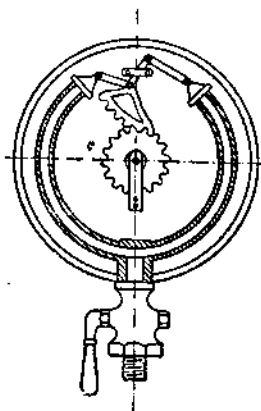
где V — величина вакуума в % к абсолютной пустоте,

b — барометрическое давление в данный момент (т. е. давление атмосферного воздуха по барометру) в мм рт. ст.,

h — показания вакуумметра машины в мм рт. ст.

Подставляя в формулу вышеприведенные нами данные, получаем:

$$V = \left(1 - \frac{759 - 600}{760}\right) \cdot 100 = 80\%.$$



Фиг. 6. Металлический вакуумметр.

Кроме ртутных вакуумметров, в практике распространены точно так же и металлические вакуумметры, дающие менее точные показания. По своей конструкции металлический вакуумметр почти не отличается от металлического манометра (типа Бурдона — с трубкой). На фиг. 6 дана схема подобного вакуумметра. Состоит он из изогнутой металлической трубки, закрепленной своей серединой. Оба конца трубки свободны и посредством рычажков и зубчатого сектора связаны с шестеренкой стрелки. Внутренняя полость трубки сообщается с камерой конденсатора. Если конденсатор и трубка вакуумметра наполнены воздухом, то стрелка вакуумметра стоит на нуле шкалы. Это указывает, что давление внутри конденсатора равно атмосферному. Когда же в конденсаторе начинает образовываться вакуум, давление в трубке падает, отчего происходит сжатие ее окружающим воздухом. Концы трубки вакуумметра сходятся и посредством рычажков поворачивают зубчатый сектор, а с ним и шестеренку со стрелкой, указывающей по шкале величину вакуума в данный момент.

Градуются металлический вакуумметр точно также, как и ртутный, на миллиметры ртутного столба. Шкала вакуумметра, перед которой движется стрелка, разделена на деления. На делениях нанесен в начале 0, а в конце 760. Когда стрелка вакуумметра стоит на нуле, это значит, что давление в конденсаторе равно барометрическому давлению в данный момент, если вакуумметр верен.

4. Глубина вакуума в конденсаторах паровых двигателей и расход пара.

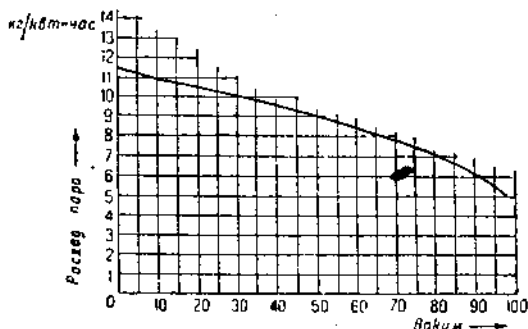
Выше нами установлена польза, приносимая конденсацией, — увеличение перепада тепла в паровом двигателе. Смысл увеличения этого перепада наглядно показан при разборе индикаторных диаграмм машины. Теперь выясним такой вопрос: какой глубины вакуум (разрежение) следует поддерживать в конденсаторе паровой поршневой машины или паровой турбины?

Учитывая приведенные выше положения, можно было бы сказать, что чем вакуум больше, тем выгоднее, поэтому пределом желанья было бы поддержание в конденсаторе во время работы машины абсолютного вакуума (т. е. полного разрежения). Правда, получить абсолютный вакуум оказывается весьма затруднительно, по все же мы могли бы стремиться иметь наибольший практически достигаемый вакуум. Однако, оказы-

вадается, что практически далеко не всегда выгодно иметь в конденсаторе очень глубокий вакуум. На первый взгляд это как бы противоречит приведенным выше рассуждениям, но в действительности никакого противоречия здесь нет. В самом начале книги мы говорили, что конденсация пара производится в конденсаторе помощью холодной воды. Подаваемая вода охлаждает пар и, сгущая его в воду и воспринимая от него теплоту, нагревается. Для удаления из конденсатора нагретой охлаждающей воды, а также и самого сконденсированного пара¹, в целях поддержания вакуума во время всей работы машины нужны насосы, непрерывно эту воду откачивающие. На привод насосов необходимо затрачивать энергию — электрическую, если насосы приводятся в движение электромоторами, или механическую, если насосы приводятся в действие непосредственно от паровой машины. Количество затрачиваемой энергии в среднем составляет 1 — 3% от общей мощности машины. При желании иметь очень глубокий вакуум приходится ставить очень мощные насосы, потребляющие много энергии, и всю установку выполнять весьма тщательно, что значительно повышает стоимость всего конденсационного устройства, усложняет установку и требует крайне внимательного ухода. Практика показывает, что до некоторой величины разрежения в конденсаторе увеличение общей мощности установки за счет углубления вакуума идет быстрее, чем повышение расхода мощности на насосы; после же этого предела дальнейшее углубление становится практически невыгодным, так как общий выигрыш мощности быстро уменьшается и в конце концов сводится к нулю. Поэтому-то от достижения наибольшего вакуума в конденсаторе и приходится отказаться.

В отношении поршневых паровых машин нужно еще отметить, что углублению вакуума в них сильно препятствует так называемая «начальная конденсация пара», т. е. частичная конденсация свежего пара при вступлении его в цилиндр машины. Чем ниже давление выпуска, тем ниже температура уходящего из машины пара, тем сильнее охлаждается цилиндр за период выпуска пара и тем сильнее конденсируется свежий пар, поступающий для работы в машину за период впуска, а это значит, что меньшая часть его совершает полезную работу. Таким образом при сильном углублении вакуума потери на начальную конденсацию в цилиндре компенсируют выгоду от большого вакуума, т. е. создание глубокого вакуума и постановка тщательно выполненного дорогого конденсационного устройства оказываются уже экономически невыгодными. Кроме того, углубление вакуума потребовало бы значительного увеличения цилиндра низкого давления машины, что крайне неудобно. Этим и объясняется, что практически для паровых поршневых машин ограничиваются небольшим вакуумом и берут всего давление выпуска обычно 0,15 — 0,2 *атм*, что соответствует вакууму 80 — 85%, и лишь в особо тщательных установках доходят до 88%.

Что касается паровых турбин, то в них удастся с выгодой значительно повысить величину разрежения в конденсаторе — именно до 95 — 97% абсолютного вакуума.



Фиг. 7. График расхода пара турбиной в зависимости от глубины вакуума.

¹ Ниже мы увидим, что для поддержания в конденсаторе вакуума нужно удалять еще и воздух.

Однако, как показывает опыт, дальнейшему повышению разрежения здесь препятствуют главным образом быстро увеличивающийся процент расхода энергии на конденсационные насосы, а также и потери внутри турбины (например возрастание потерь при выходе вследствие увеличения скорости выхода пара при углубленном вакууме).

Нужно сказать, что практически для каждого парового двигателя устанавливается свой наиболее выгодный в существующих условиях вакуум, которого и следует придерживаться, ибо при этом вакууме расход пара получается наименьшим. Поддерживать этот нормальный для машины вакуум в эксплуатационных условиях оказывается весьма существенной обязанностью обслуживающего персонала, поскольку при ухудшении вакуума нарушается нормальная работа парового двигателя и понижается его экономичность.

Чтобы составить себе представление о том, как влияет изменение величины вакуума на расход пара, в частности в паровой турбине, ниже приводится таблица 2 и график фиг. 7.

Таблица 2.

Зависимость расхода пара в турбине от глубины вакуума.

Вакуум в %	85	90	94	95	96	97
Расход пара в кг/л. с. ч.	4,84	4,54	4,22	4,125	4,02	3,89
Экономия в расходе пара в кг	—	0,30	0,62	0,715	0,82	0,95
Экономия в расходе пара в %	—	6,20	12,80	14,80	16,95	19,60

Данные таблицы 2 (по Иоссе) относятся к турбине, работающей с давлением 13 атм и 300°С перегрева. Из таблицы ясно видна зависимость между глубиной вакуума и расходом пара; в ней также подсчитана и получающаяся экономия в расходе пара при превышении глубины вакуума сверх 85%. Данные графика фиг. 7 относятся к мощной современной турбине, работающей с давлением 15 атм и с 350°С перегрева. Кривая дает зависимость между глубиной вакуума в процентах (отложена на горизонтальной оси) и расходом пара кг/квт-ч (отложен на вертикальной оси), причем и здесь видно, как значительно снижается расход пара при углублении вакуума. Например, при вакууме 65% расход пара составляет 8 кг/квт-ч, а при вакууме 90% — всего 6 кг/квт-ч.

5. Способы конденсации пара.

Переходя в следующей главе к рассмотрению конструкций и работы различных конденсационных устройств, мы можем сделать из всего сказанного нами выше следующие выводы:

1. Конденсационное устройство имеет назначением поддерживать давление у выпускного патрубка турбины или машины ниже атмосферного.

2. Вследствие того, что выпуск пара при наличии конденсационного устройства совершается при более низком давлении, увеличивается перепад давлений при проходе пара через машину и улучшается использование тепла пара.

3. Достигается поддержание давления выпуска ниже атмосферного путем конденсации отработавшего пара, т. е. обращения его в воду.

4. Конденсация пара совершается вследствие его охлаждения поступающей в конденсатор холодной водой, которая отнимает от пара его скрытую теплоту парообразования и таким образом сама нагревается.

5. Получившийся в конденсаторе вакуум поддерживается во все время работы машины непрерывной подачей охлаждающей воды и откачиванием нагретой охлаждающей воды и продуктов конденсации.

6. Поддержание нормального для данной установки вакуума является весьма существенным, так как при ухудшении вакуума (например, вследствие недостаточного количества охлаждающей воды) возрастает расход пара машиной, следовательно, ее экономичность понижается.

Самое охлаждение пара водой может быть произведено двумя путями, поэтому в зависимости от способа конденсации различают:

- 1) конденсацию смешением,
- 2) конденсацию поверхностную.

При конденсации смешением отработавший пар конденсируется, непосредственно соприкасаясь с охлаждающей водой, причем пар охлаждается, стунается в воду, а охлаждающая вода нагревается и смесь полученного из пара конденсата и охлаждающей воды удаляется из конденсатора тем или иным способом наружу.

При конденсации поверхностной пар отдает тепло, а вода его воспринимает непосредственным соприкосновением, а через стенки охлаждающих трубок, соприкасающихся с внешней стороны с паром, а внутри омываемых холодной водой. Трубки эти в том или ином порядке располагаются в камере конденсатора, куда поступает отработавший и подлежащий конденсации пар турбины или машины.

Как в том, так и в другом случаях в конденсаторе поддерживается необходимый вакуум вследствие сгущения поступающего пара.

В практике паросильных установок широко применяются оба указанные способа, и на использовании их существует много разнообразных систем конденсаторов, имеющих различное устройство. В свое время будет дана подробная оценка как смешивающей, так и поверхностной конденсации пара и указано, насколько хорошо та или иная система конденсационной установки удовлетворит требованиям современной техники, сейчас же отметим только, что способ поверхностной конденсации требует более сложного и громоздкого оборудования, но зато дает возможность сохранить получающийся конденсат (здесь он не смешивается с охлаждающей водой) и широко применяться поэтому в современных паротрубных установках. Смешивающая же конденсация требует более простого оборудования, меньшего ухода и меньшего количества охлаждающей воды и применяется большей частью в установках с неглубоким вакуумом, главным образом при паровых поршневых машинах. Ниже рассматриваются конденсационные устройства, как работающие на смешивающем принципе, так и поверхностные.

ГЛАВА II.

КОНДЕНСАЦИЯ СМЕШЕНИЕМ.

6. Сущность конденсации пара смешением (вспрыскивающая конденсация).

На фиг. 8 дана схема простейшего конденсатора смешения, работающего со вспрыскиванием (разбрызгиванием) охлаждающей воды, почему и получившего название вспрыскивающего. Этот конденсатор представляет собою камеру, внутри которой имеется труба, оканчивающаяся сеткой с мелкими отверстиями (так называемая вспрыскивающая труба). Конденсатор, кроме того, имеет большого диаметра патрубок в верхней части и патрубок, присоединенный к нижнему дну. Через верхний патрубок

при работе машины поступает в конденсатор отработавший пар. Сменивался с распыленными частицами холодной воды, вспыскиваемой через трубу с мелкими отверстиями, пар охлаждается, превращался в воду. Так как объем полученной воды во много раз меньше объема поступившего в конденсатор пара, то при обращении пара в воду в камере конденсатора образуется разрежение или вакуум.

Конденсат, получившийся из отработавшего пара, и охлаждающая вода стекают на дно конденсатора и непрерывно оттуда удаляются через нижний патрубок. Так как действие этого конденсатора основано на смешении отработавшего пара с холодной водой, то такой способ конденсации и называется смешивающим.

Для работы смешивающего конденсатора, как видно, необходимо:

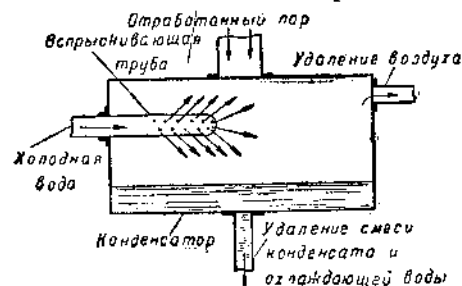
1. Подавать и разбрызгивать охлаждающую воду.
2. Удалять смесь нагретой охлаждающей воды и конденсата.

Опыт показывает, однако, что для поддержания вакуума указанных двух операций недостаточно: в конденсаторе все же будет существовать давление, увеличивающееся по мере работы машины. Чем же вызывается это давление?

Во-первых, часть пара, входящего в конденсатор, может не сконденсироваться, так как не все частицы пара успевают притти в соприкосновение с водой. Вот этот-то

остающийся пар и обуславливает некоторое давление в конденсаторе.

Во-вторых, из охлаждающей воды, когда она нагревается от соприкосновения с частицами пара, выделяется растворенный в ней воздух, который также дает некоторое давление. Кроме того, воздух в конденсатор может проникнуть и через неплотности. Таким образом давление в конденсаторе складывается из давлений несконденсировавшегося пара и из давления воздуха. Для поддержания вакуума воздух следует тем или иным способом непременно удалять из конденсатора.



Фиг. 8. Схема вспыскивающего конденсатора.

тора. Патрубок, присоединенный к верхней правой части конденсатора (фиг. 8), как раз и служит для откачивания воздуха. На работу смешивающего конденсатора в основном влияют следующие факторы:

1. Количество подаваемой в конденсатор охлаждающей воды. Количество подаваемой воды должно быть таково, чтобы по возможности мог сконденсироваться весь поступающий пар.

2. Температура охлаждающей воды. Чем холоднее вода, тем больше каждый килограмм ее может отнять тепла от пара, тем меньше потребуется воды на конденсацию пара.

3. Хорошее разбрызгивание охлаждающей воды. Чем мельче брызги, тем больше получается поверхность соприкосновения воды с паром, тем скорее и полнее идет конденсация пара.

4. Исправная работа водяного насоса и размеры его, соответствующие данной конденсационной установке. Откачивающий охлаждающую воду и конденсат насос должен иметь производительность, соответствующую количеству образующейся в конденсаторе воды, чтобы успевать удалять ее из конденсатора.

5. Исправная работа воздушного насоса (удаляющего из конденсатора воздух).

6. Плотность конденсатора. Если конденсатор недостаточно плотен, имеет хотя бы небольшие трещины или неплотности в местах стыка фланцев и т. п., то через эти неплотности в конденсатор будет проникать наружный воздух (вследствие разности

давления атмосферного и давления в конденсаторе) и ухудшать существующий там вакуум.

Относительно количества воды, потребной для конденсации пара, нужно сказать следующее.

Как показывает опыт, весовое количество охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, должно быть во много раз больше весового количества конденсируемого пара.

Отношение: $m = \frac{\text{вес охлаждающей воды}}{\text{вес конденсируемого пара}}$ называется кратностью охлаждения. В зависимости от принципа работы и системы конденсатора кратность охлаждения может колебаться в довольно больших пределах. В частности, для смешивающих конденсаторов она в среднем равна 20—30. Число это показывает, что на конденсацию 1 кг пара в смешивающем конденсаторе затрачивается 20—30 кг охлаждающей воды. Подсчитать количество необходимой для конденсации воды можно следующим образом.

Обозначим:

i — теплосодержание в калориях 1 кг пара, выходящего из машины (т. е. количество калорий тепла, какое содержит 1 кг пара),

t_1 — температуру охлаждающей воды при входе в конденсатор в °С,

t_2 — температуру воды при выходе из конденсатора в °С.

Очевидно, что температуру t_2 примет и сконденсировавшийся пар, смешавшись с водой.

Если примем далее, что теплосодержание уходящей из конденсатора воды равно ее температуре (так как на нагрев 1 кг воды на 1°С нужно затратить около 1 кал.), то количество тепла, которое отдаст 1 кг пара охлаждающей воде при своей конденсации (скрытая теплота парообразования), составит:

$$i - t_2 \text{ кал.}$$

Теплота эта передается холодной воде, температура которой повышается от температуры t_1 до температуры t_2 , и таким образом каждый килограмм охлаждающей воды получает $t_2 - t_1$ кал тепла. Обозначив полный расход воды на конденсацию 1 кг пара через m , найдем, что вода получит при своем проходе через конденсатор $m(t_2 - t_1)$ кал тепла.

Если пренебречь незначительными потерями тепла в окружающую среду, то очевидно, что все количество тепла, отданное паром, будет воспринято охлаждающей водой, т. е. должно существовать следующее равенство:

$$\underbrace{i - t_2}_{\substack{\text{количество калорий тепла,} \\ \text{отданное 1 кг пара при} \\ \text{конденсации}}} = \underbrace{m(t_2 - t_1)}_{\substack{\text{количество калорий тепла,} \\ \text{воспринятое } m \text{ кг охлад-} \\ \text{жающей воды затраченной} \\ \text{на конденсацию 1 кг пара}}}$$

Из этого уравнения можем определить легко m , т. е. количество килограммов воды, пошедшей на конденсацию 1 кг пара. Оно будет равно:

$$m = \frac{i - t_2}{t_2 - t_1}.$$

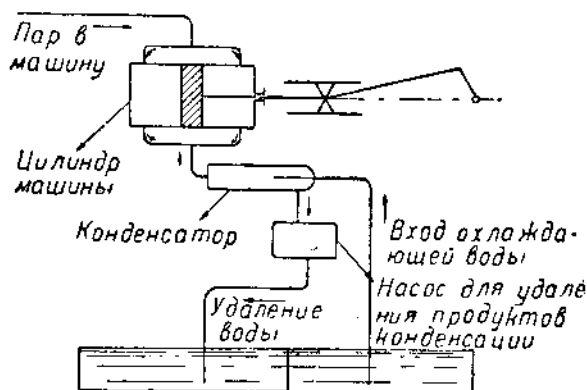
Отсюда видно, что количество требуемой воды зависит как от температуры вступающей охлаждающей воды, так и от температуры уходящей воды и конденсата. Последняя равна (приблизительно) температуре пара при конденсации и зависит от величины разрежения в конденсаторе (температура пара, а следовательно, и температура конденсата тем меньше, чем глубже вакуум).

В среднем, если примем теплосодержание поступающего в конденсатор пара 600 кал/кг, температуру поступающей в конденсатор воды 10° С, а выходящей 33° С, то количество воды, потребной на конденсацию 1 кг пара (кратность охлаждения), составит:

$$m = \frac{600 - 35}{35 - 10} = \frac{565}{25} = 22,6.$$

Из этой формулы очевидно, что чем холоднее вода, тем меньше ее потребуется на конденсацию 1 кг пара.

Поддача воды во вспыскивающий конденсатор обычно производится без всякого насоса вследствие существующего в конденсаторе разрежения, иначе говоря, — вследствие разности давлений: атмосферного и давления в конденсаторе. Вода из водоема или пруда поднимается по всасывающей трубе и поступает в конденсатор. Теоретически, если бы в конденсаторе был абсолютный вакуум, то под давлением атмосферы вода во всасывающей трубе могла бы подняться на высоту 10 м (так как атмосферное давление уравнивает вес вод. столба высотой 10 м). При этом надо иметь в виду, что в конденсаторе все же существует некоторое давление, а также и то, что для разбрызгивания воды необходимо воду



Фиг. 9. Схема паровой машины с вспыскивающей конденсацией.

полостей цилиндра машины поступает в конденсатор, куда вспыскивается вода, подводимая по трубе из расположенного ниже машины водоема. Смесь сконденсировавшегося пара и охлаждающей воды откачивается насосом в спускной колодец или в водоем горячей воды.

В зависимости от способа ввода воды вспыскивающие конденсаторы делятся на конденсаторы с параллельным течением воды и пара и конденсаторы со встречным течением.

Приведенный на фиг. 8 конденсатор относится к типу конденсаторов с параллельным течением. К этому же типу относится и конденсатор на фиг. 10. Как видно, поступающий отработавший пар смешивается с разбрызгиваемой водой, конденсируется и стекает вместе с охлаждающей водой в нижний сосуд, откуда откачивается водяным насосом, а воздух собирается в верхней части нижней камеры конденсатора и оттуда откачивается специальным воздушным насосом. Охлаждающая вода и конденсируемый пар в этом конденсаторе движутся параллельно (сверху вниз), почему такой конденсатор и называется конденсатором с параллельным течением.

Схема конденсатора с противотоком (со встречным течением воды и пара) дана на фиг. 11. Вода поступает в верхнюю часть конденсатора и, переливаясь по специальным

выводам воды необходимо воду подводить к вспыскивающей сетке с напором и преодолевать сопротивление трения при движении воды в трубопроводе, высота всасывания практически допускается обычно всего лишь 1—2 м. Для этой цели конденсатор располагается в подвале машинного помещения, следовательно, невысоко над уровнем воды в водоеме.

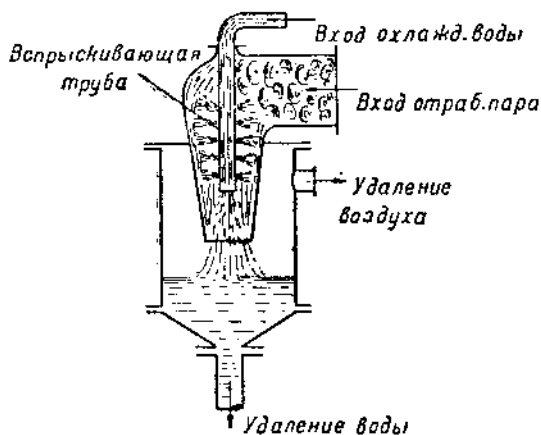
На фиг. 9 дана схема паровой поршневогой машины со смешивающей конденсацией—вспыскиванием. Отработавший пар из обеих

полкам, стекает вниз. Пар подается в нижнюю часть конденсатора и движется вверх — навстречу воде, одновременно соприкасаясь с водой и конденсируясь. Нагретая вода удаляется из нижней части, а воздух — из верхней, наиболее холодной части конденсатора. Поэтому воздух поступает в насос уже достаточно охлажденным и имеющим небольшой объем, что дает возможность установить воздушный насос небольшого размера (меньше, чем при конденсаторах с параллельным течением той же производительности).

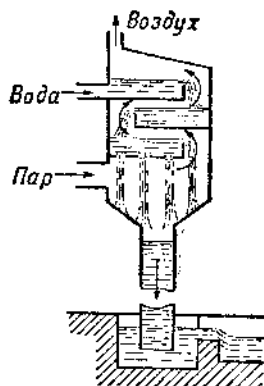
Применяются смешивающие конденсаторы с противотоком обычно лишь в установках с центральной конденсацией (о ней см. ниже).

Очень часто в смешивающих конденсаторах, вместо того чтобы откачивать воду и воздух раздельно — водяным и воздушным насосами, откачивают их вместе одним насосом, который получил название мокрого воздушного насоса (мокровоздушного). Подобный насос применен в установке, схема которой дана на фиг. 9.

Переходя к оценке конденсации вспыскиванием, нужно отметить следующие ее особенности:



Фиг. 10. Смешивающий конденсатор с параллельным течением воды и пара.



Фиг. 11. Схема смешивающего конденсатора с противотоком.

1) простоту устройства, особенно если вода и воздух откачиваются одним мокровоздушным насосом, и небольшое занимаемое этой установкой место;

2) небольшой (по сравнению с другими системами конденсации) расход охлаждающей воды на 1 кг конденсируемого пара.

В то же время система смешивающей конденсации имеет и крупный недостаток: конденсат отработавшего пара, представляющего собой чистую воду, вполне пригодную для питания паровых котлов, не может быть здесь использован, так как он смешивается с неочищенной (поступающей прямо из реки или пруда) охлаждающей водой.

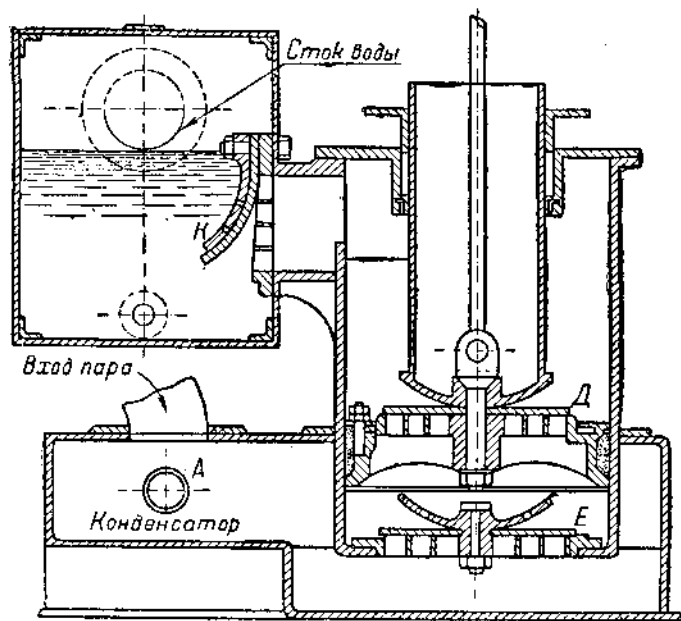
Применяется смешивающая конденсация обычно в установках с паровыми машинами на фабриках и заводах, где нет большой нужды в использовании конденсата, а где ценится в первую очередь небольшая стоимость установки и простота ее устройства. Что касается установок с паровыми турбинами современных электрических станций, то на них этот тип конденсации почти не применяется, так как там является весьма существенным сохранение конденсата. Кроме того, подобные установки работают в большинстве случаев с очень глубоким вакуумом, для получения которого гораздо более удобна поверхностная конденсация, подробно рассматриваемая в главе III.

Разобрав сущность процесса конденсации смешением, ее достоинства и недостатки, перейдем к рассмотрению конструкций смешивающих конденсаторов и насосов.

7. Конструкции впрыскивающих конденсаторов с мокровоздушными насосами простого действия.

Совместное откачивание воды и воздуха из смешивающего конденсатора на практике оказалось настолько удобным, что в настоящее время почти все впрыскивающие конденсаторы поршневых паровых машин, работающие с невысоким вакуумом, оборудуются именно мокровоздушными насосами. Раздельное же откачивание воды и воздуха применяется лишь в паросиловых установках с центральной конденсацией (о ней см. ниже) и в смешивающих конденсаторах, предназначенных для получения очень глубоких вакуумов.

Конструктивно конденсационная установка, состоящая из смешивающего конденсатора и мокровоздушного насоса, является весьма удобной, недорогой и занимающей минимум места. Применяемые мокровоздушные насосы делятся на насосы простого действия и насосы двойного действия. На фиг. 11а дана схема впрыскивающего конденсатора с мокровоздушным насосом простого действия, сконструированного еще самим Уаттом.



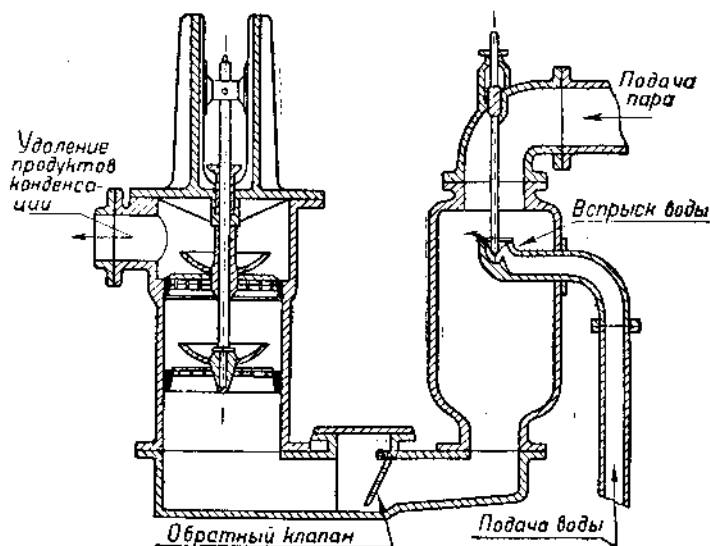
Фиг. 11а. Схема впрыскивающего конденсатора с мокровоздушным насосом простого действия сист. Уатта.

Основными частями этой конденсационной установки являются:

- 1) камера, где происходит конденсация отработавшего пара;
- 2) мокровоздушный насос;
- 3) камера, куда поступает откачиваемая насосом горячая вода и откуда она сливается наружу.

Мокровоздушный насос состоит из цилиндра насоса, поршня и клапанов. Поршень получает движение вниз и вверх помощью шатунной передачи непосредственно от паровой машины. Клапанов у насоса три — нижний, разобщающий всасывающую водяную камеру от насоса, средний, расположенный на самом поршне, выполненный сквозным, и верхний, разобщающий нагнетательную камеру насоса от сборника кон-

декационной воды. Пар поступает в верхнюю часть камеры конденсатора (расположена на фиг. 11а внизу, слева) и смешивается с охлаждающей водой, вылетающей из отверстий разбрызгивающей трубы *А*. Конденсируясь, пар стекает в виде воды вместе с нагретой охлаждающей водой в нижнюю часть камеры конденсатора — в пространство под мокровоздушным насосом. Когда поршень насоса движется вверх (из положения, изображенного на фиг. 11а), под поршнем образуется разреженное пространство. Вследствие этого открывается резиновый клапан *Е*, и вода с воздухом поступает в пространство под поршнем. При обратном движении поршня сверху вниз всасывающее действие насоса прекращается, клапан *Е* закрывается давлением воды под поршнем, открывается клапан *Д* на поршне насоса и находящаяся в насосе вода из пространства под поршнем переходит в пространство над поршнем. При вторичном движении поршня вверх под поршнем насоса снова происходит всасывание, а вода, находящаяся над



Фиг. 12. Впрыскивающий конденсатор с мокровоздушным насосом простого действия для вертикальной паровой машины.

поршнем, выталкивается через клапан *К* в сборный резервуар для воды. Таким образом в этом насосе попеременно идет процесс всасывания (при поднятии поршня) и нагнетания (при опускании поршня) воды и воздуха из конденсатора.

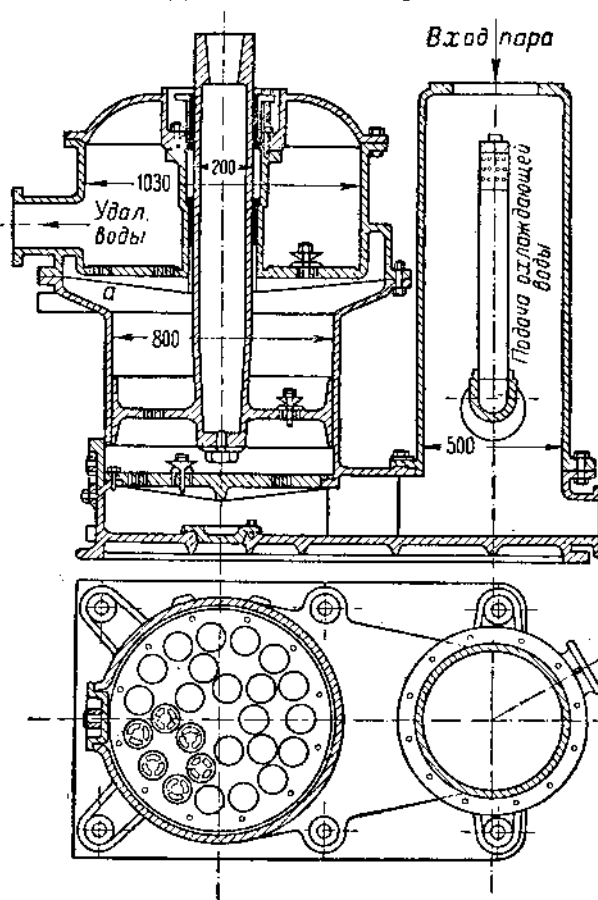
По устройству описанная установка весьма проста и надежна, но самая конструкция мокровоздушного насоса имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что всасывающие клапаны плохо доступны для осмотра и замены, так как расположены очень низко. Между тем от исправного состояния клапанов в значительной степени зависит бесперебойная работа насоса, и за ними необходимо наблюдать, так как иногда от высокой температуры воды они размягчаются, портятся и отказываются работать.

По принципу своего действия мокровоздушные насосы более поздних конструкций почти не отличаются от насоса Уатта. Заводы, строящие эти конденсаторы и насосы, придают им лишь различную форму, преследуя главным образом компактность устройства, надежность работы клапанов и поршня и легкую доступность клапанов. В качестве примера на фиг. 12 изображены конденсатор и мокровоздушный насос более совер-

шенной конструкции для вертикальной паровой машины. Все клапаны этого насоса отличаются сравнительно хорошей доступностью для осмотра и ремонта.

На фиг. 13 представлен разрез конденсатора и мокровоздушного насоса завода Рингофер в Праге (Чехо-Словакия). Отличительная особенность устройства состоит в том, что нагнетательная камера насоса выполнена уширенной и образует большую воздушную камеру. Находящийся в верхней части ее воздух при движении поршня вверх

действует в качестве эластичного буфера, смягчая удары, происходящие вследствие толчкообразного движения воды. Благодаря такому устройству насос этот весьма пригоден даже и для быстроходных машин.



Фиг. 13. Мокровоздушный насос завода Рингофер.

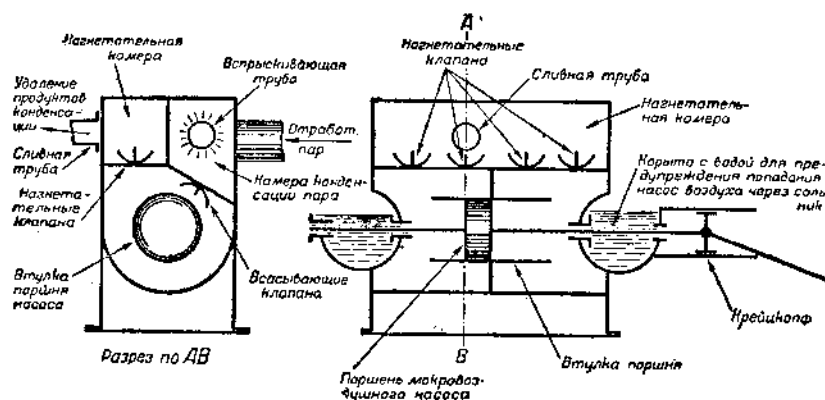
где происходит конденсация пара. Вся конденсационная установка получается весьма компактной.

На фиг. 14 приведена схема вспыскивающего конденсатора паровой поршневой машины с мокровоздушным насосом двойного действия. В левой части дан поперечный разрез устройства, а в правой — продольный. Как видно из поперечного разреза, устройство состоит из трех частей: конденсатора, насоса и нагнетательной камеры. Правая верхняя камера представляет собой собственно конденсатор, т. е. камеру, где отработавший пар сгущается в воду. В эту часть поступает из машины отработавший пар, здесь же имеется вспыскивающая труба. Охлаждающая вода, воздух и сгущенный пар после конденсации через всасывающие клапаны в нижней части этой камеры поступают во вторую (нижнюю) часть устройства — насос.

8. Конструкции вспыскивающих конденсаторов с мокровоздушными насосами двойного действия.

Конденсаторы с мокровоздушными насосами двойного действия в установках с паровыми поршневыми машинами также очень широко распространены, главным образом в горизонтальных машинах. Отличительной особенностью этих насосов является то, что они одновременно и всасывают, и нагнетают продукты конденсации; кроме того, насосы эти очень хорошо конструктивно комбинируются с конденсатором — камерой,

Камера насоса (см. продольный разрез) поршнем делится на две части — левую и правую. Поршень вставлен во втулку, имеет шток и получает движение от кривокопфа (крестовины), который в свою очередь посредством системы тяг и шатунов получает движение от главного вала машины. Наконец, в левой верхней части поперечного разреза видна нагнетательная камера мокровоздушного насоса. К этой камере присоединена сливная труба, а в нижней части имеются нагнетательные клапаны насоса. Когда поршень мокровоздушного насоса движется вправо, в левой части насоса создается разрежение, благодаря чему открываются всасывающие клапаны насоса и продукты конденсации из конденсатора поступают в левую полость насоса. В то же время находящиеся в правой части насоса продукты конденсации вытесняются через нагнетательные клапаны из насоса в нагнетательную камеру, а оттуда через сливную трубу выходят наружу. Наоборот, когда поршень совершает свое обратное движение, т. е. идет влево, в левой части происходит вытеснение продуктов конденсации через нагнетательные клапаны наружу, а в правой — поступление их из конденсатора в эту часть насоса через всасывающие клапаны.

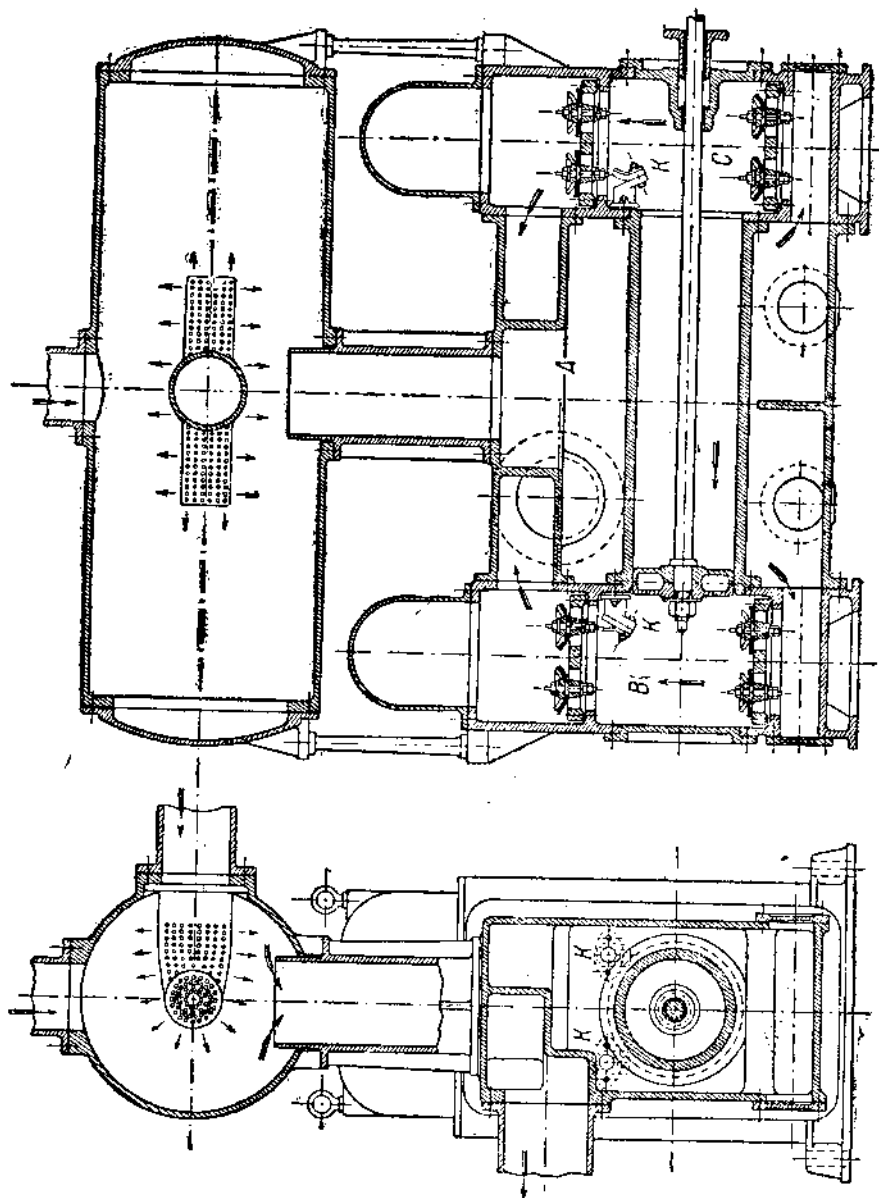


Фиг. 14. Схема вспыскивающего конденсатора с мокровоздушным насосом двойного действия.

Несколько отличную конструкцию имеет представленный на фиг. 15 конденсатор с мокровоздушным насосом завода Бринкмана. Конденсатор здесь выполнен отдельно в виде цилиндрического резервуара, помещен над насосом и соединен с ним только патрубком. Вспыскивающая труба для равномерного разбрызгивания воды по возможности по всему объему конденсатора выполнена довольно больших размеров и имеет форму буквы Т. Мокровоздушный насос (системы Горна) по принципу своей работы также несколько отличается от рассмотренных выше мокровоздушных насосов. Основным отличием его является то, что в целях улучшения разрежения и устранения образования в насосе воздушных мешков всасывание воды и воздуха из конденсатора здесь производится раздельно. Как видно на фиг. 15, насос этот имеет четыре группы резиновых клапанов: нижние — всасывающие (левой и правой полости) и верхние — нагнетательные. Кроме того, под каждой группой нагнетательных клапанов сбоку расположено по два резиновых клапана (эти клапаны на фиг. 16 обозначены буквой К). Через них-то воздух и поступает в насос.

Положим, что поршень насоса (так изображено на фиг. 15) находится в левом мертвом положении. Пространство В насоса (между всасывающим и нагнетательным клапанами левой полости) при этом совершенно заполнено водой. При движении поршня вправо он освобождает объем в левой полости, и уровень воды под нагнетательными

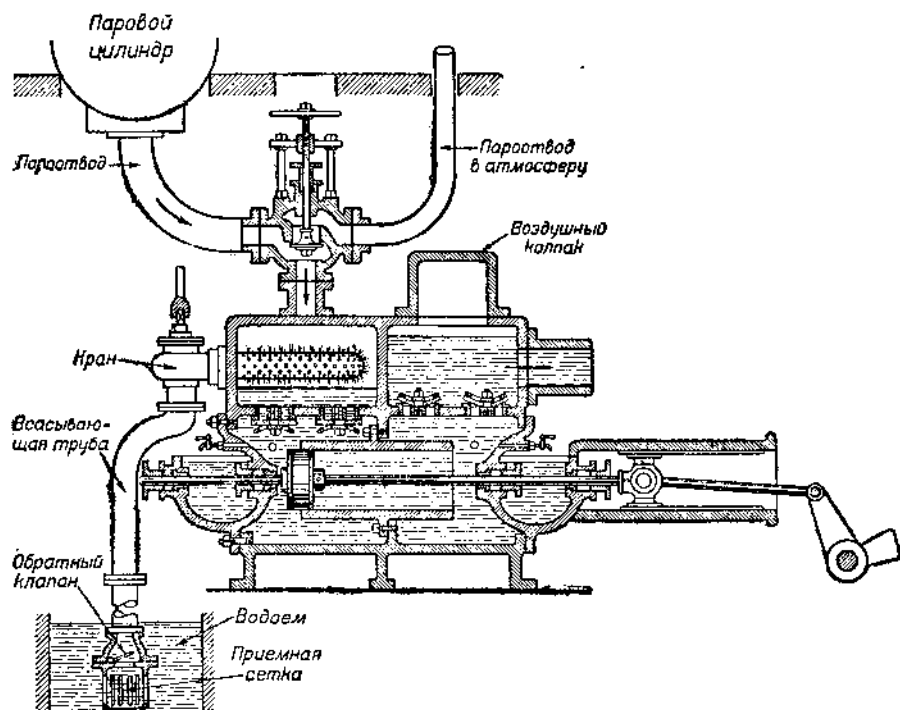
клапанами начинает падать. При этом над водой в полости *B* образуется разрежение, увеличивающееся по мере движения поршня. Как только разрежение здесь станет больше, чем разрежение в конденсаторе, расположенные под нагнетательными воздушными клапанами откроются, и в эту полость насоса начнут поступать воздух и еще несконденсировавшийся пар. При этом давление в обеих камерах (в полости *B* насоса и в конденсаторе) сравняется, и теплая вода будет поступать в камеру *B* насоса по закону сообщающихся сосудов, преодолевая сопротивление клапанов. При обратном ходе поршня влево вода и воздух выталкиваются из насоса через нагнетательные клапаны.



Фиг. 15. Смешивающий конденсатор с микровоздушным насосом Бринкмана.

Процесс в правой полости насоса *С* происходит точно так же. Опыт показал, что благодаря преодолению сопротивления всасывающих клапанов давлением столба воды, находящейся в полости *А* насоса (так называемым гидростатическим давлением), помощью подобного насоса можно получить более высокий вакуум. В этом — преимущество конструкции Горна перед другими конструкциями мокровоздушных насосов.

На фиг. 16 представлена схема смешивающего конденсатора с мокровоздушным насосом, также имеющего довольно широкое распространение. Этот мокровоздушный насос двойного действия имеет четыре камеры — две всасывающие и две нагнетатель-

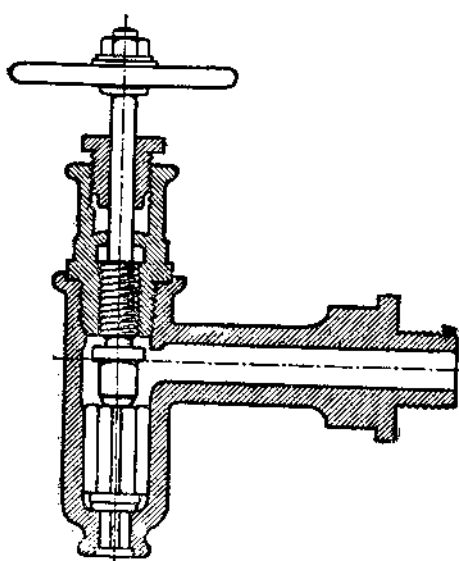


Фиг. 16. Мокровоздушный насос с двумя всасывающими и двумя нагнетательными камерами.

ные. Всасывающие камеры сообщаются с паровыпускной трубой машины и снабжены приспособлениями, разбрызгивающими воду. Охлаждающая вода всасывается из колодца, расположенного ниже уровня конденсатора, вследствие разрежения в нем. Нагнетательные камеры сообщаются с отливной трубой, из которой вода спускается в водоем горячей воды. При движении поршня слева направо в левой части засасываются насосом продукты конденсации, а в правой они в это время выталкиваются из полости насоса в нагнетательную камеру. При движении поршня справа налево имеет место обратное явление. На фиг. 16 представлены только две камеры: всасывающая левая и нагнетательная правая. На паропроводе от цилиндра к конденсатору имеется трехходовой клапан для переключения машины на работу на выхлоп (например в случае неисправности конденсатора).

Как видно на фиг. 16, над нагнетательной камерой насоса имеется воздушный колпак. Назначение его — смягчать водяные удары, получающиеся при перемене хода

насосного поршня. Для этой же цели имеются и специальные небольшие воздушные клапаны («сопунчики»), по одному на каждую полость насоса. Через них при перемене хода в насос всасывается небольшое количество воздуха, смягчающее водяной удар.



Фиг. 17. Воздушный клапан мокровоздушного насоса («сопунчик») в разрезе.

Всасываемое количество воздуха очень мало, так как иначе понизился бы всасывающий эффект мокровоздушного насоса.

Конструкция воздушного клапана дана на фиг. 17. Над клапаном имеется маховичок, перестановкой которого можно регулировать высоту подъема клапана при всасывающем ходе насоса и, следовательно, количество всасываемого воздуха.

9. Детали вспыскивающих конденсационных установок.

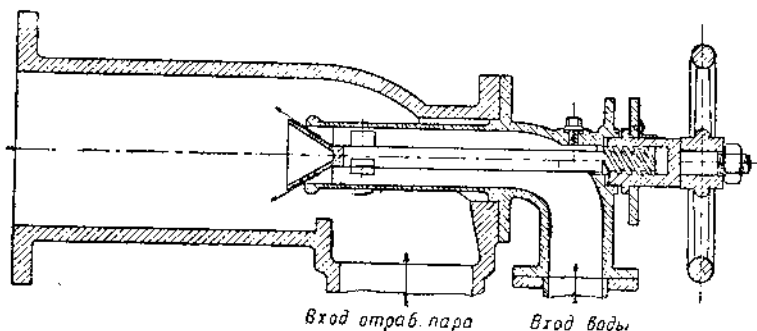
Наиболее ответственными деталями любой вспыскивающей конденсационной установки с мокровоздушным насосом являются:

- а) вспыскивающий аппарат конденсатора,
- б) клапаны,
- в) поршень насоса,
- г) уплотнение штока поршня.

Рассмотрим эти детали подробнее.

а) Вспыскивающий аппарат.

Назначение вспыскивающего аппарата — подавать в конденсатор охлаждающую воду и разбрызгивать ее навстречу поступающему в конденсатор отработанному пару. Состоит этот аппарат из приемной сетки с обратным клапаном, всасывающей



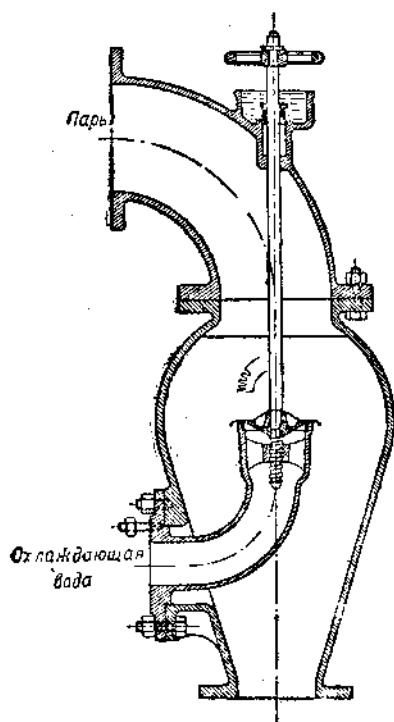
Фиг. 18. Разбрызгивающий клапан смешивающего конденсатора.

трубы, крана и разбрызгивающего воду приспособления, находящегося в камере конденсатора. Весь вспыскивающий аппарат ясен у конденсатора на фиг. 17.

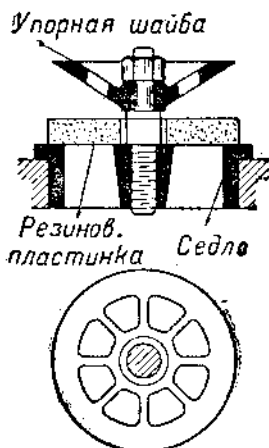
Приемная сетка, которой оканчивается всасывающая труба, опускается в водоем или пруд, откуда берется вода на охлаждение. Назначение ее — препятствовать по-

паданию в конденсатор посторонних предметов (сора, рыбы и т. п.). Чтобы через сетку не мог попадать во всасывающую трубу наружный воздух, во время работы конденсатора она должна находиться обязательно под водой. При помощи крана (установленного на всасывающей трубе перед конденсатором) открывается или закрывается доступ воды в конденсатор, а также и регулируется количество подаваемой воды.

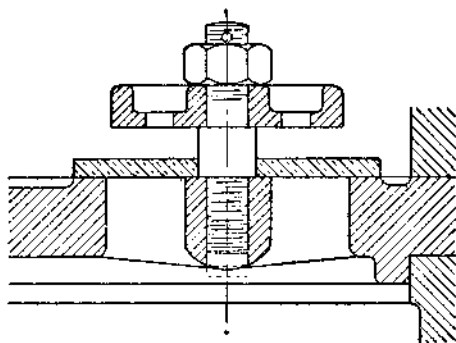
Приспособлением, разбрызгивающим воду в конденсаторе, является либо труба с мелкими (в 2—3 мм) отверстиями (обычно медная), как в конструкциях на фиг. 16 и 17, либо разбрызгивающий клапан, причем если ставится разбрызгивающий клапан, то перед ним регулирующего крана обычно уже не бывает, т. е. он служит и запорным и разбрызгивающим для воды приспособлением. Подобный разбрызгивающий клапан применен



Фиг. 19. Всасывающий конденсатор фирмы Клейн, Шанцман и Беккер.



Фиг. 20. Круглый резиновый клапан мокровоздушного насоса.



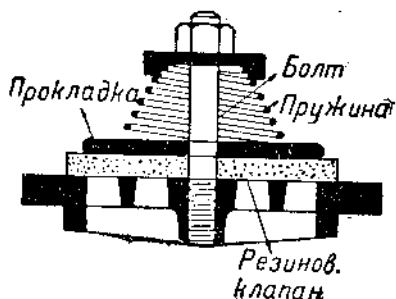
Фиг. 21. Резиновый клапан с горизонтальной тарелкой.

в конструкции фиг. 12. На фиг. 18 дана в большом масштабе одна из конструкций разбрызгивающих клапанов. Как видно, труба, подающая охлаждающую воду в конденсатор, оканчивается коническим клапаном, управляемым специальным шпинделем. Величина открытия клапана (следовательно, и количество воды, подаваемой в конденсатор) регулируется машинистом от руки. Разбрызгивание воды происходит здесь через коническую щель между трубкой и конусообразным клапаном.

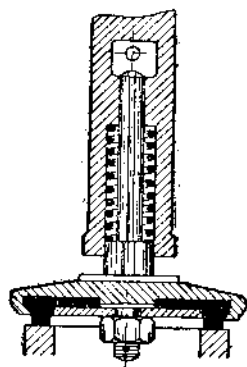
На фиг. 19 представлен вертикальный конденсатор (в исполнении фирмы Клейн, Шанцман и Беккер) также с разбрызгивающим клапаном. Разбрызгивание воды про-

изводится круглым клапаном, имеющим по своей окружности зубчики, способствующие хорошему распыливанию воды. Положение клапана над седлом регулируется шпинделем и ручным маховичком. Чтобы через сальник шпинделя в конденсатор не проникал воздух, он имеет чашку В, наполненную во время работы конденсатора водой.

Отметим, что хорошее разбрызгивание воды для работы конденсатора является очень важным.

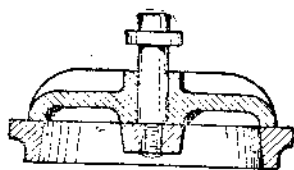


Фиг. 22. Резиновый клапан с пружинной нагрузкой.

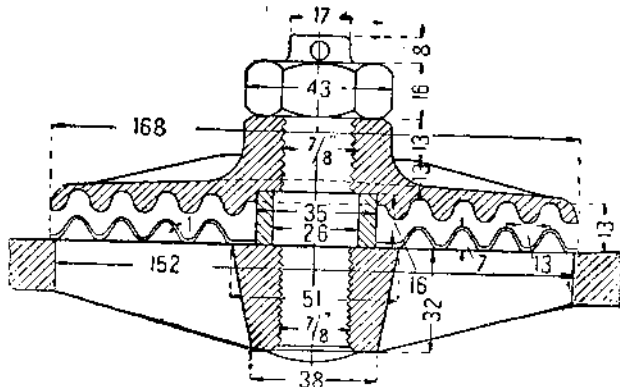


Фиг. 23. Грибовидный клапан из твердой резины с пружинной нагрузкой.

Чем мельче разбрызгивается вода, тем больше площадь соприкосновения воды с паром, тем лучше и полнее конденсируется отработанный пар. Если разбрызгивающим аппаратом является сетка, то нужно всегда следить, чтобы отверстия не затыкались грязью, так как это уменьшает количество подаваемой воды, и периодически осматривать и очищать разбрызгивающий аппарат. У разбрызгивающих клапанов перед клапаном обычно ставится мелкая сетка, чтобы исключить возможность попадания в конденсатор посторонних предметов (прошедших всасывающую сетку в водосеое), могущих



Фиг. 24. Металлический клапан без пружины.



Фиг. 25. Металлический клапан с волнистой пластикой.

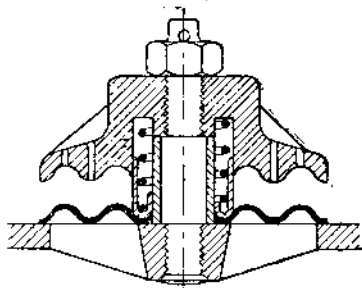
загрязнить всасывающие и нагнетательные клапаны и вызывать их плохое, неплотное закрытие. Эту сетку также следует осматривать.

в) Клапаны.

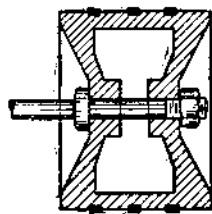
Клапаны следует считать наиболее ответственной деталью мокровоздушных насосов, от исправной работы которых зависит в значительной мере исправная работа всего конденсационного устройства. Наиболее распространенным материалом для кла-

панов является резина вследствие своей эластичности. На фиг. 20 показан резиновый клапан простого устройства, получивший довольно широкое распространение. Форма клапана круглая, но применяются и прямоугольные клапаны. Круглые удобнее потому, что клапан быстрее закрывается вследствие собственной упругости материала. Состоит клапан из седла, собственно клапана, представляющего резиновую пластинку, и тарелки или упорной пластинки (шайбы) конической или плоской формы, выполняемой обычно в виде решетки, чтобы клапан не прилипал к ней. На месте клапан удерживается втулкой тарелки, которую крепко притягивают гайкой к седлу. Резиновый клапан с горизонтальной тарелкой показан на фиг. 21.

На фиг. 22 показан резиновый клапан с пружинной нагрузкой. В этой конструкции резиновый клапан поднимается со своего места вполне горизонтально, находясь под действием спиральной пружины, которая, с одной стороны, препятствует ему перекашиваться во время подъема, а с другой стороны—по окончании подъема сажает его на место. Чтобы пружина не вдавливалась в резиновую пластинку и не портила ее, между пружинной и пластинкой помещают прокладку в виде круглой шайбы из металла, не подверженного ржавчине. Поставленный в середине болт служит для связи всех частей клапана и для ограничения его хода.



Фиг. 26. Металлический клапан с пружинной нагрузкой.



Фиг. 27. Дисковый поршень микровоздушного насоса.

На фиг. 23 представлен грибовидный клапан с пружинной нагрузкой, выполненный из особого сорта твердой резины. Подобная конструкция, как показал опыт, хорошо себя зарекомендовала в быстроходных насосах, где требуются быстрый подъем, быстрая посадка клапана на седло и незначительный износ.

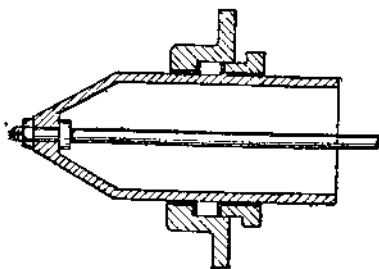
Недостатком резиновых клапанов всех конструкций является то, что они не выдерживают высокой температуры и портятся от жиров, содержащихся в воде, откачиваемой насосом. Так как отработавший пар паровых машин содержит масло, то под влиянием этого масла резиновые клапаны быстро разрушаются, и их приходится заменять. Поэтому наряду с существующими и ныне резиновыми клапанами практикой выработаны конструкции клапанов из другого материала. Наиболее удачными из них следует признать клапаны из вулканизированной фибры. В работе такие клапаны оказались очень стойкими против высокой температуры и масла. Следует, однако, отметить, что плотность зазора при таких клапанах достигается только в мокром состоянии.

Широкое применение в микровоздушных насосах имеют точно так же металлические клапаны, особенно распространенные в судовых машинах. Клапаны эти совершенно не портятся от высокой температуры воды и масла, но зато менее эластичны.

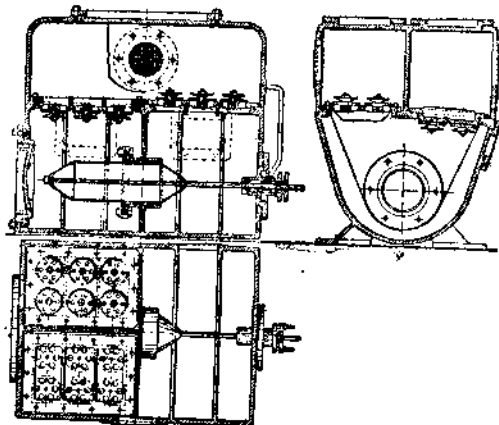
На фиг. 24 представлен металлический клапан без пружины, пригодный для работы в горизонтальном положении. Состоит этот клапан из металлической пластинки, прилегающей своими краями к седлу.

На фиг. 25 представлен горизонтальный металлический клапан с волнистой штампованной пластинкой, которая во время всасывания поднимается до волнистой же тарелки и тем дает проход для воды. Такие клапаны пользуются большим распространением вследствие надежности в работе и большого проходного сечения.

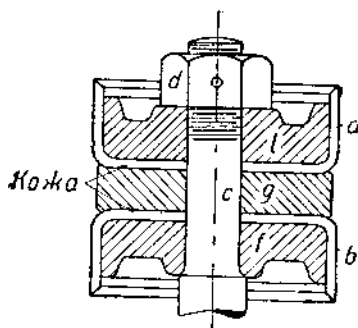
На фиг. 26 представлен металлический клапан с пружинной нагрузкой, работающий и при наклонном расположении. Основной его частью также является металлическая волнистая пластинка. Подъем клапана совершается без всякой возможности перекоса благодаря надежным направляющим. Опускание на седло совершается под действием упругости пружины, заложенной над клапаном.



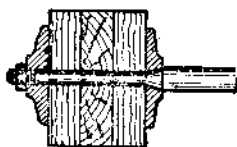
Фиг. 28. Скальчатый поршень.



Фиг. 29. Мокроевоздушный насос двойного действия со скальчатым поршнем.



Фиг. 30. Поршень с кожаной набивкой.



Фиг. 31. Деревянный поршень.

с) Поршни.

Поршень мокроевоздушного насоса, как и клапана, является весьма ответственной деталью.

Основными требованиями, предъявляемыми к поршню любой конструкции, являются:

- 1) плотность прилегания ко втулке или цилиндру, в котором движется поршень;
- 2) по возможности небольшой износ во время работы как поршня, так и поверхности втулки.

Различают следующие типы поршней мокроевоздушных насосов:

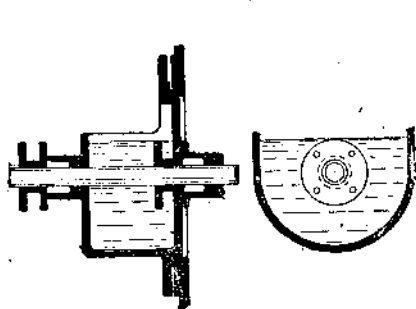
- 1) дисковые поршни (фиг. 27);
- 2) скальчатые поршни (фиг. 28).

Последние предпочтительнее при больших скоростях движения поршня, так как при них получают меньшие водяные удары и за ними благодаря конусу лучше следует вода.

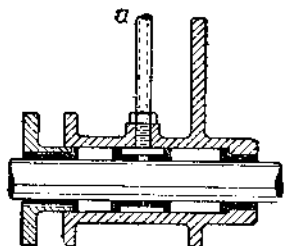
Мокровоздушный насос со скальчатым поршнем представлен на фиг. 29. Мокровоздушные насосы, имеющие дисковые поршни, приведены нами выше (фиг. 14, 15, 16, 17).

Для того чтобы откачиваемая насосом вода не могла проникать из одной полости насоса в другую, т. е. чтобы было плотное прилегание поршня к стенкам цилиндра, поршни обычно снабжаются по окружности уплотнением — набивкой. По роду набивки поршни можно разделить на следующие группы: 1) с кожаной, 2) с деревянной, 3) с пеньковой и 4) с металлической набивкой.

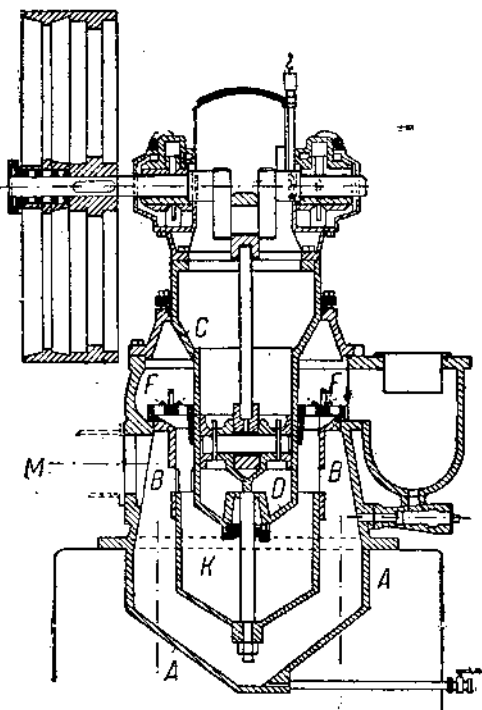
На фиг. 30 представлен поршень, имеющий кожаную набивку. Круглые куски кожи *a* и *b* с круглыми отверстиями посередине, называемые манжетами, надеваются на шток *c*. Помощью гайки *d* манжеты крепко зажимаются между двумя или тремя



Фиг. 32. Водяное уплотнение сальника мокровоздушного насоса помощью корыта.



Фиг. 33. Уплотнение сальника водой под давлением.



Фиг. 34. Мокровоздушный насос со всасывающими щелями в разрезе.

поршневыми дисками (тарелками), и в таком виде поршень вставляется в цилиндр. Применять поршни с кожаной набивкой рекомендуется только при чистой воде; при грязной же происходит забивание грязи в кожу и скорое истирание поверхностей цилиндра. Точно так же и поршни деревянные (с деревянной набивкой), очень дешевые по цене, могут быть применены только при очень чистой воде. При воде, содержащей грязь и песок, зерна его забираются в мягкое дерево и быстро истирают внутренность цилиндра. Тем же недостатком обладают и поршни с пеньковой набивкой.

Общий вид деревянного поршня представлен на фиг. 31. Он состоит из трех деревянных круглых дисков, надетых на шток поршня. Деревянные диски плотно прижаты друг к другу металлическими шайбами и болтами. Поршни с металлической набивкой в настоящее время имеют очень широкое распространение. Выполняется набивка обычно в виде нескольких пружинящих колец, вставляющихся в поршень (подобно пор-

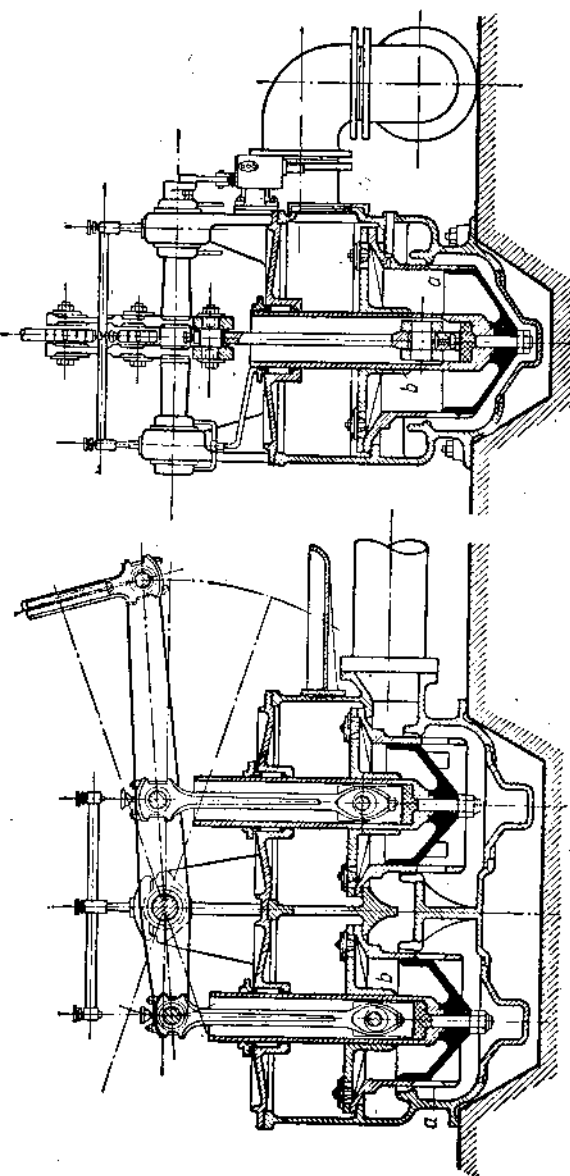
шневым кольцам паровой машины). Материалом колец служит нержавеющей металл — в большинстве случаев бронза. Дисковый поршень с металлическими кольцами представлен в разрезе на фиг. 27.

д) Уплотнение штока поршня.

Места, где шток поршня мокровоздушного насоса проходит через корпус насоса, должны быть хорошо уплотнены во избежание проникновения наружного воздуха в полость мокровоздушного насоса. Обычно применяется гидравлическое уплотнение (водой), хорошо зарекомендовавшее себя на практике. В простейшем случае (фиг. 32) сальник в месте выхода штока поршня погружается в корыто с водой, что и предохраняет насос от проникновения наружного воздуха. Подобное уплотнение имеют мокровоздушные насосы на фиг. 14 и 17.

Другой тип водяного уплотнения — уплотнение водой под давлением, представленное на фиг. 33. К сальнику насоса помощью специальной трубки *a* подводится вода из нагнетательного пространства насоса, обеспечивающая плотный затвор и препятствующая проникновению воздуха в насос. Мокровоздушный насос с подобным уплотнением был дан на фиг. 29.

Фиг. 35. Сдвоенный мокровоздушный насос со всасывающими щелями.

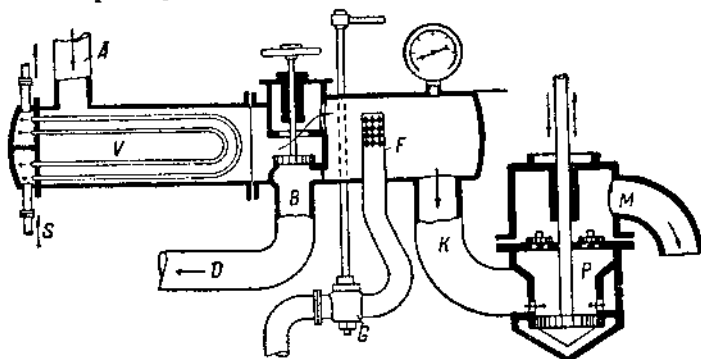


За исправным состоянием уплотняющих приспособлений во время работы насоса обязательно нужно следить.

10. Мокровоздушные насосы со всасывающими щелями.

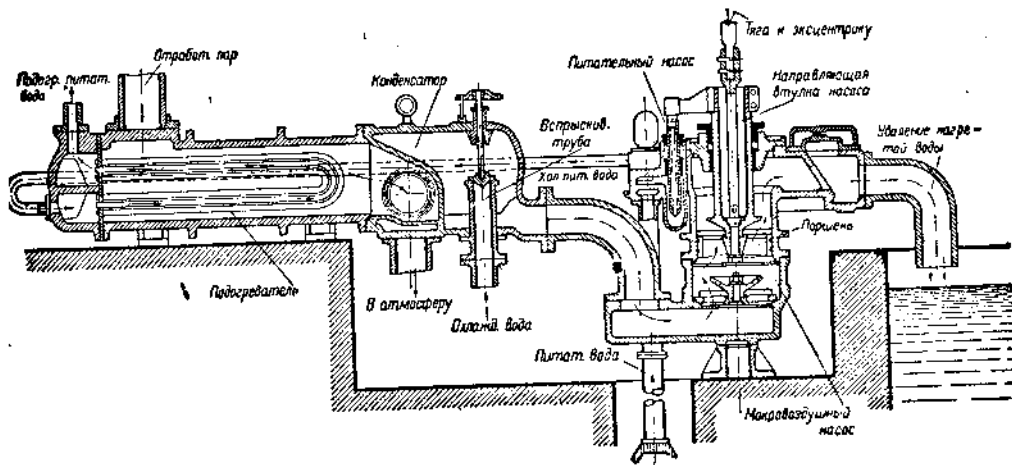
Для уменьшения необходимого числа клапанов и упрощения конструкции насоса существуют конструкции, у которых всасывающие клапаны отсутствуют и заменены вса-

сывающими щелями. Таковы мокровоздушные насосы системы Броун-Куна. В разрезе подобный насос представлен на фиг. 34. В корпусе *A* насоса вставлена цилиндрическая втулка *B* с прорезанными по ее окружности окнами. Внутри втулки ходит полный поршень *K*, шток которого проходит через сальник нижней части *D* крышки корпуса на-



Фиг. 36. Схема впрыскивающей конденсационной установки locomobile Ланч.

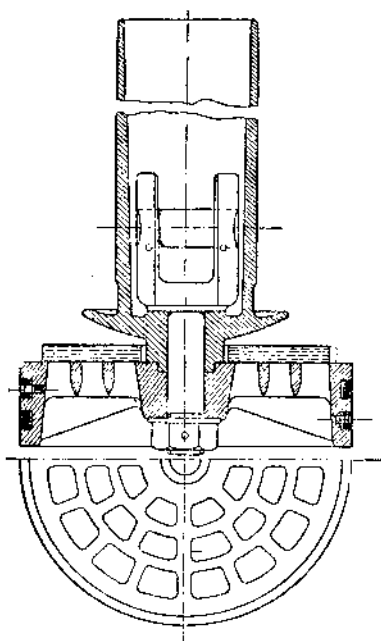
A — паропровод из цилиндра. *V* — подогреватель питательной воды отработавшим паром. *S* — питательный трубопровод к котлу. *B* — клапан для переключения машины на работу без конденсации. *D* — паропровод в атмосферу. *E* — впрыскивающий конденсатор. *F* — впрыскивающая труба. *G* — впрыскивающий кран. *K* — трубопровод для воды и воздуха, ведущий к мокровоздушному насосу. *P* — мокровоздушный насос со всасывающими щелями. *M* — водоспускная труба.



Фиг. 37. Локомотивная конденсационная установка Людиновского завода.

соса. Выступающая часть *D* носит название вытеснителя. Внутри вытеснителя ходит крейцкопф, шарнирно соединяющий шток с шатуном, другим концом надетым на шейку коленчатого вала, получающего вращение помощью шкива от трансмиссии или специального мотора. Над втулкой *B* имеется ряд расположенных по окружности резиновых клапанов *F*, являющихся нагнетательными клапанами насоса.

Вода из конденсатора поступает в насос по трубе *М* и заполняет пространство между корпусом и поршнем. При движении поршня вниз уровень воды поднимается и доходит до окон, через которые вода переливается внутрь поршня. При обратном



Фиг. 38. Сквозной поршень мокро-воздушного насоса.

движении поршня вверх вместе с водой он встречает вытеснитель *В*, причем уровень воды в поршне поднимается давлением вытеснителя, и, когда поршень закроет собою окна во втулке *В*, вода выталкивается из насоса через нагнетательные клапаны. Одновременно при поднятии поршня происходит засасывание воды из конденсатора по трубе *М*. Подобные насосы просты по конструкции и дают возможность получить хороший вакуум, так как вследствие отсутствия сопротивления при всасывании нет необходимости иметь избыток разрежения в насосе для преодоления этого сопротивления.

На фиг. 35 дан подобный же насос с двояного типа, приводящийся в движение посредством шатуна и двулучного рычага от кривошипа машины. Насос состоит из двух расположенных рядом цилиндров, спаренных таким образом, что, когда в одном из цилиндров идет всасывание, в другом — нагнетание воды.

Ряд прямоугольных отверстий *а* в рабочей (боковой) поверхности насосного цилиндра при движении полого поршня остается открытым в продолжение части нисходящего движения поршня, давая паровоздушной смеси и воде свободный доступ в насосное пространство. Как только

в начале восходящего движения поршня отверстие *а* закрывается, при дальнейшем его поднятии вытеснитель *б* выталкивает через закрываемые резиновыми клапанами отверстия сперва воздух, а затем часть заключенной в поршне воды.

11. Вспрыскивающая конденсация локомотивей.

Локомотивы промышленных установок, установленные на фундамент (полулокомотивы), очень часто снабжаются смешивающим (вспрыскивающим) конденсатором. Оборудованный конденсацией локомотив по своей экономичности представляет тип весьма экономичной, удобной и к тому же весьма компактной паросиловой установки для малых и средних мощностей. Компактность конденсационного устройства является основным требованием к конденсации локомотивей.

На фиг. 36 дана схема конденсационной установки локомотива фирмы Ланц. Отработавший пар на пути от машины к конденсатору поступает сначала в подогреватель питательной воды (играющей для пара одновременно роль предварительного конденсатора). Питательная вода проходит по трубам, пар омывает трубы снаружи. Таким путем удастся нагреть локомотивный котел подогреваемой водой, что очень важно, так как локомотивы обычно не имеют экономайзеров¹, нагревание же холодной водой очень вредно для котла. Если локомотив работает на конденсацию, то температура

¹ Экономайзером называется подогреватель питательной воды, использующий тепло отходящих газов паровых котлов и устанавливаемый в дымоходе за котлом.

отработавшего пара составляет обычно 40 — 50° С и можно подогреть воду градусов до 40. Если же локомотив работает на выхлоп, подогрев может быть произведен до 100° С, так как температура пара машины, работающей на выхлоп, составляет около 110° С. Выйдя из подогревателя, пар проходит далее переключающий клапан, соответствующе установке которого можно работать с конденсатором (это положение изображено на фиг. 36) или перевести машину на работу на атмосферу. Попадая в камеру конденсатора, пар встречает охлаждающую воду, разбрызгиваемую специальной сеткой, и конденсируется. Количество подаваемой на охлаждение воды может быть регулируемо специальным краном. Нагретые вода и конденсат самотеком поступают к мокровоздушному насосу со всасывающими щелями, который и откачивает их вместе с воздухом наружу. Поршень насоса получает движение от коренного вала паровой машины локомотива посредством эксцентрика.

На фиг. 37 дан чертеж конденсационной сменяющей установки одного из локомотивов Людиновского завода. Мокровоздушный насос здесь простого действия со всасывающими и нагнетательными клапанами. Поршень насоса сквозной, на нем помещается резиновый клапан, играющий роль нагнетательного. На фиг. 38 дан подобный сквозной поршень с клапаном в большем масштабе. Перед конденсатором имеется также трубчатый подогреватель питательной воды. Поршень соединен с направляющей втулкой, в свою очередь связанной тягой с эксцентриком на валу локомотива, от которого насос и получает движение. С направляющей втулкой мокровоздушного насоса связана скалка питательного насоса, который подает питательную воду в подогреватель, откуда вода уже в нагретом состоянии отводится на питание котла.

12. Расположение и привод мокровоздушных насосов.

Конденсационное устройство паровых двигателей обычно располагается в подвальном помещении непосредственно под машиной. Линия в машинах небольшой мощности встречается расположение конденсатора и мокровоздушного насоса на одном уровне с цилиндром машины.

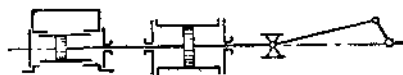
Располагая конденсатор в подвале, преследуют две цели:

1) уменьшить высоту всасывания охлаждающей воды в конденсатор (в случае подачи воды без насоса);

2) не загромождать машинное помещение механизмами.

Привод насосов конденсационного устройства при паровых поршневых машинах обычно производится от самой машины помощью шатунов или балансира. При паровых турбинах (если они обслуживаются смешивающими конденсаторами) обычно пользуются электромоторами. Конструктивное осуществление привода в установках с паровыми машинами в схемах дано на фиг. 39, 40, 41, 42, 43, 44.

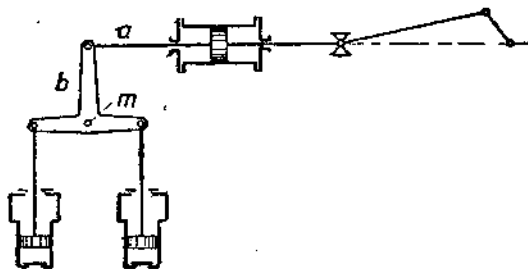
На фиг. 39 показан привод при расположении цилиндра машины и мокровоздушного насоса на одном уровне. Мокровоздушный насос двойного действия установлен за цилиндром машины и получает движение от контрштока паровой машины. На фиг. 40 дан привод двоярного мокровоздушного насоса простого действия горизонтальной машины от контрштока *a* и балансира *b*, качающегося на оси *м*. На фиг. 41 дана схема привода мокровоздушного насоса двойного действия горизонтальной машины при расположении насоса в подвале. Передача движения к насосу здесь осуществляется от кривошипа машины помощью шатуна *a* и углового рычага *b*, качающегося на оси *с*. Привод мокровоздушного насоса двойного действия от кривошпа горизонтальной машины представлен на фиг. 42. Передача движения осуществляется помощью тяги *a*,



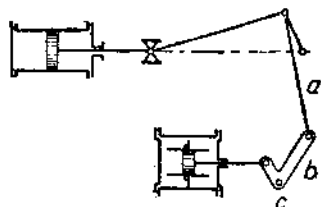
Фиг. 39. Привод мокровоздушного насоса от контрштока машины.

при движении крейцкопфа качающейся около точки *b*. В точке *c* этой тяги с ней связан шток поршня насоса.

На фиг. 43 дан привод насоса вертикальной машины (насос простого действия установлен на одном уровне с машиной) от крейцкопфа и балансира *A*, качающегося вокруг точки *B*. На фиг. 44 дан привод вертикального воздушного насоса, установленного в подвале, от эксцентрика на кривошипном валу машины.

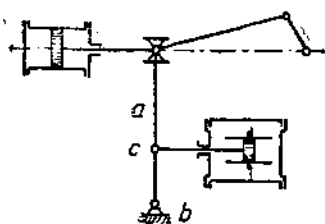


Фиг. 40. Привод двусосного мокровоздушного насоса простого действия.

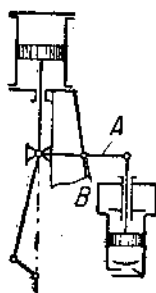


Фиг. 41. Привод мокровоздушного насоса двойного действия при расположении насоса в подвале.

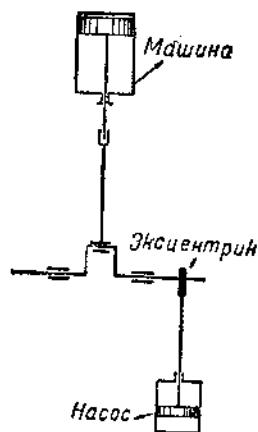
Фиг. 45 и 46 представляют более детальные чертежи широко применяемых типов машин с мокровоздушными насосами. На фиг. 45 дана в разрезе вертикальная паровая машина компаунд средней мощности с мокровоздушным насосом простого действия. Насос приводится в движение при помощи балансира, связанного короткой серьгой с крейцкопфом машины. Привод мокровоздушного насоса от крейцкопфа горизонтальной машины дан на фиг. 46. Насос двойного действия и расположен в подвале под машиной. От крейцкопфа машины получает движение, кроме главного шатуна, еще небольшой вспомогательный шатун, сочлененный с балансиром, имею-



Фиг. 42. Передача движения к мокровоздушному насосу от крейцкопфа горизонтальной машины.



Фиг. 43. Передача движения к мокровоздушному насосу от крейцкопфа вертикальной машины.



Фиг. 44. Передача движения к мокровоздушному насосу от эксцентрика, расположенного на валу машины.

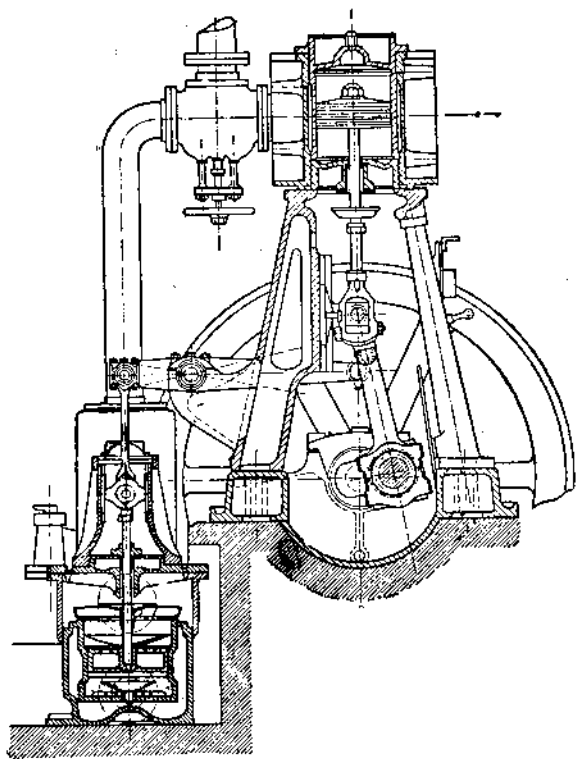
щим неподвижную точку качания. Балансир связан с шатуном мокровоздушного насоса. На фиг. 46 изображено положение приводного механизма при среднем положении крейцкопфа машины. Пунктиром показаны положения балансира, соответствующие положению крейцкопфа в мертвых точках. Так как ход поршня машины значительно больше хода поршня насоса, то (как видно на фиг. 46) качающийся балансир имеет непод-

вижную точку не в своей середине, а несколько ниже, вследствие чего размах его нижнего конца (с которым связан шатун насоса) значительно меньше верхнего.

В заключение рассмотрения конструктивных особенностей и установки впрыскивающих конденсаторов и мокровоздушных насосов поршневых паровых машин на фиг. 47 дается чертеж мощной (1 тыс. л. с.) современной паровой машины в исполнении завода бр. Зульцер со впрыскивающей конденсационной установкой.

Машина — двухцилиндровая, типа тандем. Впереди (ближе к коренному валу машины) — цилиндр низкого давления, за ним — цилиндр высокого давления. Свежий пар подводится по паропроводу *a* к паровой рубашке ц. в. д. Пройдя рубашку и стопорный клапан *b*, пар попадает в ц. в. д. Отработавший пар из этого цилиндра переходит далее в ресивер *c* (промежуточный резервуар между ц. в. д. и ц. н. д. машины), откуда идет через рубашку ц. н. д. для работы в цилиндр низкого давления. Расширившись в ц. н. д., пар попадает в выхлопной трубопровод *d*, откуда поступает в конденсатор. Между выхлопной трубой и конденсатором имеется переключающий вентиль *e* для перевода машины в случае надобности на работу в атмосферу. Конденсатор *f* представляет собою довольно длинную трубу большого диаметра, в которую введена впрыскивающая труба *g* с краном и сеткой. Вода и сконденсировавшийся пар тут же откачиваются в подвале расположенным мокровоздушным насосом двойного действия *b* (конструкция насоса по фиг. 15). Приводится в движение насос от кривошипа машины помощью системы тяг. Открытие и регулирование впрыскивающего клапана производится непосредственно из машинного помещения помощью рычага и специальной передачи.

Общий вид конденсационной установки со впрыскиванием современной паровой машины средней мощности дан на фиг. 48.



Фиг. 45. Вертикальная паровая машина с мокровоздушным насосом простого действия.

13. Уход за впрыскивающей конденсационной установкой.

а) Осмотр установки перед пуском в работу.

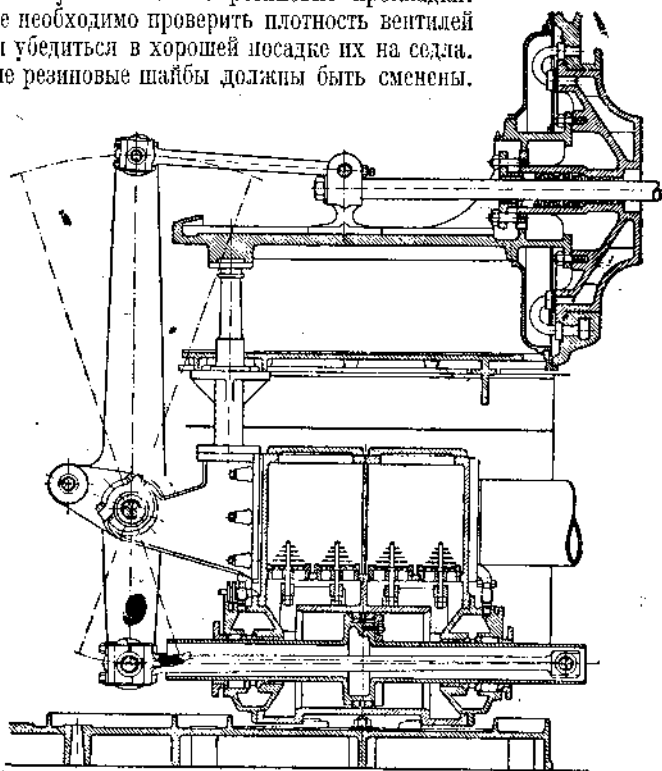
Перед пуском в ход машины со смешивающим конденсатором необходимо проверить следующее:

1. Осмотреть исправность всасывающего аппарата — не загрязнены ли приемная сетка (храпок) для охлаждающей воды, вспыскивающая труба и т. п.

2. Осмотреть трубопроводы конденсационного устройства и убедиться в плотности их соединений. Все фланцы трубопроводов, ведущих к конденсатору, должны быть достаточно хорошо уплотнены, чтобы через них не наблюдалось проникновения наружного воздуха в конденсатор¹. В качестве уплотняющего материала применяются в большинстве случаев плотные резиновые прокладки.

3. Также необходимо проверить плотность вентиля и клапанов и убедиться в хорошей посадке их на седла.

4. Старые резиновые шайбы должны быть сменены.



Фиг. 46. Горизонтальный мокровоздушный насос двойного действия с приводом от кривокофа машины.

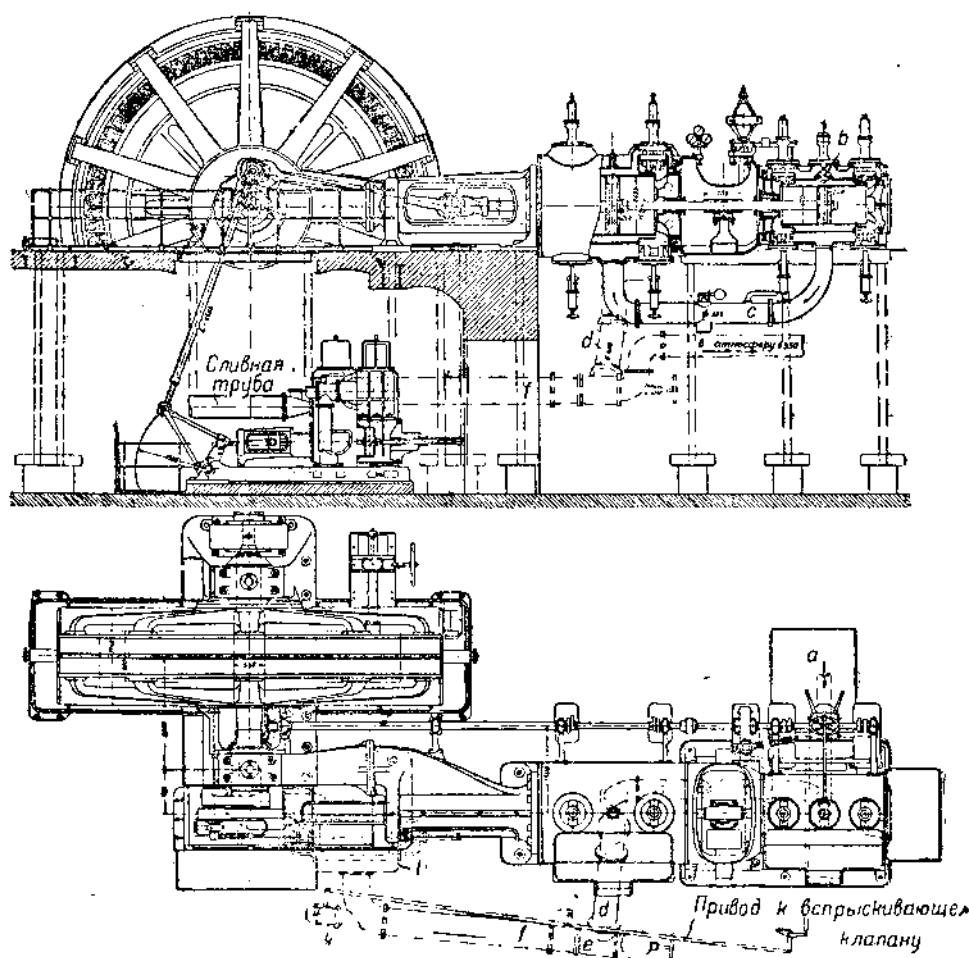
5. Осмотреть сальники мокровоздушного насоса, т. е. места, где поршневой шток проходит через кожух конденсатора. Гидравлическое уплотнение их должно быть в полной исправности. Если перед сальниками имеются корыта, они должны быть наполнены водой, чтобы исключить возможность попадания воздуха в насос через сальники, который будет ухудшать вакуум во время работы машины.

6. Осмотреть состояние поршня внутри насоса. Если он износился и ходит неплотно, сменить набивку, так как неплотно ходящий поршень пропускает воду в другую полость цилиндра и поэтому действие насоса ухудшается, ухудшается и вакуум при той же затрате энергии на насос. Если поршень деревянный, то его по истечении некоторого времени работы просто заменяют новым; для быстрой смены поршня следует

¹ Обнаружение неплотных мест производится уже во время работы установки.

иметь всегда в запасе деревянные диски. Отметим, что деревянные поршни перед постановкой в дело обычно долгое время мочат в воде (несколько недель), чтобы в работе они уже не разбухали, так как это может вызвать тяжелый ход поршня.

Смазывание поршней насосов искусственным образом обычно перед работой и в работе не производится. До известной степени смазывание поверхности соприкос-



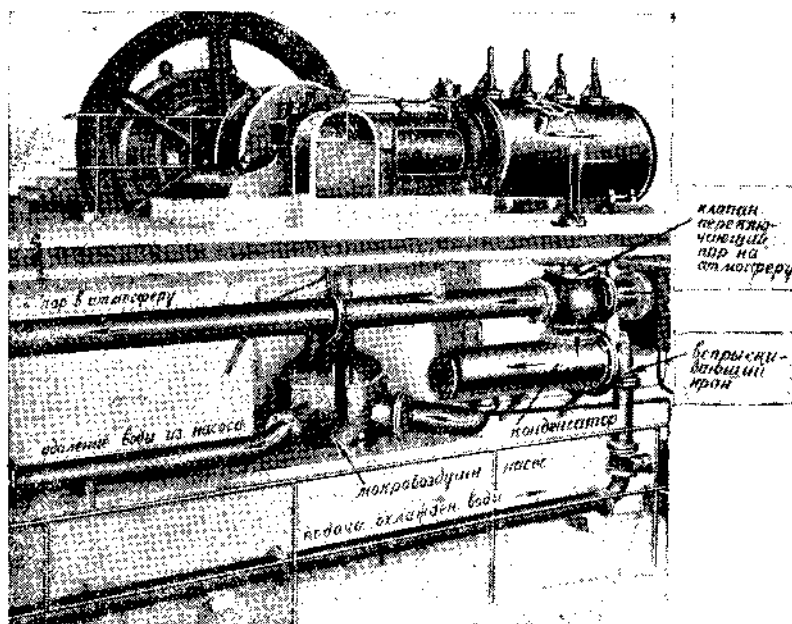
Фиг. 47. Горизонтальная паровая машина завода бр. Зульцер со впрыскивающей конденсацией.

новения поршни со втулкой производится откачиваемой водой, всегда содержащей при паровых поршневых машинах масло, которое попадает в конденсатор вместе с отработавшим паром.

7. После внутреннего осмотра состояния поршня и клапанов крышка насоса должна быть снова поставлена на место и тщательно уплотнена (резиновой прокладкой) во избежание проникновения воздуха.

б) Пуск в ход и работа.

При пуске в ход машины с конденсатором производят следующее: когда цилиндр машины достаточно прогрет, открывают несколько паровой стопорный клапан — так, чтобы в цилиндр поступало немного пара и машина медленно приняла в движение при открытых продувочных кранах. При этом отработавший пар частично выходит через спускные краны, а частично поступает в конденсатор. Когда машина сделает 2 — 3 оборота, открывают вспрыскивающий кран конденсатора и закрывают продувочные краны цилиндра. Пар при этом полностью начинает поступать в конденсатор и конденсируется при соприкосновении с охлаждающей водой. Стопорному клапану дают медленно полное открытие, пока машина не достигнет нормального числа оборотов, которое далее уже поддерживается центробежным регулятором.



Фиг. 48. Общий вид паровой машины со вспрыскивающей конденсационной установкой.

Во время работы конденсатора следят за смазкой всех движущихся частей микровакуумного насоса (крейцкопфа, сочленений рычагов и т. п.) и за наличием воды в уплотняющих сальниках корытах. Открытие вспрыскивающего крана регулируется машинистом в зависимости от нагрузки машины и температуры охлаждающей воды так, чтобы, руководствуясь показаниями вакуумметра, во время всей работы машины поддерживать в конденсаторе нормальный для данной установки вакуум.

с) Остановка.

При остановке конденсатора производятся следующие операции: машинист прежде всего несколько прикрывает парозапорный клапан так, чтобы машина замедлила ход. Прежде чем прекратить совершенно доступ пара в цилиндр, необходимо уничтожить в установке вакуум. Если же сразу совершенно закрыть клапан и прекратить подачу пара в цилиндр, то машина вследствие инерции маховика сделает неизбежно еще несколько оборотов, и в цилиндре образуется вакуум. Вакуум этот очень опасен,

так как из конденсатора может в цилиндр попасть вода, удары которой могут привести к повреждению машины. Поэтому никогда нельзя забывать прекращать вакуум перед полной остановкой машины.

Машинист для прекращения вакуума делает следующее. Прежде чем совершенно закрыть стопорный клапан, он должен открыть продувочные (водоспускные) краны цилиндра, так что в цилиндр извне войдет воздух. Проникая из цилиндра через выпускные клапаны в конденсатор, воздух уничтожает вакуум и препятствует поднятию охлаждающей воды в цилиндр. Одновременно с этим машинист закрывает и вспрыскивающий кран. Всасывание воды в конденсатор прекращается, а оставшаяся во всасывающей трубе вода не выливается (благодаря имеющемуся у приемной сетки обратному клапану) и при последующем пуске машины облегчает поступление в конденсатор воды.

При машинах двойного расширения (делающих после полного закрытия стопорного клапана еще значительное число оборотов вследствие наличия пара в ресивере) при остановке машины сначала закрывают стопорный вентиль у ц. в. д. лишь настолько, чтобы скорость машины заметно понизилась. Затем, когда машине осталось примерно сделать лишь несколько оборотов до ее остановки, закрывают вспрыскивающий кран конденсатора. Далее открывают продувные краны на цилиндрах и, наконец, совершенно закрывают запорный вентиль.

д) Неисправности в работе.

Неисправности в работе конденсатора в первую очередь познаются ухудшением вакуума. Давление в конденсаторе повышается, а показания вакуумметра падают. Правда, ухудшение вакуума может наблюдаться и без неисправности в работе конденсационного устройства, например, при большой перегрузке машины или в жаркий летний день при высокой температуре охлаждающей воды, но обычно в этом бывает повинна либо неисправная работа мокровоздушного насоса, либо попадание в разреженное пространство воздуха извне (например через неплотности). Воздух проникает через неплотности во фланцевых соединениях. Определяются неплотные места обычно при помощи пламени (по отклонению пламени свечи). При поднесении зажженной свечи (например к фланцевому соединению) пламя в случае неплотности будет втягиваться. Ликвидируется неплотность во фланцах чаще всего сменой прокладки.

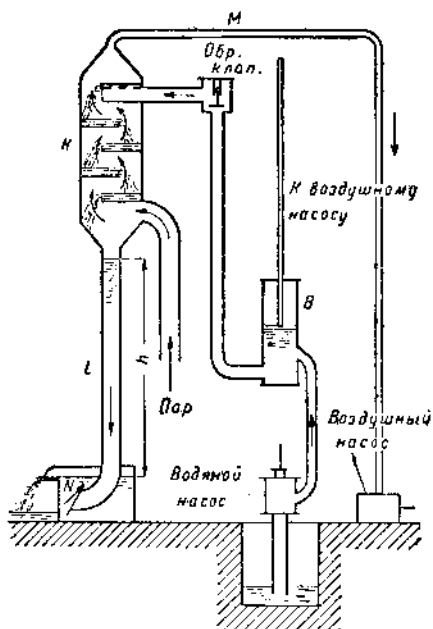
Неисправность в насосе обычно заключается в неплотности сальников или в пропуске клапанов. Если клапаны износились и пропускают, они должны быть заменены. Неплотности клапанов очень часто вызываются загрязненной охлаждающей водой, несущей с собой ил, песок и т. п., которые осаждаются на клапанах и препятствуют их плотному закрытию. Поэтому следует следить за качеством воды, идущей на охлаждение, и за исправным состоянием всасывающей сетки, а насос периодически вскрывать и осматривать во избежание сильного загрязнения. В случае неисправности насоса (например отрыв клапана и т. п.), когда конденсационная установка перестает исправно работать, машину необходимо остановить. Когда устранение повреждения требует довольно значительного времени, а остановка предприятия нежелательна, машина переводится на работу на выхлоп (с выпуском отработавшего пара в атмосферу), если машина имеет специальный переключающий трехходовой вентиль. Отметим, что работа машины (посторонней для работы на конденсацию) на выхлоп может быть допущена лишь в крайних случаях, так как расход пара при этом значительно увеличивается и нормальная работа машины нарушается.

14. Центральная смешивающая конденсация.

Выше нами рассматривались конденсаторы и насосы, устанавливаемые отдельно к каждому паровому двигателю, т. е. индивидуальные конденсационные установки. Однако в больших паросиловых установках — ввиду экономии места, а также эконо-

мии в стоимости самой установки и удешевления ее обслуживания — иногда предпочитают устраивать центральную конденсационную установку, т. е. такую, которая одновременно работает на несколько паровых двигателей. К рассмотрению этого типа конденсации мы сейчас и переходим.

На фиг. 49 дана схема центральной смешивающей конденсационной установки (по Вейссу). В конденсатор *K*, расположенный на высоком помосте, пар из паровых двигателей поступает по общему паропроводу снизу и конденсируется, смешиваясь с охлаждающей водой, текущей по полкам конденсатора сверху вниз. Конденсатор



Фиг. 49. Схема центральной конденсационной установки Вейсса.

здесь выполнен, как видно, по принципу противотока, так как вода и пар движутся по встречным направлениям. Вода удаляется из конденсатора по трубе *L*. Так как конденсатор расположен высоко, является возможным производить удаление нагретой охлаждающей воды и конденсата без помощи насоса. Для этого высота спускной трубы *h* (называемой иначе барометрической трубой) делается не меньше 10,5 — 11 м, по следующим соображениям. Если считать, что в конденсаторе вакуум приближается к абсолютному (т. е. давление равно нулю), то атмосферное давление может уравновесить в спускной трубе столб воды высотой приблизительно 10 м (давление 1 ат может быть приблизительно выражено весом вод. ст. высотой 10 м или весом рт. ст. высотой 76 см, так как ртуть в 13,6 раза тяжелее воды). Как только в спускной трубе уровень воды, притекающей из конденсатора, над поверхностью воды в колодце, куда опущена спускная труба будет больше 10 м, вода самотеком будет сливаться

в колодец, открывая обратный клапан *N* и преодолевая атмосферное давление. Охлаждающая вода подается в конденсатор специальным поршневым или центробежным насосом. В случае подачи воды поршневым насосом (как это показано на фиг. 49), чтобы вода поступала в конденсатор не толчками, а равномерно, на водной линии между насосом и конденсатором ставится гидравлический буфер *B*, действующий подобно воздушному колпаку. Воздух откачивается по трубе *M* отдельно от воды — из верхней части конденсатора — специальным воздушным насосом. Воздух откачивается из наиболее холодной части конденсатора и потому имеет невысокую температуру и небольшой объем (по сравнению с конденсатором с параллельным течением объем воздуха здесь получается меньше), вследствие чего рабочий объем воздушного насоса получается также небольшой.

На фиг. 50 показана для примера конденсационная установка (для обслуживания одновременно нескольких паровых машин) с барометрическим спуском воды из конденсатора в исполнении фирмы Клейн, Шандли и Беккер. Конденсатор представляет собой цилиндрический резервуар с перегородками, через которые переливается охлаждающая вода. Спуск воды и конденсата из конденсатора производится самотеком

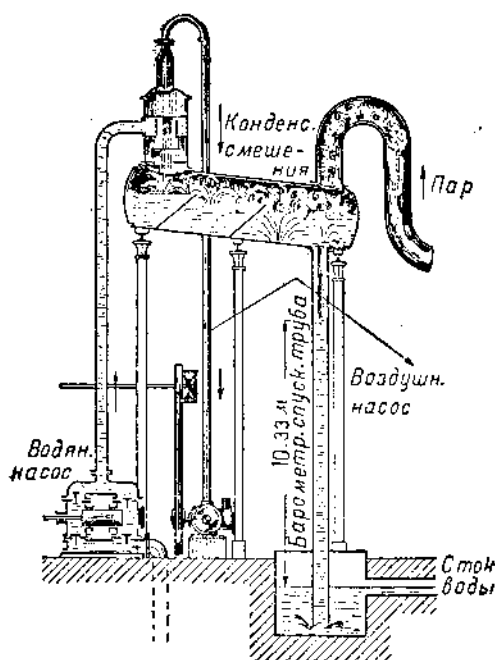
в колодец. Установка обслуживается двумя насосами — водяным для подачи охлаждающей воды и воздушным.

На фиг. 51 дан общий вид центральной конденсационной установки с барометрическим спуском конденсата и охлаждающей воды в исполнении фирмы Вальке. В разрезе конденсатор одной из таких установок показан отдельно на фиг. 52. Работает конденсатор также по принципу противотока. Охлаждающая вода подается центробежным насосом слева и стекает в нижнюю часть конденсатора по железным листам с отверстиями, распределяясь отдельными небольшими струйками. Пар поступает в конденсатор по патрубку справа и направляется под листы, двигаясь снизу вверх. Воздух удаляется из верхней части конденсатора из специального колпана, играющего роль водоотделителя и предусмотренного для того, чтобы в воздушный насос вместе с воздухом не попадали частицы воды. Перед смешением с водой отработавший пар проходит через маслоотделитель, состоящий из ряда железных листов с отверстиями. Пройдя через эти листы, пар многократно меняет свое направление, причем частицы масла, которые несет с собой отработавший пар из цилиндров паровых машин, выпадают как более тяжелые и собираются в нижней, отделенной для этого части конденсатора, откуда сливаются в маслоотстойник. Для откачивания из конденсатора воздуха имеется специальный воздушный насос.

Недостатком центральной конденсации следует признать то, что часть обслуживаемых ею машин всегда удалена на довольно большое расстояние от общего конденсатора (установленного, кроме того, как видно, очень высоко), вследствие чего требуются длинные тру-

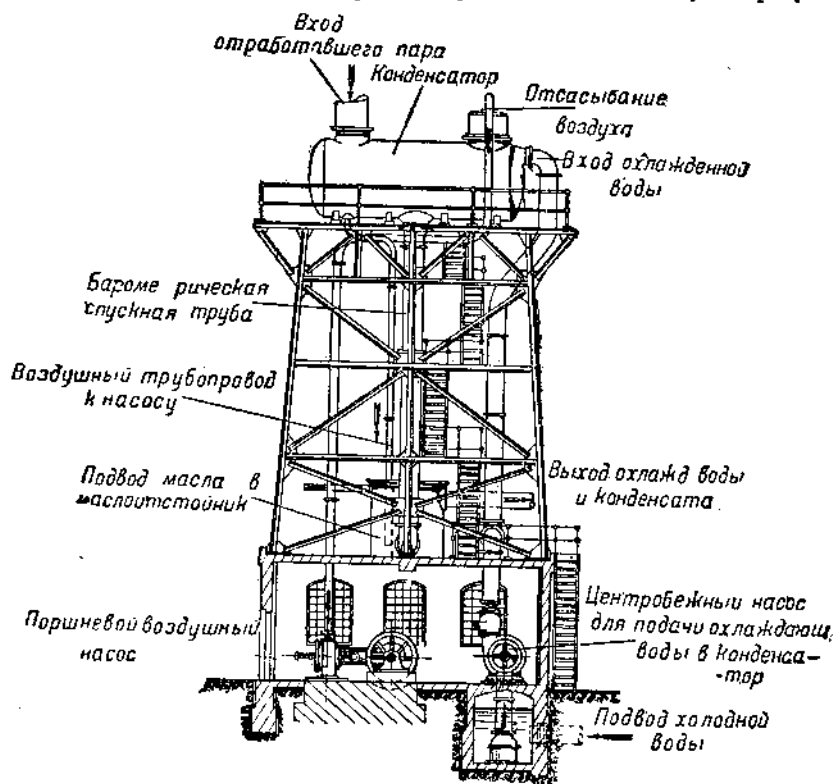
бопроводы со многими соединительными частями, в которых неизбежны неплотности. При разрежении в трубах через неплотности засасывается наружный воздух, проникающий затем в конденсатор и ухудшающий там вакуум. Чтобы поддерживать необходимый для работы машины вакуум, приходится ставить более мощные воздушные насосы, что, конечно, связано и с большей затратой энергии на привод этих насосов. Несмотря на указанный недостаток, центральную конденсацию с барометрическим спуском воды для больших паросиловых установок (например металлургических заводов и пр.) следует признать уместной, особенно в случаях, когда для охлаждения располагают загрязненной водой, могущей испортить мокровоздушный насос.

В качестве воздушных насосов в центральных конденсационных устройствах с противотоком применяются обычно насосы поршневого типа. Схема простейшего поршневого воздушного насоса дана на фиг. 53. Основную часть насоса составляет цилиндр

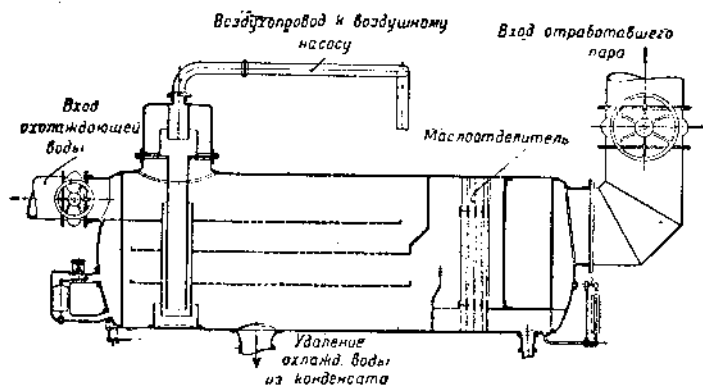


Фиг. 50. Конденсационная центральная установка с барометрическим спуском воды фирмы Клейн, Шавилин и Беккер.

(подобный цилиндру поршневой паровой машины) со вставленным в него поршнем. Поршень делит все пространство цилиндра на две рабочих полости—левую и правую. Пор-



Фиг. 51. Центральная конденсационная установка Бальке.



Фиг. 52. Смешивающий конденсатор.

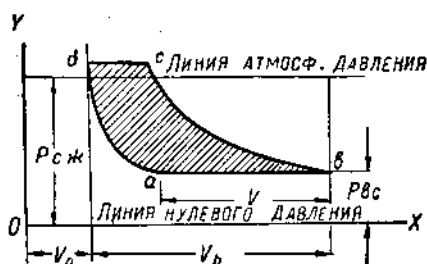
шень получает движение обычно от мотора (через ременную передачу, как на фиг. 51) или трансмиссии при помощи кривошино-шатунного механизма. В своих крайних (мертвых) положениях поршень не доходит до крышки цилиндра на некоторую величину

ну, называемую вредным пространством. Величина вредного пространства составляет здесь в среднем 5% от рабочего объема цилиндра. Каждой полости цилиндра принадлежат два клапана — всасывающий и нагнетательный. Пространство над всасывающим клапаном сообщается (помощью воздушной трубы) с полостью конденсатора, откуда откачивается воздух, а нагнетательный клапан сообщается с трубой, ведущей в атмосферу. Работает насос следующим образом: при движении поршня слева направо в левой полости цилиндра образуется разреженное пространство, причем открывается всасывающий клапан и воздух из конденсатора наполняет эту полость; при обратном движении поршня (влево) засосанный воздух подвергается сжатию до давления 1,05—1,1 *ата*, а затем через нагнетательный клапан выталкивается в атмосферу.

Представленный на фиг. 53 насос называется насосом двойного действия. В правой полости цилиндра совершаются те же процессы засасывания воздуха (сжатие, выталкивание), только по времени они не совпадают с процессами в левой полости, именно когда в левой полости идет засасывание, в правой — сжатие и выталкивание и наоборот. Как показывает практика, насосы, подобные описанному, работают с весьма низкой производительностью, т. е., потребляя много энергии, они совершают сравнительно небольшую работу по выкачиванию воздуха.

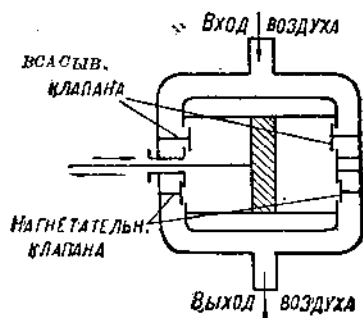
Какова же причина этого?

На фиг. 54 представлена индикаторная диаграмма подобного сухого воздушного насоса. На вертикальной оси (OY) в некотором масштабе отложены давления воздуха в левой полости цилиндра в течение одного хода поршня, а на горизонтальной оси (OX) отложены V_0 — объем вредного пространства и V_k — ход поршня.



Фиг. 54. Индикаторная диаграмма поршневого воздушного насоса.

Лишь тогда, когда в некоторый момент движения поршня давление воздуха в цилиндре делается меньше давления в конденсаторе, всасывающий клапан левой полости цилиндра откроется и начнется поступление воздуха из конденсатора в цилиндр. Графически процесс всасывания (при неизменном давлении в конденсаторе) представлен на индикаторной диаграмме линией ab . Всасывание идет до тех пор, пока поршень не приходит в правую мертвую точку и не меняет движения на обратное, т. е. не начинает двигаться справа налево. С этого момента всасывающий клапан левой полости закрывается, и находящийся в цилиндре воздух подвергается сжатию до

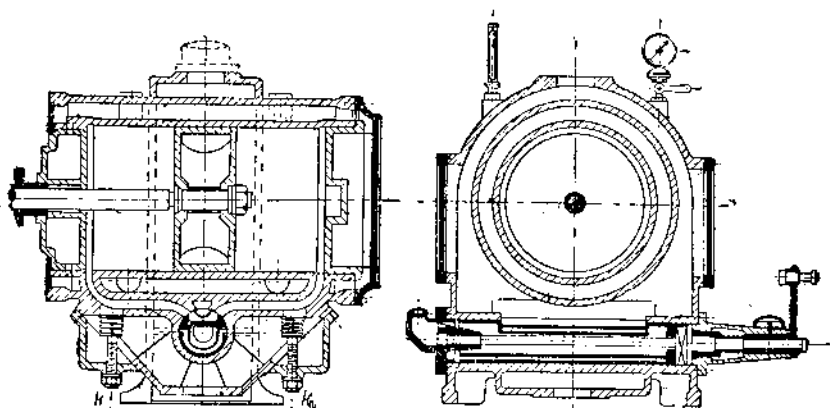


Фиг. 53. Схема поршневого воздушного насоса.

Положим, что поршень у нас находится в левой мертвой точке. Во вредном пространстве рассматриваемой полости насоса (левой) находится воздух при давлении, равном давлению выталкивания (т. е. при давлении несколько большем 1 *ата*). При движении поршня вправо объем левой полости начинает увеличиваться, а заключенный в нем воздух (оставшийся во вредном пространстве от предыдущего хода) расширяться. Этот процесс расширения воздуха при движении поршня от левой мертвой точки изображен на индикаторной диаграмме линией da .

давления несколько больше 1 атм (линия сжатия bc на диаграмме). Когда воздух достигнет примерно давления $1,1 \text{ атм}$, открывается нагнетательный клапан, и при дальнейшем движении поршня сжатый воздух покидает цилиндр за исключением небольшой доли воздуха, остающегося во вредном пространстве (линия выталкивания cd). Площадь диаграммы $abcd$ представляет в некотором масштабе работу, совершенную насосом (в одной его полости) за два хода поршня насоса.

Из диаграммы можно видеть, что вследствие расширения оставшегося во вредном пространстве воздуха при рабочем объеме насоса V_h в цилиндре засасывается лишь некоторый объем воздуха V —вот это-то и понижает производительность насоса. Установлено, что полезный объем V тем меньше, чем выше разрежение в конденсаторе и чем больше объем вредного пространства насоса. Отношение $\frac{V}{V_h}$ принято называть объемным коэффициентом полезного действия насоса.



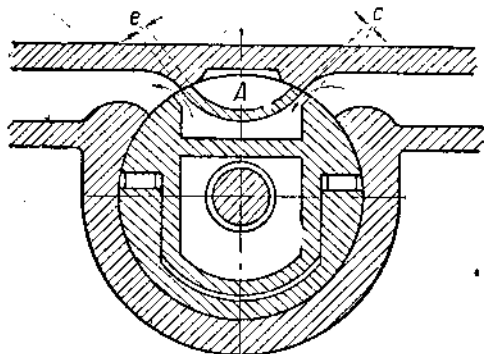
Фиг. 55. Воздушный насос с золотником для перекуса воздуха.

При отсутствии вредного пространства (в идеальном случае) это отношение было бы равно единице, но так как вредное пространство существует во всяком поршневом двигателе, то достичь такого к. п. д. и не удастся—он в действительности всегда будет меньше единицы. В среднем, при объеме вредного пространства в 4% от полезного объема цилиндра и сжатии воздуха от 0,1 до $1,05 \text{ атм}$ объемный к. п. д. получается всего равным 0,62, т. е. немного меньше половины рабочего объема цилиндра не может быть при ходе поршня заполнено свежим воздухом. Понятно, что такой насос, особенно при больших разрежениях в конденсаторе, в работе оказывается очень неэкономичным.

В целях повышения объемного к. п. д. воздушного поршневого насоса, был выработан специальный насос с золотником, работающий с перекусом воздуха. Впервые такой золотник был предложен Вейссом, почему и получил наименование его изобретателя. В разрезе подобный насос с золотником представлен на фиг. 55.

Нагнетательные клапаны K и K_1 в этом насосе расположены снизу, по одному на каждую полость цилиндра. Всасывающие клапаны отсутствуют и заменены находящимся тоже внизу цилиндра поворотным золотником (краном), который и управляет выпуском воздуха в обе полости. Качательное движение (вокруг оси крана, перпендикулярной к плоскости чертежа) во время работы золотник получает от вала насоса помощью эксцентрика и тяги.

В увеличенном масштабе и поперечном разрезе золотник Вейсса показан на фиг. 56 в своем среднем положении. Пространство A золотника представляет всасывающее пространство, соединенное с полостью конденсатора. Когда золотник из положения, изображенного на фиг. 56 (среднее), повернется влево на величину полки e и будет поворачиваться далее, всасывающее пространство начнет сообщаться с выпускным каналом в левую полость цилиндра, и воздух из конденсатора будет поступать в эту полость. Золотник имеет канал шириной e , соединяющий при среднем положении золотника обе полости цилиндра (левую и правую) между собою. Когда золотник находится в этом положении, он переносит по каналу воздух из вредного пространства одной полости цилиндра (где кончилось выталкивание) в ту полость, где происходит всасывание. Давление во вредном пространстве первой полости поэтому мгновенно падает и выравнивается с давлением всасывания в другой полости, благодаря чему при последующем засасывании воздуха увеличивается полезный объем всасывания V , а следовательно, увеличивается и объемный к. п. д. насоса.



Фиг. 56. Вращающийся золотник Вейсса для переноса воздуха в разрезе.

Индикаторная диаграмма насоса с перепуском дана на фиг. 57. Как видно на этой диаграмме, несколько ранее прихода поршня в левую мертвую точку начинается перепуск, продолжающийся до тех пор, пока поршень вправо не пройдет некоторой (очень небольшой) части хода. При этом площадь диаграммы, а следовательно, и полезная работа получаются больше, чем площадь диаграммы насоса без перепуска, объем же V здесь почти равен V_h —ходу поршня. Благодаря перепуску воздуха из вредного пространства удастся, как показал опыт, довести объемный к. п. д. до 0.95—0.97.



Фиг. 57. Индикаторная диаграмма поршневого воздушного насоса, работающего с перепуском воздуха.

Кроме описанного насоса с круглым перепускным золотником, существуют сухие воздушные насосы с перепускным золотником (плоской конструкции), например насосы фирмы Кленн, Шандлин и Беккер, работающие по тому же принципу. В целях еще большего повышения объемного к. п. д. строились также насосы (теперь почти неприменимые) с двухступенчатым сжатием воздуха, происходившим последовательно в двух цилиндрах.

В заключение рассмотрения сухих воздушных насосов нужно указать на следующее. При сжатии воздуха перед выталкиванием его из насоса воздух, как показал опыт, нагревается. Это нагревание никакой пользы не приносит, так как, в сущности говоря, совершенно безразлично, выталкивается ли воздух в атмосферу горячим или холодным, но на это нагревание затрачивается известная работа. При этом нагревается и самый цилиндр насоса, который поэтому обычно охлаждают, пропуская через его рубашку холодную воду (насос с рубашкой показан на фиг. 55). Если применяется на-

сос с двухступенчатым сжатием, то воздух обычно охлаждают еще перед входом во второй цилиндр. Этим преследуют уменьшение объема воздуха перед входом в цилиндр, так как известно, что с понижением температуры воздуха уменьшается и его объем. Чем меньше будет объем воздуха при входе во второй цилиндр, тем меньше можно взять рабочий объем второго цилиндра и тем меньше затратить работы на вторичное сжатие воздуха.

Число оборотов вала поршневых воздушных насосов невелико и обычно колеблется в пределах 75—250 об/мин, поэтому насосы эти весьма удобно приводятся в движение от ремешной передачи; непосредственное же соединение их с электромоторами весьма затруднительно. Вследствие сложности устройства, громоздкости и трудности получения глубокого вакуума поршневые насосы в установках с паровыми турбинами в настоящее время почти совершенно не применяются, а заменены более удобными эжекторами и роторными воздушными насосами (описание их будут дано ниже).

15. Струйная (эжекторная) конденсация.

Особый тип смешивающих конденсаторов представляют конденсаторы струйные, по принципу работы значительно отличающиеся от рассмотренных выше всасывающих конденсаторов. Не вдаваясь в теорию, рассмотрим по возможности кратко устройство и работу струйной конденсационной установки.



Фиг. 58. Односопловый струйный конденсатор Кертинга в разрезе.

На фиг. 58 представлен простейший односопловый струйный конденсатор системы Кертинг в разрезе. Стоит он из следующих основных частей: резервуара (камеры), напорного суживающего сопла, второй узкой камеры с круглыми отверстиями и диффузора (муфтука) — расширяющейся книзу трубы.

Охлаждающая (рабочая) вода подается к соплу, отработавший пар находится в камере, которая помощью патрубка сообщается с выпускным патрубком турбины или машины. Вытекающая из сопла с большой скоростью вода попадает в камеру и через отверстия в этой камере засасывает отработавший пар, который и конденсируется от соприкосновения с водой, а в камере А создается разрежение. Смесь охлаждающей воды, конденсата и воздуха поступает из камеры в диффузор, где благодаря увеличивающемуся сечению диффузора скоростная (кинетическая) энергия смеси преобразуется в энергию давления (потенциальную), давление смеси постепенно увеличивается и к концу диффузора достигает 1,1—1,05 атм, так что вода и конденсат, без помощи насосов преодолевая противодавление, выводятся в атмосферу. Как видно, для работы подобного конденсатора нужен только один насос — для подачи рабочей воды

в сопло, причем и этот насос очень часто заменяется баком с водой (напорным баком), установленным на некоторой высоте над конденсатором.

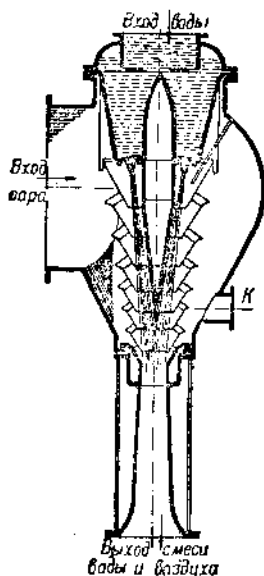
На фиг. 59 представлен многосопловый струйный конденсатор, отличающийся от рассмотренного выше типа только тем, что притекающая вода распределяется по нескольким соплам и в виде отдельных струек, вытекающих из этих сопел, поступает в конденсатор с большой скоростью. К штуцеру К устанавливается обычно поплавковый нарушитель вакуума, впускающий воздух, когда вода по тем или иным причинам не удаляется. Это делается с той целью, чтобы воду не могло затянуть вакуумом

в машину. Такой случай возможен, например, при засорении приемной сетки насоса. Тогда количество подаваемой воды станет меньше нормального, и тем самым обусловит недостаточный напор перед соплом, вследствие чего вода не сможет по инерции пролететь через вакуумное пространство конденсатора. Вода подается к этому конденсатору под давлением обычно 0,5—1,5 *атм* в зависимости от требуемого вакуума. Устанавливается конденсатор вертикально.

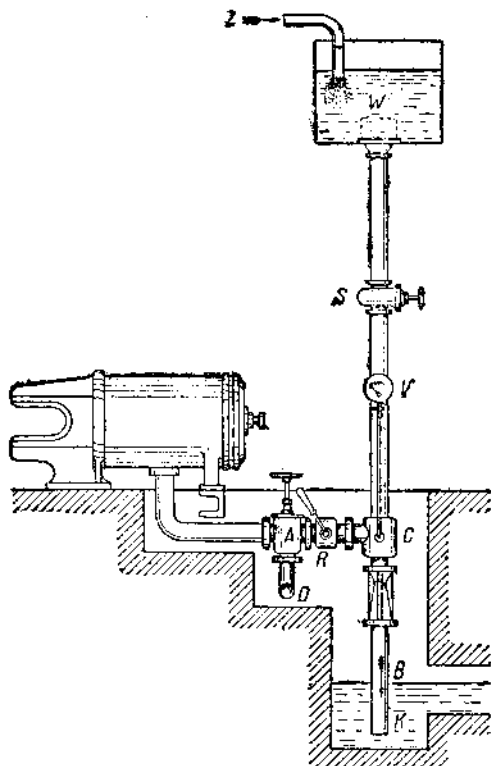
На фиг. 60 дана схема установки струйного конденсатора для паровой машины. Вода к соплу подводится из установленного наверху здания напорного бака с таким расчетом, чтобы подать воду к соплу под давлением.

На фиг. 61 дана схема установки струйного конденсатора (к паровой турбине небольшой мощности) с подачей воды специальным центробежным насосом.

Расход воды в струйных конденсаторах составляет нормально 25—36 кг воды на 1 кг конденсируемого пара. Получаемый вакуум нормально невелик, но при боль-



Фиг. 59. Многосопловый струйный конденсатор Кертинга.



Фиг. 60. Схема установки струйного конденсатора Кертинга.

А — вентиль на трубопроводе мягкого пара для переключения машины на работу на выхлоп. С — струйный конденсатор. R — обратный клапан. W — бак для охлаждающей воды. Z — труба для передачи воды. S — вентиль, открывающий воду на конденсатор. V — вакуумметр. B — труба для спуска продуктов конденсации. К — колодез для воды.

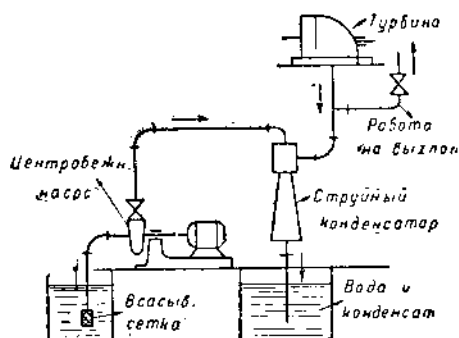
шом расходе воды можно достигнуть вакуума до 90—93%, т. е. довести противодавление до 0,1—0,07 *атм*.

В общем, достоинствами этого типа конденсаторов следует признать простоту устройства и небольшую потребность в занимаемом ими месте. К недостаткам же следует отнести:

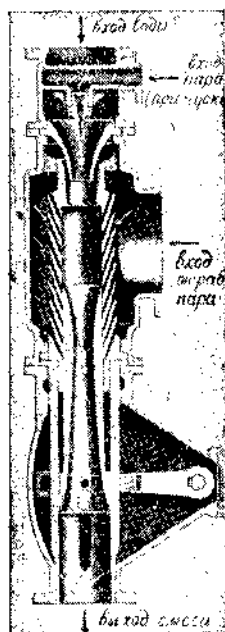
1. Большой расход охлаждающей воды (по сравнению с конденсацией впрыскиванием).

2. Необходимость установки водяного резервуара на высоте не менее 5—10 м над конденсатором и насоса, качающего воду в резервуар, или насоса, подающего воду в аппарат под давлением.

3. Затруднительность пуска в ход при небольшом напоре рабочей воды. Несколько отличную конструкцию от описанных выше представляет так называемый универсальный конденсатор Кертинга. Этот тип струйного конденсатора может самостоятельно засасывать рабочую воду с небольшой глубины (не свыше 3 м) и поэтому работает совершенно без насосов и без напорного бака. На фиг. 62 дан подобный конденсатор в разрезе, а на фиг. 63 — его внешний вид. При изменении расхода пара число проходных сечений направляющих конусов может регулироваться во время работы перемещением диффузора (помощью специального рычага) вдоль оси конденсатора самим машинистом. При этом закрывается большее или меньшее число проходных сечений в камере для протока пара. Недостатком этого прибора являются ненадеж-



Фиг. 61. Схема установки струйного конденсатора со специальным центробежным насосом.



Фиг. 62. Универсальный конденсатор Кертинга в разрезе.

ность действия (легкий срыв вакуума) и небольшая величина достигаемого разрежения — не более 65%. В настоящее время широкого распространения этот тип конденсатора не имеет, а в установках с паровыми турбинами и вовсе не применяется.

В заключение рассмотрения струйных конденсаторов дадим основные правила ухода за ними.

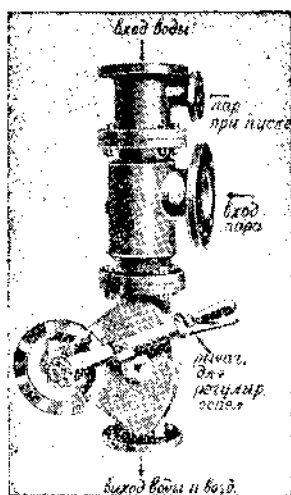
Перед пуском струйного конденсатора в ход обычно следует проверить плотность установки, т. е. плотность мест соединения труб и т. д., во избежание прососов воздуха и ухудшения вакуума. Для этого (фиг. 60) запирают клапан А и продувочные краны цилиндра, после чего открывают клапан В на напорной трубе. В случае отсутствия неплотностей в короткое время получается высокий вакуум (за создашем которого наблюдают по вакуумметру). Если вакуум создается плохо, несмотря на нормальный напор воды, в которую погружен конец спускной трубы конденсатора, и выходит воздушные пузыри, это указывает на существование неплотностей, нахождение которых следует установить и ликвидировать до пуска машины в ход.

Пуск в ход струйного конденсатора крайне прост: для этого достаточно лишь открыть к прибору доступ рабочей воды, причем сначала открывается вода, а затем пускается в ход машина. Остановка производится в обратном порядке—сначала закрывают паровпускной клапан машины, а затем вентиль на напорной трубе рабочей воды. Чтобы в промежутке между открытием воды (при пуске в ход) и пуском машины в выпускной трубе не создалось сразу большого разрежения, обычно на выпускной трубе (у обратного клапана *В*, фиг. 60), имеется воздушный краник, закрытый во время нормальной работы машины, который при пуске машины в ход следует открыть. При остановке, перед закрытием стопорного клапана, открывают воздушный краник, т. е. уничтожают в приборе вакуум.

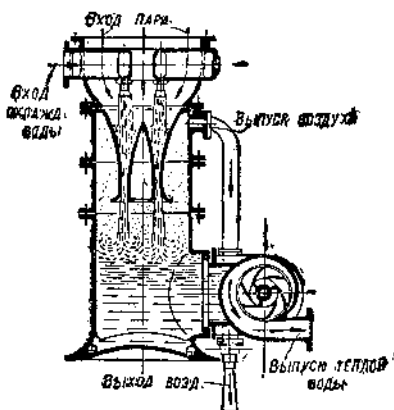
Если конденсатор универсальный, то для создания первоначального вакуума (чтобы вода засосалась в аппарат) пускают в конденсатор пар. Для этого имеются специальный патрубок и небольшое сопло (фиг. 62). Вытекал из сопла с большой скоростью, пар захватывает с собой воздух из полости конденсатора (создает вакуум), вследствие чего вода поднимается по всасывающему трубопроводу и начинает поступать в прибор. Когда нормальный вакуум установится, подачу пара прекращают.

16. Смешивающая конденсация для глубокого вакуума.

Рассмотренные выше смешивающие конденсаторы с микровоздушными насосами, а также и струйные конденсаторы, применяются обычно в установках с небольшим вакуумом—порядка 80–85%. Достигнуть же в смешивающих конденсаторах со впрыскиванием более глубоких вакуумов довольно затруднительно. Однако, смешивающие конденсаторы вследствие своей не-



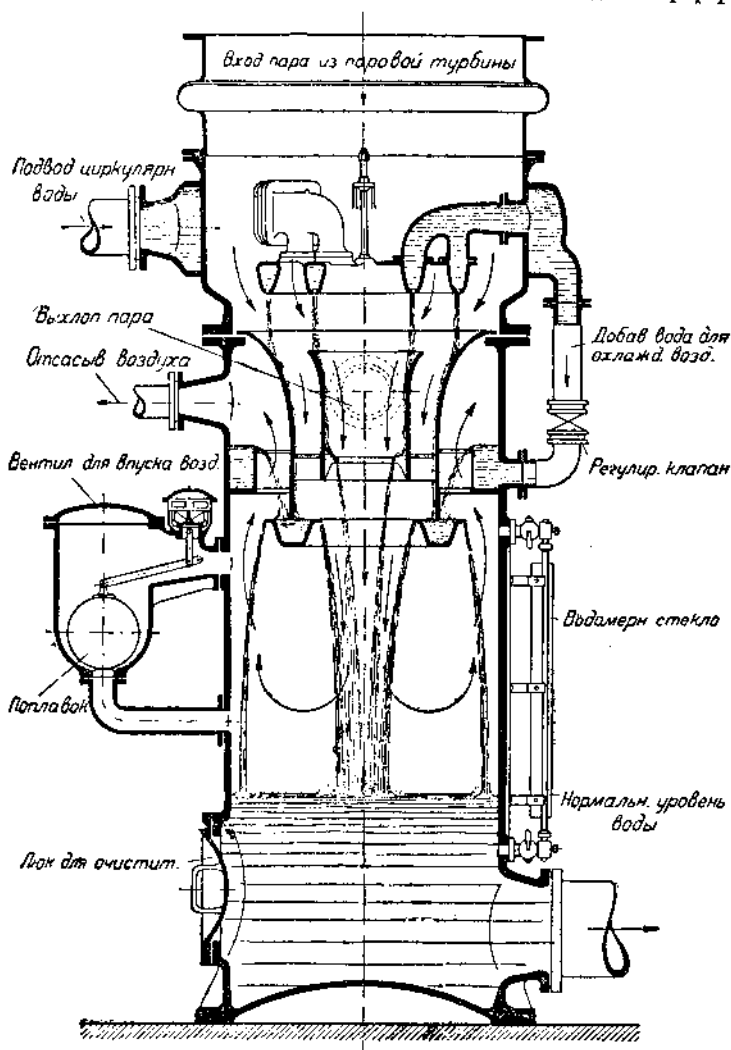
Фиг. 63. Общий вид универсального конденсатора Кертинга.



Фиг. 64. Смешивающий конденсатор Вестингауз-Леблан для глубокого вакуума.

высокой стоимости и небольшой потребности в занимаемом месте находят все же применение и в установках с глубоким вакуумом (например в паровых турбинах, прямоточных паровых машинах системы Штумфа и т. д.), особенно в случае, когда нет необходимости в использовании конденсата. Для возможности получения глубокого вакуума конструкция подобных конденсаторов смешения несколько отличается от конструкций, рассмотренных нами ранее. Основными особенностями смешивающих конденсаторов глубокого вакуума являются весьма

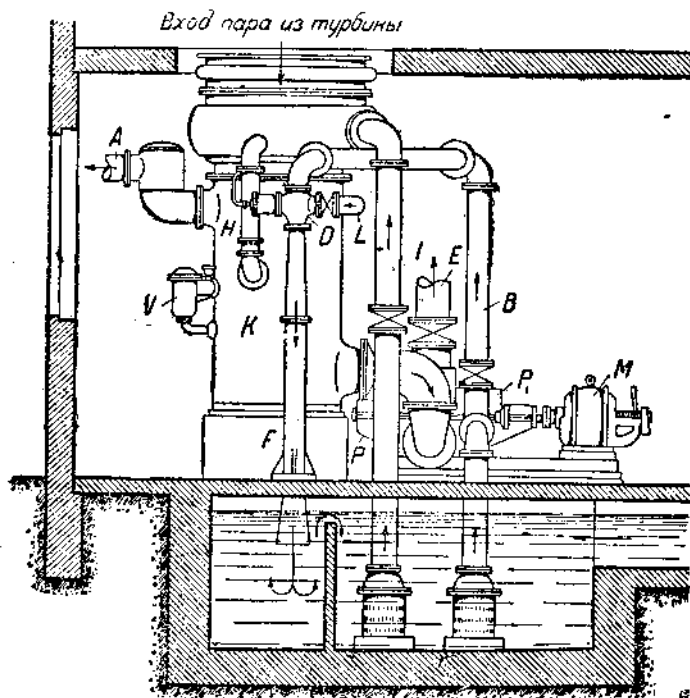
тесное смешение отработавшего пара с охлаждающей водой и откачивание воздуха отдельно от воды. Конструкций смешивающих конденсаторов подобного типа имеется несколько, мало отличающихся друг от друга. В качестве примера здесь мы рассмотрим два из них, получивших довольно широкое распространение, — именно смешивающий конденсатор, системы Вестингауз-Леблана и смешивающий конденсатор фирмы MAN.



Фиг. 64. Смешивающий конденсатор фирмы MAN в разрезе.

Схема конденсатора Вестингауз-Леблана в разрезе дана на фиг. 64. Работает этот конденсатор с параллельным течением воды и пара по принципу струйного конденсатора Кертинга. Как видно на фиг. 64, конденсатор представляет вертикально расположенный цилиндрический резервуар, перегороденный на две части — верхнюю и нижнюю. Отработавший пар поступает в верхнюю часть конденсатора. Охлаждающая вода подается также в верхнюю часть (по патрубку слева) в особую кольцевую трубу.

Истекая из нижней части этой кольцевой трубы через специальные сопла в виде отдельных тонких струй, вода попадает в большое кольцевое сопло, расположенное по середине конденсатора, захватывая вместе с собой воздух и отработавший пар и смешиваясь с ним. Конденсируясь от соприкосновения с охлаждающей водой, пар вместе с ней вытекает из сопла со значительной скоростью и попадает в нижнюю камеру конденсатора. Воздух как более легкий отделяется здесь от воды и собирается в верхней части этой камеры, откуда отсасывается по трубе специальным мощным воздушным насосом. (Описание воздушного насоса типа Леблана будет дано ниже, в главе о поверх-



Фиг. 64б. Схема смешивающей конденсационной установки фирмы MAN.

A — выпускной клапан. B — напорный трубопровод к водоструйному эжектору. D — сопло. E — отвод воды из конденсатора. F — трубопровод для удаления смеси воды и воздуха из эжектора. H — добавочная труба для подачи охлаждающей воды. I — всасывающий трубопровод охлаждающей воды. K — конденсатор. L — всасывающий воздушный трубопровод. M — мотор. P — насос для откачивания теплой воды из конденсатора. P₁ — насос для подачи воды к эжектору. V — нарушитель вакуума.

ностных конденсаторах.) Вода откачивается из нижней части камеры помощью центробежного насоса. Опыт показал, что помощью такого конденсационного устройства удается достигнуть вакуума 95—96% при сравнительно небольшом расходе охлаждающей воды—30—35 кг при температуре поступающей охлаждающей воды—11—15°C.

Смешивающий конденсатор фирмы MAN (Германия) представлен в разрезе на фиг. 64а. Конденсатор имеет цилиндрическую форму и располагается вертикально. Пар из турбины или машины поступает сверху. Охлаждающая вода также подводится

в верхнюю часть конденсатора и проходит в концентрические трубы, расположенные внутри конденсатора. Из этих труб вода тонкими кольцевыми струями падает вниз. Пар, двигаясь также по направлению сверху в нижнюю часть конденсатора (по направлению стрелок, на фиг. 64а) пересекает струи воды и конденсируется. Вода и сконденсировавшийся пар удаляются насосом из нижней части конденсатора. Воздух отсасывается отдельно помощью водоструйного эжектора (схему и описание водоструйного эжектора MAN см. ниже).

Конденсатор MAN обычно снабжается поплавковым нарушителем вакуума, устанавливаемым для того, чтобы избежать случайного попадания воды в машину. Шарообразный поплавок этого нарушителя вакуума (на фиг. 64а слева) поднимается и открывает воздушный клапан, уничтожающий в конденсаторе вакуум, как только уровень воды в конденсаторе достигает предельной высоты, например, при порче откачивающего воду насоса.

На фиг. 64b дана полная схема установки сменяющего конденсатора MAN со всеми необходимыми насосами и трубопроводами.

ГЛАВА III.

ПОВЕРХНОСТНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ.

17. Сущность поверхностной конденсации пара.

Поверхностная конденсация, как уже указывалось нами ранее, характеризуется тем, что конденсируемый пар не вступает в непосредственное соприкосновение с охлаждающей водой, поэтому получившийся конденсат может быть снова использован на питание котлов.

Поверхностный конденсатор представляет собой обычно цилиндрический чугунный или стальной корпус, имеющий с обоих концов по медной или стальной трубной доске, в которых укреплено своими концами большое число тонких латунных, медных или стальных трубок. Если длина трубок более 80—100 диаметров, то кроме трубных досок имеются по длине труб еще и опорные доски, служащие для предупреждения вибрации и прогиба трубок. Для пропуска трубок эти промежуточные доски имеют отверстия, диаметром обычно на 0,5 мм больше диаметра трубок.

Схема простейшего поверхностного конденсатора дана на фиг. 65. Подлежащий конденсации пар поступает сверху во внутреннюю полость конденсатора, где, приходя в соприкосновение с холодной поверхностью трубок, конденсируется, стекает на дно конденсатора, откуда и откачивается специальным насосом. Воздух откачивается от конденсата обычно отдельно. На фиг. 65 воздушный патрубок находится сбоку в нижней части конденсатора (показан пунктиром).

Две концевые части корпуса (ограниченные с одной стороны выпуклым днищем, а с другой—трубной доской) образуют водяные камеры. Как показано на фиг. 65, охлаждающая вода подается в нижнюю часть левой камеры, распределяется по трубкам и, проходя через них, воспринимает тепло от пара, омываемого трубкой снаружи. Нагреваемая вода, пройдя по трубкам, попадает в правую камеру и удаляется затем наружу.

Подобный конденсатор называется одноходовым—в нем охлаждающая вода течет по всем трубкам (на фигуре слева направо) одновременно в одном направлении. Недостаток этой конструкции в том, что трубка работает не с одинаковой интенсивностью по всей своей длине. С того конца трубки, где вода вступает, она наиболее холодна, поэтому разница температур между паром и водой здесь больше и теплопередача (переход тепла от пара через стенки трубок к воде) идет лучше, т. е. в этой части кон-

денсация пара идет лучше, а там, где вода в трубках более теплая (в правой части конденсатора),—хуже.

Для того чтобы обеспечивалось максимально возможное повышение температуры охлаждающей воды¹, в настоящее время часто устраивают конденсаторы многоходовые. В них входная и выходная водяные камеры разделяются таким образом, чтобы вода по одной части трубок текла в одном направлении, а по другой—в противоположном.

На фиг. 66 представлена схема двухходового поверхностного конденсатора. Здесь левая камера поперечной перегородкой разделена на две части. Охлаждающая вода вступает в нижнюю половину левой камеры и течет по нижней половине трубок слева направо в противоположную камеру. В правой камере вода меняет свое направление и течет справа налево уже по верхней половине охлаждающих труб и через верхнюю половину левой камеры уходит из конденсатора. На фиг. 67 показан четырехходовой конденсатор. В нем вода, протекая по трубкам, три раза меняет свое направление.

Разобрав принцип работы поверхностного конденсатора, отметим его особенности. В основном система конденсации пара посредством охлаждающих трубок имеет следующие характерные особенности:

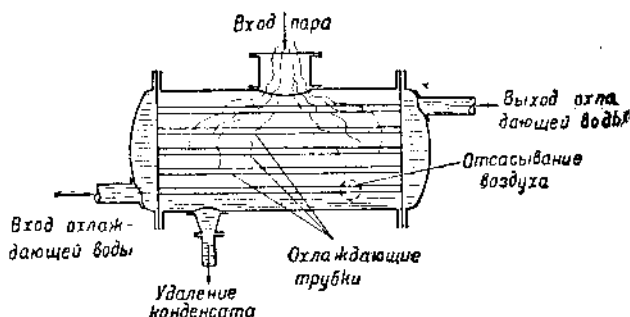
1. Охлаждающая вода и конденсат, получившийся от сгущения пара, не смешиваются между собой.

2. Для прокачивания воды через трубки, помимо конденсатного и воздушного насосов, необходим еще один насос—так называемый циркуляционный, ибо засасывание воды разрежением в конденсаторе (как это имеет место во всасывающих конденсаторах), здесь понятно, невозможно.

3. Расход охлаждающей воды на конденсацию 1 кг пара в поверхностных конденсаторах значительно выше, чем в конденсаторах со смешением. Чтобы передача тепла шла по всей длине охлаждающих трубок, необходима температура воды при выходе на 5—10° меньше средней температуры в конденсаторе, т. е. охлаждающая вода из конденсатора должна вытекать еще недостаточно нагретой. В связи с этим расход воды повышается до 40—60 кг/кг. Часто кратность охлаждения доводят и до 70 кг/кг.

4. Поверхностная конденсационная установка по размерам получается значительно больше смешивающей, а стоимость оборудования ее выше.

Несмотря на указанные недостатки (п.п. 2, 3, 4), в настоящее время поверхностные конденсаторы имеют очень широкое применение, поскольку паровые турбины средней и большой мощности оборудуются именно такими конденсаторами. Происходит это потому, что паротурбинные установки работают в большинстве случаев с очень глубокими вакуумами, для создания которых поверхностная конденсационная установка оказывается весьма пригодной. Кроме того, отработавший пар турбины не загрязнен маслом² (как в паровых поршневых машинах) и, конденсируясь, дает химически



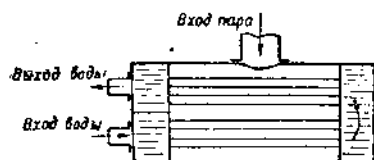
Фиг. 65. Схема поверхностного конденсатора.

¹ Возможно большее повышение температуры охлаждающей воды позволяет получить необходимый вакуум с затратой меньшего количества воды.

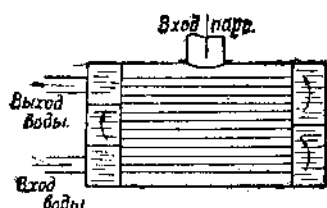
² Работая в турбине, пар не соприкасается с маслом.

чистую воду, весьма пригодную для питания котлов, смешивать которую с охлаждающей водой совершенно невыгодно. Применяя поверхностный конденсатор и питая котлы в основном конденсатом, оказывается возможным работать с очень небольшой добавкой свежей воды, а это позволяет иметь небольшую испарительную и водоочистительную установку и питать котлы совершенно чистой водой.

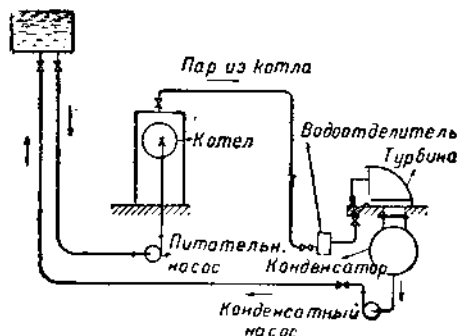
На фиг. 63 дана схема паротурбинной установки с поверхностным конденсатором. Пар из парового котла по паропроводу поступает в турбину, где и производит полезную работу. Отработавший пар из выпускного патрубка турбины попадает в поверхностный конденсатор, где вследствие соприкосновения с охлаждающими трубками обращается в воду и в виде конденсата стекает в нижнюю часть конденсатора. Специальным конденсатным насосом конденсат перекачивается в питательный бак, расположенный наверху здания. Из бака питательным центробежным насосом высокого давления вода качается в котел. Таким образом вода, работающая в описанной установке, совершает непрерывный круговорот, обращаясь в котле в пар, а в конденса-



Фиг. 66. Схема двухходового поверхностного конденсатора.



Фиг. 67. Схема четырехходового поверхностного конденсатора.



Фиг. 68. Схема паросиловой установки с использованием конденсата турбины.

торе—в воду. Так как известно, что из 1 кг воды получается 1 кг пара (безразлично какого давления), а из 1 кг пара при конденсации получается 1 кг воды, то теоретически в системе подобной станции должно было бы работать бесконечно долгое время одно и то же количество воды, причем благодаря применению поверхностного конденсатора эта вода оставалась бы совершенно чистой. Практически, правда, является необходимость пополнять работающее количество воды, так как вследствие испарения воды и различных утечек в системе по истечении некоторого времени работы воды не хватает—конденсата получается меньше, чем необходимо для питания котлов.

Добавочная вода получается обычно путем дистилляции (перегонки ее в испарительном устройстве) и затем подается в питательный бак. Укажем, что количество добавляемой воды зависит от совершенства данной установки, отсутствия потерь, утечек, величины использования пара на посторонние нужды, откуда нельзя возвратить конденсат, и т. п. и в хороших установках обычно не превышает 5% часового расхода воды, а то и меньше. Таким образом расходы по водоочистке сводятся к минимуму, а котлы питаются хорошей водой, совершенно не дающей накипи. Для современных котельных установок с водотрубными котлами, работающими при высоком давлении с большими напряжениями, это имеет очень большое значение.

Принимая во внимание сказанное выше, станет понятно, почему поверхностные

конденсаторы получили преобладающее распространение в паротурбинных установках электростанций.

В связи с использованием конденсата функции современной конденсационной установки поверхностного типа значительно расширяются. Задачами ее являются:

1. Снижение абсолютного давления в выпускном патрубке турбины до заданных пределов и поддержание полученного вакуума во все время работы установки.

2. Собираение и возвращение конденсата обратно котельной установке для питания котлов.

3. Удаление воздуха и газов из конденсата.

Относительно этих условий нужно сказать следующее:

Снижение давления у выпускного патрубка турбины получается вследствие конденсации отработавшего пара при соприкосновении его с холодными трубками. Величина охлаждающей поверхности конденсатора (сумма внешних поверхностей трубок)

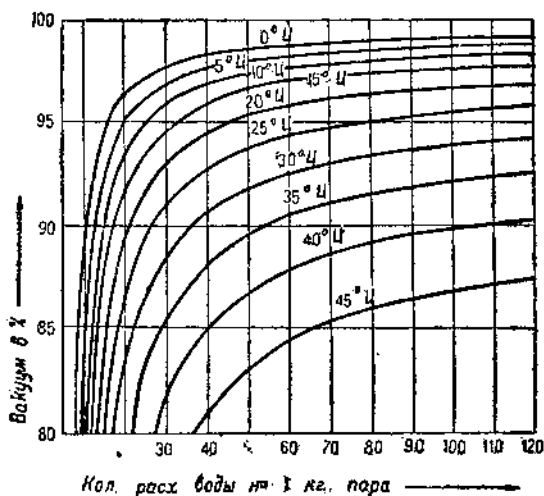
определяется расчетом, учитывая коэффициент теплопередачи от пара к воде (т. е. количество тепла, которое может быть передано через 1 м^2 охлаждающей поверхности в течение 1 часа при разности температур между паром и водой в 1°C), часовое количество пара, подлежащее конденсации, и температуру поступающей в конденсатор охлаждающей воды.

Нужно сказать, что при равномерной нагрузке парового двигателя (следовательно, при почти неизменном количестве поступающего в конденсатор в определенный промежуток времени отработавшего пара) величина вакуума в конденсаторе во время работы установки

зависит от двух факторов: температуры охлаждающей воды при поступлении и кратности охлаждения¹, причем один и тот же вакуум может быть получен при воде с высшей температурой, но с большим ее расходом, чем при охлаждающей воде, имеющей температуру более низкую. Установлено, что чем выше температура охлаждающей воды при поступлении в конденсатор, тем большее количество воды должно быть израсходовано для поддержания заданного вакуума.

На фиг. 69 приведены кривые расхода воды, дающие ясное представление о расходе охлаждающей воды на 1 кг пара в зависимости от вакуума и температуры воды. Из диаграммы видно, что для начальных температур воды от 0 до 20° вакуум быстро увеличивается при возрастании кратности охлаждения до 40 . При дальнейшем увеличении расхода воды (т. е. при увеличении скорости воды, протекающей по трубкам конденсатора) возрастание вакуума идет весьма медленно. Напротив, при более высокой начальной температуре охлаждающей воды вакуум возрастает постепенно (поздние кривые, относящиеся к воде с более высокой температурой, идут более полого),

¹ При этом предполагается, что воздушный насос работает совершенно исправно, ибо понятно, что и его производительность влияет весьма сильно на глубину вакуума в конденсаторе.



Фиг. 69. График расхода воды в зависимости от вакуума и температуры охлаждающей воды.

но зато имеется значительная выгода в создании более глубокого вакуума при увеличении расхода воды до 100 кг и даже выше. Из диаграммы видно также, что при очень высоких температурах воды (например 40°C) нельзя получить глубокого вакуума даже и при расходе воды в 100 кг на 1 кг пара, тогда как при температуре воды 10° С уже при расходе воды в 40 кг мы имеем вакуум около 97%. Понятно, что выгодно иметь температуру охлаждающей воды возможно ниже, так как это позволяет при небольшом расходе воды (следовательно, и при небольшом расходе энергии на водяной насос) иметь достаточно глубокий вакуум.

Что касается температуры воды, то величина ее (если вода на охлаждение конденсатора берется из реки или озера) не остается в условиях эксплуатации все время постоянной, а изменяется в зависимости от климатических условий. Средняя годовая температура охлаждающей воды перед поступлением в конденсатор при использовании речной и озерной водой¹ по наблюдениям в условиях средней полосы нашего Союза составляет 7—8° С. По графику фиг. 69 можно видеть, что при такой температуре воды для получения нормальных для современных установок вакуумов можно ограничиться кратностью охлаждения в пределах от 40 до 60². Дальнейшее увеличение кратности охлаждения даст небольшое повышение вакуума, следовательно, и небольшую выгоду в использовании тепла пара. Между тем с увеличением расхода воды одновременно увеличивается весьма резко и расход энергии на насос для подачи воды. В Америке, однако, имеются установки с кратностью охлаждения до 100 и даже выше.

Для поддержания вакуума из конденсатора во время работы установки должны откачиваться как воздух, так и получающийся конденсат, и производительность насосов должна соответствовать количеству образующихся воздуха и конденсата. Что касается конденсатного насоса, то производительность его определяется по расходу пара турбиной. Количество же поступающего в конденсатор и подлежащего удалению воздуха зависит от целого ряда причин³ и точно определено быть не может. При выборе размера воздухоудаляющего устройства обычно пользуются эмпирическими⁴ данными с таким расчетом, чтобы производительность такого устройства давала некоторый резерв по сравнению с количеством ориентировочно проникающего воздуха. По данным проф. Стодола количество воздуха, проникающего в конденсатор и подлежащего удалению, составляет 0,5—1 кг на 1 тыс. кг конденсируемого пара. Цифры эти нельзя считать точными—на практике наблюдаются значительные отклонения как в ту, так и в другую сторону.

К откачиваемому конденсату предъявляются следующие требования: 1) температура его должна быть возможно больше; 2) конденсат не должен содержать воздуха и других газов, которые, попадая в котел вместе с конденсатом, могли бы способствовать его порче (разъедание стенок кислородом воздуха).

В идеальном случае температура конденсата была бы равна температуре пара в момент конденсации (определяется по таблице водяного пара в зависимости от давления в конденсаторе). Практически этого нельзя достигнуть, так как всегда имеет место так называемое «перехохлаждение» конденсата, характеризующееся тем, что температура конденсата оказывается ниже температуры пара, из которого этот конденсат получился. Причина этого в том, что пар охлаждается не один, а в смеси с воздухом, который несет с собой пар и наличие которого неизбежно в конденсаторе. Помимо этого получившийся конденсат, стекая в нижнюю часть конденсатора, охлаждается еще и от сопри-

¹ Без вторичного охлаждения воды. О вторичном охлаждении см. ниже.

² Низшая цифра относится к установкам с паровыми поршневыми машинами, а высшая — к паротурбинным установкам.

³ Главным образом от воздухопроницаемости данной установки в эксплуатации.

⁴ Полученными на основании практического опыта.

основения с никелевыми трубками. Исправно действующая конденсационная установка и правильно выполненный конденсатор должны давать минимальное переохлаждение конденсата (не более $1-2^{\circ}\text{C}$). Переохлаждение конденсата вредно в том отношении, что количество тепла, которое возвращается вместе с конденсатом обратно в котлы, при этом непроизводительно уменьшается, а это отражается и на расходе топлива. Опытом установлено, что в установках с питанием котлов конденсатом каждые $6-7^{\circ}\text{C}$ снижения температуры конденсата дают увеличение расхода топлива примерно на 1%.

Чтобы откачиваемый конденсат содержал в себе как можно меньше воздуха (т. е., как говорят, был бы хорошо деаэрирован), почти во всех современных конструкциях откачивание конденсата и воздуха производится отдельно. Подлежащие удалению воздух и газы в современных конденсаторах забираются из нижней части конденсатора, где температура воздуха ниже. Чем ниже температура воздуха, тем меньше его объем, тем меньше могут быть размеры воздухоудаляющего устройства. Для более интенсивного охлаждения удаляемого воздуха в конденсаторах с высоким вакуумом некоторая часть всего количества трубок (обычно $5-8\%$) отделяется перегородкой от основной группы трубок и образует камеру для охлаждения воздуха. Иногда воздух перед поступлением в воздушный насос подвергается охлаждению в особом кожухе (воздухоохладителе) вне основной конструкции конденсатора (таков, например, рассмотренный ниже конденсатор большой производительности фирмы Вилер). Благодаря устройству охлаждающей камеры воздух имеет почти возможную наименьшую температуру—нормально градуса на $3-4$ выше начальной температуры охлаждающей воды.

Учитывая все сказанное выше, мы можем установить, что современная поверхностная конденсационная установка состоит из следующих основных частей:

- 1) собственно конденсатора—камеры, где конденсируется пар;
- 2) циркуляционного насоса (или насоса охлаждающей воды), прокачивающего охлаждающую воду через трубки конденсатора;
- 3) конденсатного насоса, откачивающего из конденсатора получившуюся воду или конденсат;
- 4) устройства для удаления воздуха (насос, эжектор).

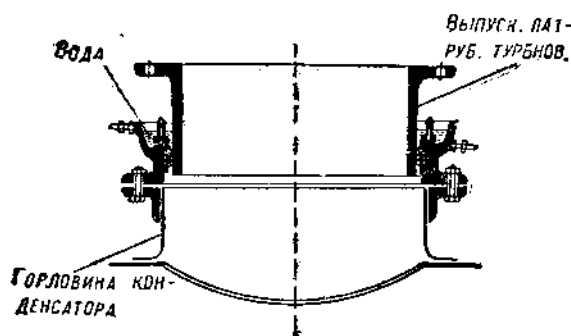
Ниже рассматриваются наиболее употребительные конструкции и системы составных частей конденсационной установки.

18. Детали поверхностных конденсаторов.

а) Соединение конденсатора с турбиной.

Устанавливается поверхностный конденсатор почти всегда непосредственно под турбиной в подвальном помещении. Лишь турбины небольшой мощности (так называемого «бесподвального типа») имеют конденсаторы, расположенные на одном этаже с турбиной. По способу опор различают конденсаторы, покоящиеся на пружинных опорах, и конденсаторы, наглухо прикрепленные к фундаменту. Если конденсатор установлен на пружинах, то соединение приемного патрубка конденсатора с выпускным патрубком турбины может быть жесткое, помощью фланцев и болтов. При этом расширение металла выпускного патрубка турбины при нагревании компенсируется пружинами, допускающими некоторое вертикальное перемещение конденсатора. При жестком (без пружин) соединении корпуса конденсатора с фундаментом необходимо для возможности свободного расширения металла турбины и конденсатора иметь особое промежуточное соединительное устройство, которое должно быть абсолютно плотным, чтобы совершенно исключалась возможность проникновения наружного воздуха в конденсатор.

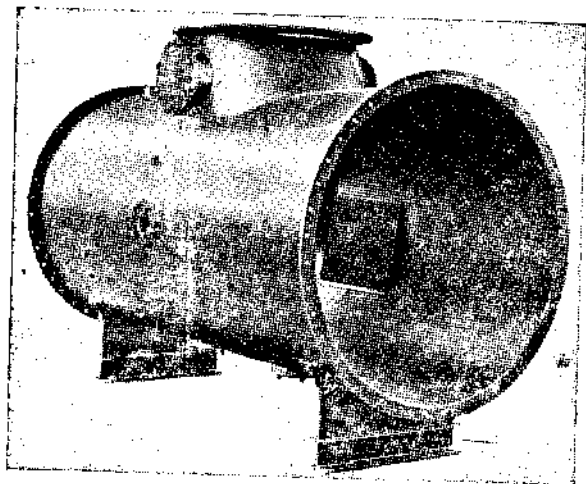
В качестве подобных расширительных соединяющих приспособлений ныне применяется промежуточная волнистая (из меди) труба, упругость которой достаточна для компенсации вертикальных перемещений соединительных фланцев. Достоинство этой конструкции в том, что она не требует за собой совершенно никакого ухода. Другим употребительным приспособлением является так называемое телескопическое соединение, представляющее обычного типа сальник с мягкой набивкой, уплотненный водой, налитой сверху в специальную тарелку. За наличием воды все время работы турбины необходимо обязательно следить, иначе возможно засасывание воздуха внутрь конденсатора. Схема подобного уплотнения дана на фиг. 70.



Фиг. 70. Телескопическое соединение выпускной трубы турбины с поверхностным конденсатором.

в) Корпус конденсатора.

Корпус в большинстве случаев имеет цилиндрическую форму¹ и изготавливается либо из чугуна (обычно американские конструкции конденсаторов), либо склепывается (или изготавливается электрической сваркой) из листовой стали толщиной 10—15 мм (обычно европейские конструкции). На фиг. 71 показан внешний вид корпуса конденсатора (без днища), изготовленного посредством электрической сварки фирмой Броун-Бовери. Преимущество чугунных конденсаторов перед клепаными стальными — малое число соединений в корпусе и стойкость против разъеданий. Достоинство же стальных конденсаторов в том, что они меньше весят и не боятся резких изменений температуры, при которых чугунный конденсатор может дать трещину.



Фиг. 71. Внешний вид корпуса поверхностного конденсатора.

с) Охлаждающие трубки.

Материалом труб служит обычно латунь в среднем следующего состава: 70% меди и 30% цинка или 60% меди и 40 цинка; иногда добавляют 1 — 2% олова или свинца. Трубки конденсаторов судовых машин изготовлялись раньше из бронзы со-

¹ Ниже будут даны несколько типов конденсаторов и нецилиндрической формы, но такие конденсаторы все же менее распространены вследствие более дорогой стоимости изготовления.

става 98,5% меди и 1,5% олова, но в настоящее время делаются латунные. Диаметр охлаждающих труб обычно 20—30 мм. Длина трубок в зависимости от размеров и конструкции конденсаторов доходит до 6—8 м.

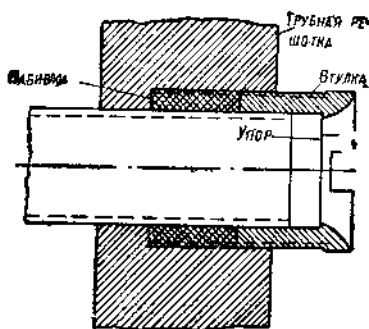
д) Трубные доски.

Доски, в которых укрепляются своими концами трубки, изготавливаются из меди или чаще из стали толщиной 15—35 мм. Прокладки между трубными досками, корпусом и днищами выполняются из резины или клингерита на сурике.

е) Крепление труб конденсатора.

Место крепления конденсаторных труб с трубными решетками одно из наиболее важных, но в то же время и самых слабых мест в конденсаторах. Основным требованием, предъявляемым к ним, является сохранение водяной плотности (т. е. невозможность проникания охлаждающей воды из камеры в паровую полость конденсатора) и в то же время возможность некоторого расширения труб при нагревании. В настоящее время существует большое число конструкций креплений, работающих более или менее удовлетворительно. Мы укажем здесь только наиболее характерные и получившие довольно широкое распространение.

Наиболее часто применяемый способ крепления трубок показан на фиг. 72. Заключается он в следующем. На конце труб, проходящих через отверстия трубных решеток, наматывается хлопчатобумажный шнур толщиной 4—5 мм, пропитанный вареным льняным маслом, чтобы заполнить кольцевой зазор между трубкой и решеткой. Внутренняя поверхность отверстий в трубной решетке нарезается и в них ввинчиваются латунные втулки или сальники, затягиванием которых набивка (т. е. кольца намотанного шнура) спрессовывается и образует достаточно плотный стык между трубкой и решеткой. Распирением трубок при нагревании втулки это совершенно не мешает. На свободном конце втулка имеет кольцевой упор, ограничивающий передвижения трубки и препятствующий вымыванию трубы из решетки или вытягиванию ее при затяжке сальника. Для создания более плавного входа воды в трубу сальник получает у входной кромки округленную расточку и, наконец, в торце—приспособление для захвата втулки ключом при ее ввинчивании и вывинчивании.



Фиг. 72. Сальниковое уплотнение охлаждающих труб поверхностного конденсатора.

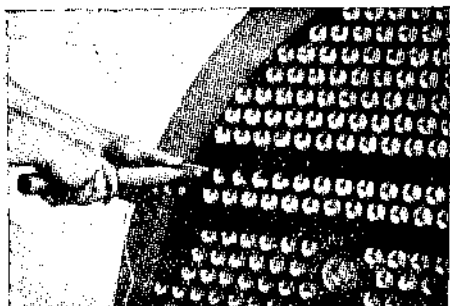
Широкое распространение хлопчатобумажный шнур как набивочный материал получил вследствие своей дешевизны. Недостаток этого способа уплотнения в том, что намотка шнура на многочисленные концы труб представляет довольно кропотливую работу, требующую к тому же и значительного умения. Для облегчения этой работы в настоящее время, правда, существуют различные приспособления. На фиг. 73 показан процесс набивки сальников труб конденсатора.

Кроме хлопчатобумажного шнура, набивкой для таких сальников служат еще иногда резиновые и фибровые кольца, парусиновые манжетки и т. п.

В Америке получила распространение металлическая набивка фирмы Джон Крэн, состоящая из колец, изготовленных прессовкой из слоев тонкого листового баббита. Эта набивка представляет пластичный материал, легко заполняющий все углубления между трубкой и решеткой, отличающийся большой прочностью и выносливостью при изменениях температуры. Кольца металлической набивки вставляются обычно

в углубления трубных досок взамен с фибровыми кольцами, придающими уплотнению упругость.

Из других видов уплотнений укажем на уплотнение резиновыми кольцами на фиг. 74. Отверстия в трубной доске, как видно на этой фигуре, рассверлены вокруг каждой трубки, и в кольцевые отверстия между трубкой и доской вложены резино-

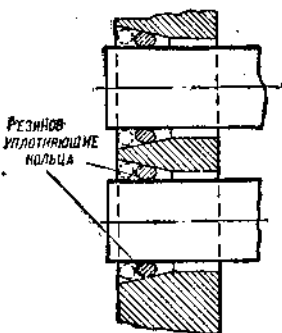


Фиг. 73. Набивание сальников охлаждающих трубок шнуром.

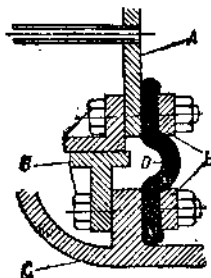
вые кольца. Первоначальное положение колец показано на фиг. 74 пунктиром. При работе вследствие создавшегося в конденсаторе вакуума кольца давлением охлаждающей воды плотно зажимаются в конических выточках и препятствуют проникновению воздуха в конденсатор.

При нагревании концы трубок могут свободно передвигаться в резиновых кольцах. Недостаток этого уплотнения в том, что в случае, например, срыва вакуума кольца могут быть легко повреждены и плотность нарушена. В современных установках этот тип уплотнения больше не применяется.

В целях уменьшения числа сальников и уплотнений один конец труб (в одной доске) весьма часто укрепляют неподвижно развальцовкой, а другой конец оставляют для возможности расширения труб в сальниках. Хорошая развальцовка дает весьма надежное соединение трубок с доской. Желание совершенно избавиться от сальниковых уплотнений привело некоторые фирмы к развальцовке обоих концов труб. При этом одна из трубных досок делается подвижной настолько, чтобы компенсировать удлинение труб при нагревании в работе.



Фиг. 74. Уплотнение резиновыми кольцами.



Фиг. 75. Соединение корпуса конденсатора с подвижной трубной доской помощью резинового кольца.

На фиг. 75 показана деталь соединения корпуса с подвижной трубной доской. Доска А установлена в опорном направляющем кольце В, по опорной поверхности которого она может перемещаться. С корпусом конденсатора С доска соединяется только толстой стенкой кольцеобразной резиновой прокладкой D. Болты Е служат для плотного закрепления резины, не препятствующей небольшому перемещению доски в опорном кольце.

Существуют конденсаторы (фирмы АБС) с трубками, развальцованными в досках, и с обеими неподвижными досками. Температурные удлинения труб в таких конструкциях компенсируются только увеличением прогиба труб.

19. Современные конструкции поверхностных конденсаторов.

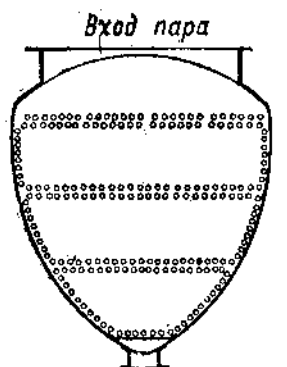
а) Основные требования к современному поверхностному конденсатору.

В настоящее время существует множество конструкций поверхностных конденсаторов. Принцип, лежащий в основе их устройства (описанный нами выше), один и тот же; отличаются они друг от друга только расположением и числом трубок, числом

ходов воды, формой корпуса, способом укрепления трубок, выполнением различных деталей, и наконец, основными размерами. Ниже нами рассматриваются несколько конструкций, наиболее характерных и получивших широкую известность, но прежде чем перейти к этому рассмотрению и давать оценку различным конструкциям, выясним, какие требования предъявляются вообще к современной конструкции поверхностного конденсатора и какими путями эти требования выполняются.

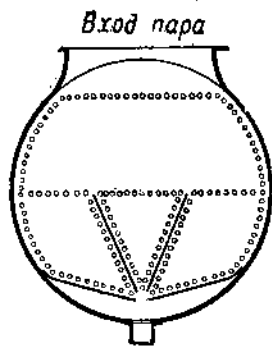
Основные требования, предъявляемые современной техникой к поверхностному конденсатору, заключаются в следующем:

1. Сопротивление (потеря напора), которое представляют трубки и камеры конденсатора проходящей через них воде (так называемое гидравлическое сопротивление), должно быть невелико, чтобы потребная мощность для привода циркуляционного насоса не получилась очень большой. Заметим, что в этом отношении одноходовые конденсаторы представляют преимущество перед многоходовыми, так как изменение направления воды значительно увеличивает гидравлическое сопротивление конденсатора. В хороших конструкциях конденсаторов при скорости воды в трубках 1,5—2,5 м/сек потеря напора (гидравлическое сопротивление) не должна превышать 4,5 м вод. ст. (около $\frac{1}{2}$ атмосферы).



Удаление конденсата

Фиг. 76. Поверхностный конденсатор, имеющий сужающуюся книзу форму.



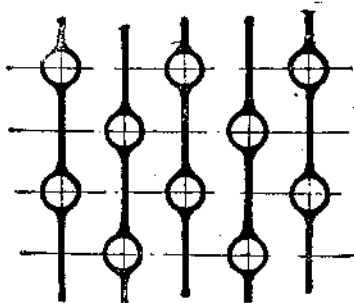
Удаление конденсата

Фиг. 77. Цилиндрический конденсатор с исправляющими перегородками.

2. Паровое сопротивление конденсатора должно быть минимальное. Паровым сопротивлением называется падение абсолютного давления в конденсаторе от места входа пара к месту отсасывания воздуха и удаления конденсата, необходимое для создания соответствующей скорости протекания пара через конденсатор. Это сопротивление представляет прямую потерю вакуума, почему и нужно стремиться возможно уменьшить его. При полной нагрузке турбины в хороших конструкциях паровое сопротивление конденсатора обычно не превышает 2,5—3 мм рт. ст. Для достижения этого должно быть выполнено следующее: приемный патрубок конденсатора должен быть достаточно больших размеров и пар должен встречать сразу возможно большую поверхность охлаждающих трубок; скорость протекания пара через конденсатор должна быть по возможности постоянна, т. е. должны быть большая площадь прохода для пара в начале конденсатора, где объем пара велик, и постепенное уменьшение этой площади к месту откачивания воздуха. Достигается это либо соответствующей расстановкой трубок (большое расстояние между соседними трубками вначале, т. е. при входе пара в конденсатор, и постепенное уменьшение этого расстояния книзу конденсатора),

либо постановкой соответствующих перегородок, либо, наконец, созданием специальной формы конденсатора.

На фиг. 76 представлен конденсатор, в котором обеспечение постоянной скорости пара достигается суживающейся книзу формой корпуса конденсатора. Подобная конструкция, однако, не получила широкого распространения из-за более высокой цены¹. На фиг. 77



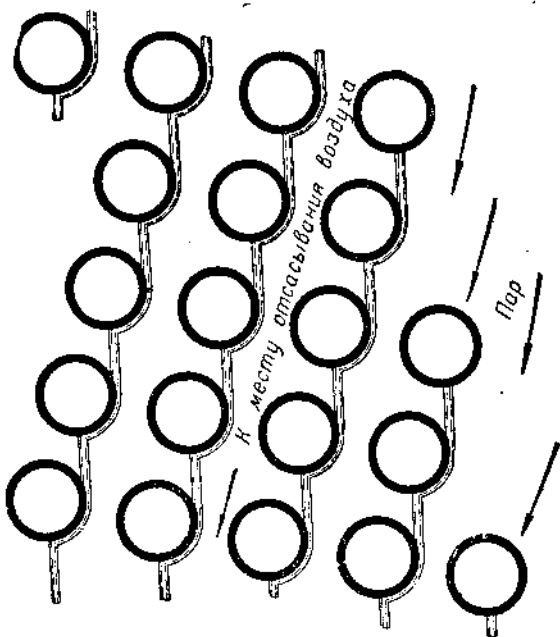
Фиг. 78. Шахматное расположение охлаждающих трубок поверхностного конденсатора.

представлен конденсатор цилиндрической формы с направляющими перегородками, суживающими книзу сечение для прохода пара.

3. Конденсатор должен иметь возможно большую «воздушную плотность», т. е. количество воздуха, попадающего в полость конденсатора через неплотности, должно быть возможно меньше. Попадающий в конденсатор воздух ухудшает теплопередачу, применяясь к пару, и способствует переохлаждению конденсата. При недостаточно плотной конструкции конденсатора для достижения необходимого вакуума приходится откачивать большее количество воздуха, а это заставляет ставить и более мощные воздушные насосы.

4. Количество охлаждающей воды, поступающей в паровую полость конденсатора, через неплотности в сальниках труб и т. п., должно быть возможно меньше (иначе говоря, конденсатор должен иметь хорошую «водную плотность»), так как попадающая вода будет загрязнять конденсат.

5. Передача тепла от пара к охлаждающей воде должна идти возможно лучше, для чего расположение трубок должно быть такое, чтобы их поверхность возможно меньше обволакивалась конденсатом. Как велико значение расположения трубок для работы конденсатора, можно видеть из следующего. На фиг. 78 показано обычное расположение трубок в шахматном порядке. Обработанный пар поступает сверху, конденсируется, и по лежащим ниже трубкам образующийся конденсат стекает вниз. Как видно на фиг. 78, при таком расположении трубки во время работы по всей своей поверхности смочены конденсатом, а так как вода — плохой проводник тепла,



Фиг. 79. Расположение трубок по системе Зинна.

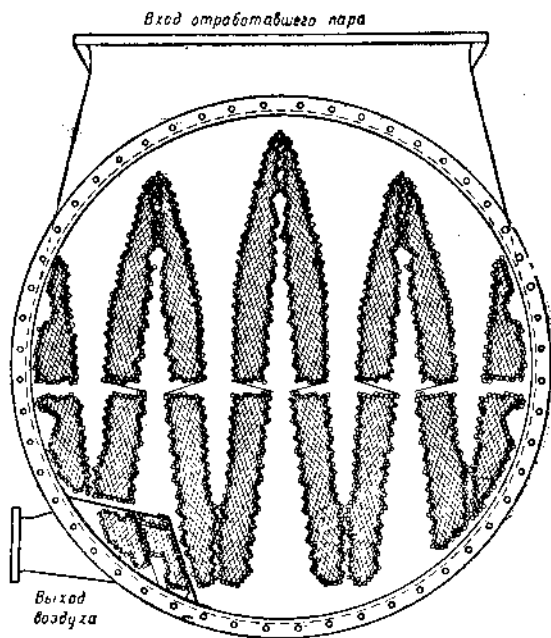
¹ Вследствие более трудного выполнения конденсатора такой формы.

то понятно, что теплопередача от пара, окружающего трубки, к охлаждающей воде, протекающей внутри трубок, идет недостаточно хорошо. Но она может идти лучше, если сделать так, чтобы трубки оставались в работе сухими. Это и побудило инж. Жинаба во Франции отойти от обычного расположения трубок и построить конденсатор с трубками, расположенными по углам параллелограммов, наклоненных под некоторым углом ($11-15^\circ$) к горизонту. Схема расположения трубок по системе Жинаба дана на фиг. 79. Как видно, при этом расположении потоки конденсата, полученного из отработавшего пара, стекая вниз, не омывают уже всей поверхности трубок, а только от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{4}$ их оказываются смоченными, остальная же часть внешней поверхности работает в сухом состоянии. Опыт показал, что подобное расположение значительно повышает теплопередачу, почему расположение трубок по системе Жинаба, применяемое в настоящее время многими фирмами, строящими конденсаторы, следует считать целесообразным.

На фиг. 79а представлен конденсатор (патент Деля), в котором трубки размещены по системе Жинаба.

6. Температура даваемого конденсатором конденсата должна быть возможно выше, для чего уровень воды на дне конденсатора должен быть всегда ниже нижнего ряда трубок. Если скопленный на дне конденсат будет омывать нижние охлаждающие трубки, то он будет отдавать им и свою теплоту, и температура откачиваемого конденсата понизится. Кроме того, стекая в нижнюю часть конденсатора, получившийся из пара конденсат должен по возможности меньше соприкасаться с охлаждающими его нижележащими трубками. Для достижения этого часто применяются направляющие листы, по которым образующийся в верхней части конденсат не стекает по холодным нижним трубкам, а прямо отводится в сборник конденсата специальными дренажными трубками. Для примера на фиг. 80 и 80а даны схемы конденсаторов, где вся масса трубок делится на части, перегороденные железными листами, на которых собирается образующийся конденсат и откуда он отводится дренажными трубками к месту откачивания конденсата, минуя холодные нижележащие трубки. Существует, правда, мнение, что постановка направляющих перегородок увеличивает столь нежелательное паровое сопротивление конденсатора. Однако практика показывает, что это справедливо лишь в том случае, если перегородки установлены неправильно и образуют ходы, непропорциональные действительным количествам проходящего пара, вследствие чего нарушается нормальная скорость течения пара через конденсатор.

Наконец, для того, чтобы конденсат не охлаждался, омывая нижние ряды трубок, во многих конструкциях конденсаторов в нижней части имеется специальный



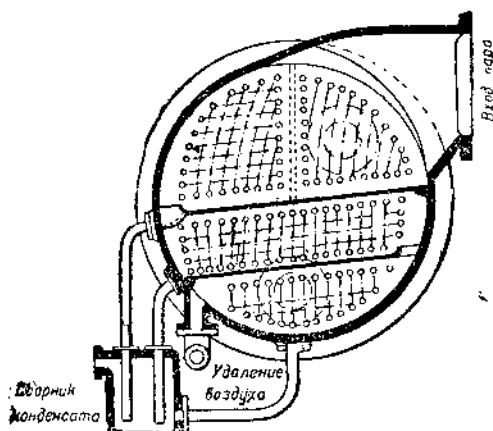
Фиг. 79а. Поверхностный конденсатор системы Деля с расположением трубок по системе Жинаба.

горшок или резервуар для сбора конденсата, откуда он уже и откачивается конденсатным насосом. За уровнем конденсата можно следить по имеющемуся водомерному стеклу. Схема конденсатора со сборником дана на фиг. 81.

7. Температура откачиваемого из конденсатора воздуха должна быть возможно ниже, чтобы меньше был объем этого воздуха. Выше мы уже указывали, что это имеет целью уменьшить размер воздухоудаляющего устройства. Чтобы температура воздуха была по возможности низкой, его откачивают из нижней части конденсатора, предварительно охлаждая либо соприкосновением с охлаждающими трубками, либо в специальных охладителях.

в) Конденсаторы фирмы Бальке (Германия).

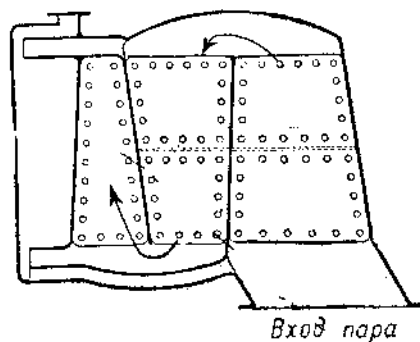
На фиг. 82 представлен этот конденсатор в продольном и поперечном разрезах. Вступающий в конденсатор пар специальной направляющей перегородкой распределяется на два жю конденсатора. Конденсат собирается Охлаждающая вода подводится в левую (на фиг. 82) камеру конденсатора, где распределяется по нижней половине охлаждающих трубок, пройдя которые вступает в правую камеру, меняет свое направление на обратное и попадает в верхнюю поло-



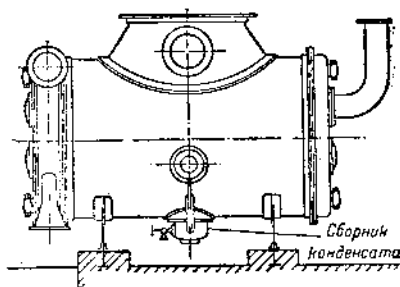
Фиг. 80. Цилиндрический конденсатор с перегородками и отводом образующегося конденсата помощью дренажных трубок.

тока — в левую и правую части полости конденсатора. Конденсат собирается в специальном конденсатном горшке, расположенном в самом низком месте конденсатора. Для наблюдения за уровнем конденсата имеется водомерное стекло.

Удаление
конденсата

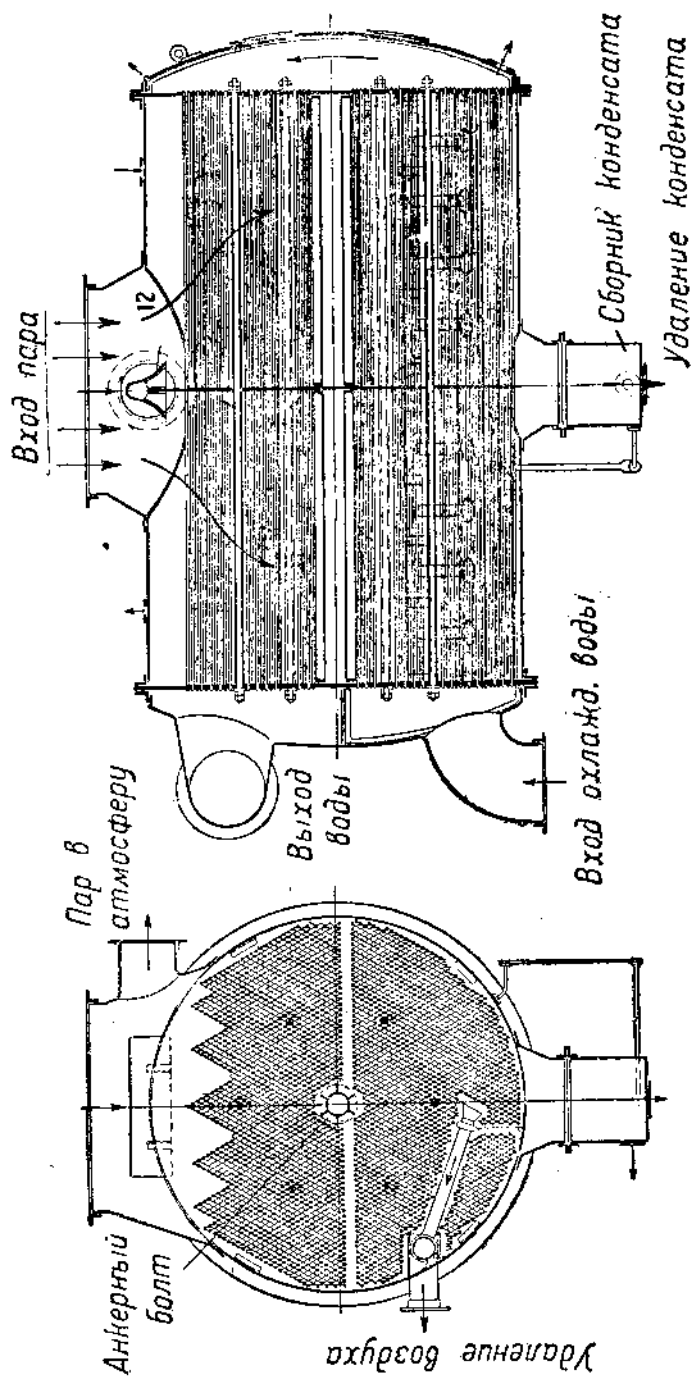


Фиг. 80а. Конденсатор с перегородками и отводом образующегося конденсата помощью дренажных трубок для предупреждения охлаждения конденсата.



Фиг. 81. Схема поверхностного конденсатора со сборником для конденсата.

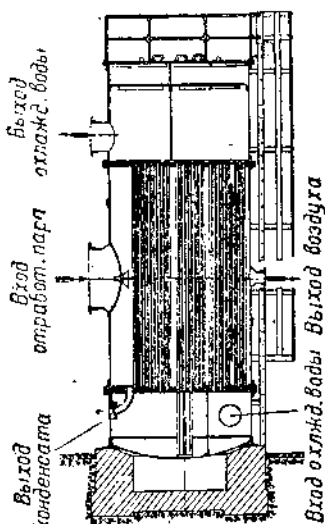
вину охлаждающих трубок и, пройдя их, через верхнюю половину левой камеры отводится из конденсатора. Конденсатор этот таким образом двухходовой и работает по принципу противотока — более холодные нижние трубки омываются и более холодным паром, верхние же, более нагретые, соприкасаются и с более нагретым паром, вследствие



Фиг. 82. Конденсатор фирмы Балфю.

чего все охлаждающие трубки более или менее равномерно участвуют в охлаждении пара.

Воздух откачивается из нижней части конденсатора равномерно по всей длине через специальные расширяющиеся трубки, которые соединены со сборной трубой, ведущей к насосу для откачивания воздуха. Воздухоохладитель в этой конструкции нет. В верхней части конденсатора имеется патрубок, служащий для выпуска отработавшего пара в атмосферу при неисправности конденсатора. Жесткость трубных досок достигается специальным прочным центральным анкерным болтом и еще несколькими более мелкими.



Фиг. 83. Вертикальный конденсатор Балье.

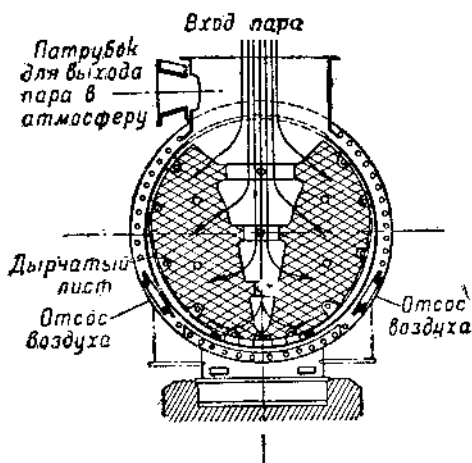
В верхней части конденсатора трубки расположены реже друг от друга, чтобы дать пару большую площадь прохода, а в нижней, где объем пара меньше, трубки ставятся чаще. Укреплены трубки в верхней части конденсатора помощью сальников с набивкой, а в нижней—развальцованы.

Недостаток описанных конденсаторов тот, что верхние охлаждающие трубки подвергаются значительному удару входящей паровой струи. Вообще подобную конструкцию следует считать уже несколько устарелой.

Отметим, что фирмой Балье строятся точно и вертикальные поверхностные конденсаторы. Один из таких конденсаторов в разрезе представлен на фиг. 83.

с) Конденсатор Броун-Бовери (Швейцария).

(Схема конденсатора Броун-Бовери дана на фиг. 84. Охлаждающие трубки в этом конденсаторе расположены таким образом, что под патрубком, по которому входит отработавший пар в конденсатор, образуется свободное пространство, суживающееся конически книзу (в форме латинской буквы V). Из этого пространства пар попадает в боковые группы охлаждающих трубок почти в горизонтальном направлении, свободно разветвляясь в обе стороны (по направлению стрелок на фиг. 84). Вследствие уменьшения сечения междутрубного пространства по мере протекания пара скорость охлаждающегося пара остается почти постоянной (уменьшению объема пара при постепенной конденсации соответствует уменьшение площади протекания), что препятствует образованию воздушных мешков. Наличие свободного пространства между трубками дает также возможность пару достигнуть конденсата, собирающегося в нижней части конденсатора, почему не наблюдается большого охлаждения конденсата. Отсасывание воз-

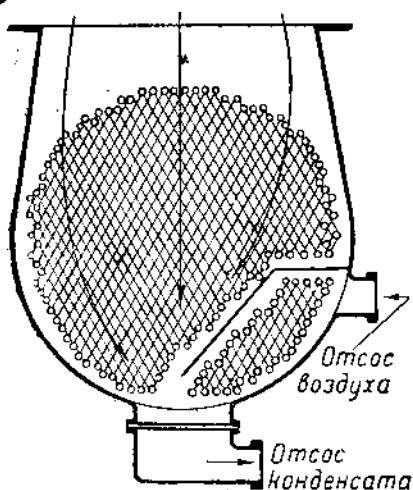


Фиг. 84. Конденсатор фирмы Броун-Бовери.

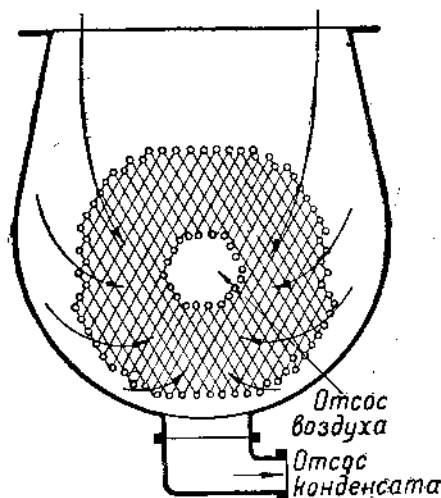
духа производится здесь с двух сторон через патрубки, расположенные по бокам конденсатора. Перед каждым из патрубков имеются металлические листы с мелкими отверстиями, назначение которых—способствовать по возможности равномерному отсосу воздуха с боков конденсатора.

д) Конденсаторы Метрополитен-Виккерс (Англия).

Конденсаторы фирмы Метрополитен-Виккерс встречаются в настоящее время двух типов. Старый тип (выполняемый в настоящее время для установок небольшой мощности) представлен на фиг. 85. Корпус конденсатора цилиндрической формы и выполнен из чугуна. Отсасывание воздуха производится с одной стороны корпуса из нижней его части. Часть трубок, служащая для охлаждения воздуха, отделена перегородкой. Для собирания образующегося конденсата имеется в нижней части корпуса горшок, из которого уже и происходит откачивание конденсата насосом.



Фиг. 85. Схема конденсатора Метрополитен-Виккерс старого типа.



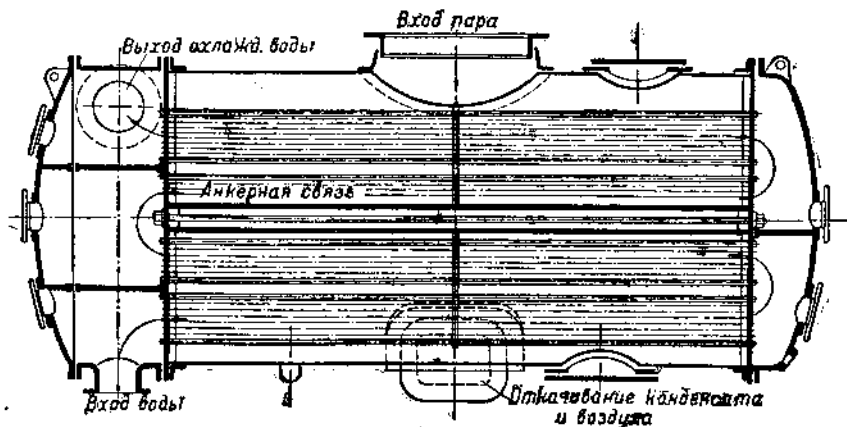
Фиг. 86. Схема конденсатора Метрополитен-Виккерс с центральным протоком пара.

Новый тип конденсаторов Метрополитен-Виккерс, представленный в схеме на фиг. 86, выполняется с центральным протоком пара. Диаметр корпуса здесь взят значительно больше, чем занятая трубками площадь, и вся система трубок расположена относительно оси корпуса несколько эксцентрично (сдвинута несколько вниз). Благодаря этому входящий отработавший пар подводится к трубкам сразу по всей внешней окружности, занимаемой трубками. Отсасывание воздуха происходит из центра конденсатора, что сокращает почти в два раза путь пара сквозь трубки от места подвода до места отсасывания воздуха и уменьшает паровое сопротивление конденсатора. Переохлаждение конденсата при такой системе также ничтожно (не превышает $0,5-1^{\circ}\text{C}$). Объясняется это следующим: вследствие поступления пара по всей окружности, занимаемой патрубками, температура его в нижней части почти та же, что и в верхней, а капельки конденсата, падая с верхних трубок, подогреваются паром, поступающим в нижнюю часть конденсатора, и, собираясь, имеют почти такую же температуру, как и пар.

Производство их в настоящее время ведется и у нас в СССР на Ленинградском металлическом заводе им. Сталина, причем для больших мощностей строятся конденсаторы с центральным протоком пара.

е) Конденсаторы AEG (Германия).

На фиг. 87 дан в продольном разрезе конденсатор AEG по конструкции несколько устарелый, но имеющий довольно широкое распространение и до сих пор.



Фиг. 87. Конденсатор фирмы А. Е. G.

Особенностью этой системы следует считать удаление конденсата совместно с воздухом помощью насоса специальной конструкции (об этом насосе см. ниже). Благодаря этому такая конденсационная установка дает конденсат, все же недостаточно хорошо деаэрированный¹. Охлаждающие трубки развальцовываются в обоих трубных досках. Удлинение при нагревании компенсируется увеличением прогиба достаточно гибких трубок. Конденсатор четырехходовой.

г) Конденсаторы фирмы Контрафло (Англия).

На фиг. 88 дан поперечный разрез одноходового конденсатора фирмы Контрафло. Трубная доска расположена относительно цилиндрического корпуса эксцентрично, вследствие чего пар имеет сразу большую площадь соприкосновения с трубками, так как до $\frac{2}{3}$ трубок, расположенных по окружности трубной доски, сразу омываются паром.

В паровом пространстве конденсатора имеются наклонно поставленные перегородки, назначение которых—давать должное направление пару и сужать ходы А по направлению к низу конденсатора по мере конденсации пара². Кроме того, эти перегородки предохраняют конденсат от переохлаждения, так как конденсат, образовавшийся в верхней части конденсатора, не охлаждается от соприкосновения с нижележащими трубками, а стекает по листам прямо к месту удаления конденсата наружу. Откачивается конденсат через патрубок, расположенный в самой нижней части конденсатора. Воздух откачивается через два боковые патрубка. Перед удалением из конденсатора воздух проходит через охладители, которыми служит часть охлаждающих трубок (в правой и левой частях конденсатора), отделенная нижними перегород-

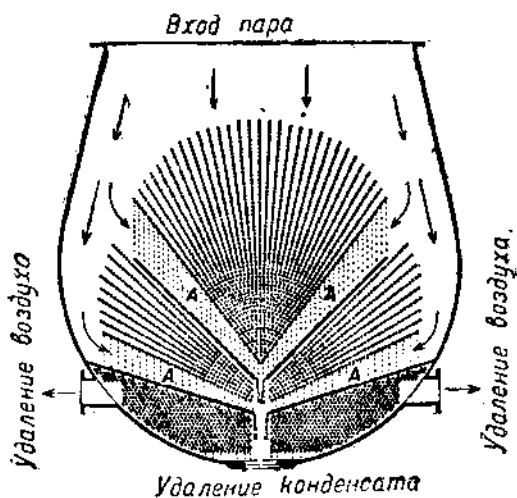
¹ Освобожденный от воздуха.

² В целях сохранения постоянной скорости протекания пара.

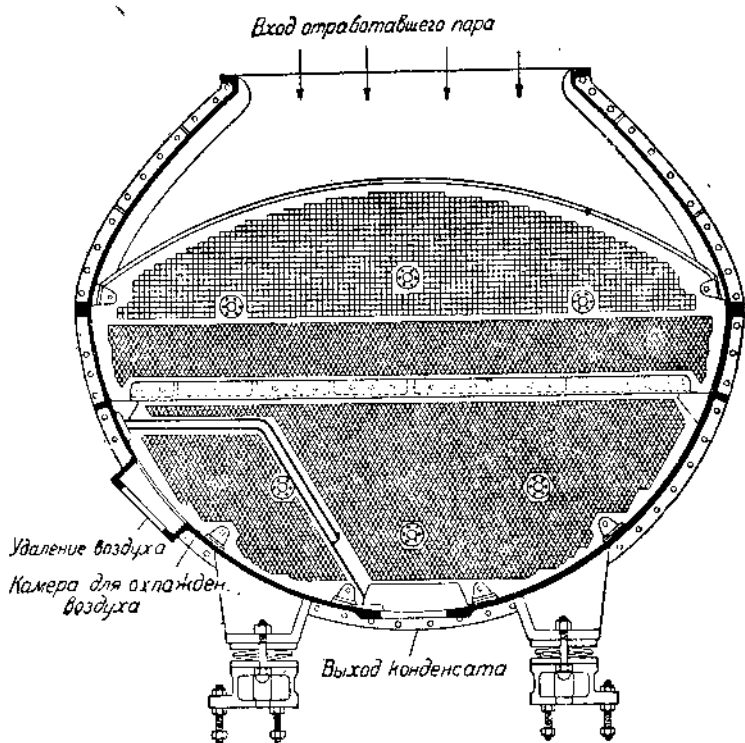
ками. Над перегородками оставляются свободные от трубок широкие проходы для пара, что снижает паровое сопротивление конденсатора и позволяет пару вступить в непосредственное соприкосновение со стекающим по листам конденсатом и несколько его подогреть (примерно до температуры поступающего пара).

г) Конденсаторы фирмы Мирлис-Вотсон.

В целях уменьшения толщи трубок, которую приходится пересекать поступающему в конденсатор пару, и тем самым снижения парового сопротивления конденсатора фирма Мирлис-Вотсон в Англии придает конденсатору характерную форму, значительно отличающуюся от цилиндрической. В разрезе конденсатор этой фирмы представлен на фиг. 89. Конденсатор двухходовой. Верхние ряды трубок расположены реже, чем



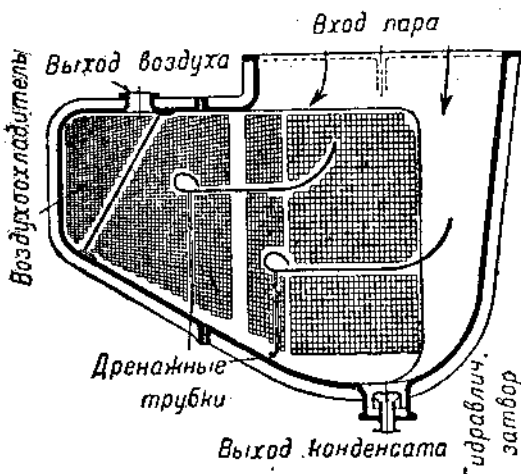
Фиг. 88. Конденсатор фирмы Контрафло.



Фиг. 89. Конденсатор Мирлис-Вотсон.

нижние. Соединение конденсатора с турбиной жесткое. Установлен конденсатор на пружинах, которые и воспринимают вертикальные перемещения конденсатора при нагревании. Для охлаждения воздуха, отсасываемого сбоку, часть трубок отделяется перегородкой.

В последнее время фирмой выработан тип конденсатора особой конструкции с подогреванием получающегося конденсата входящим паром. Такой конденсатор, получивший название регенеративного, представлен в разрезе на фиг. 90. Форма его еще более своеобразная. Придавая конденсатору такую форму, фирма достигает большой



Фиг. 90. Регенеративный конденсатор фирмы Мирлис-Вотсон.

площади соприкосновения трубок с паром при входе в конденсатор. Кроме того, пар получает доступ к месту отсасывания конденсата, следствием чего является подогрев конденсата почти до температуры поступающего в конденсатор пара. Для сбора конденсата, образующегося в верхней части конденсатора, и направления парового потока имеются специальные перегородки. Собирающийся на этих перегородках конденсат отводится в нижнюю часть конденсатора специальными дренажными трубками, благодаря чему удается избежать охлаждения конденсата нижележащими охлаждающими трубками. По мере удаления от выпускного патрубка трубы располагают чаще.

Воздух отводится из верхней части

охлаждающей камеры, образованной отделением перегородкой части трубок в левой (самой узкой) части конденсатора. В месте удаления конденсата предусмотрен гидравлический затвор, чтобы избежать возможности попадания воздуха и пара в конденсатную линию.

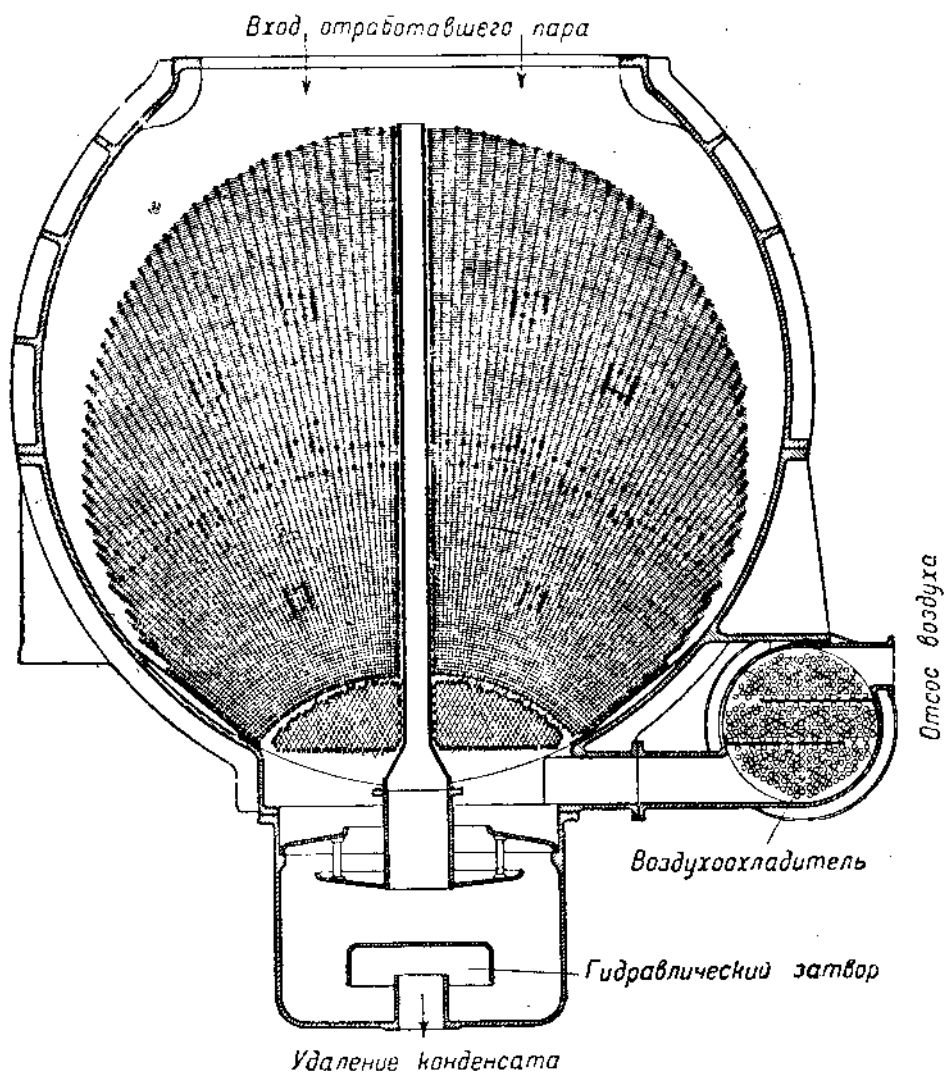
h) Конденсаторы фирмы Вилер.

На фиг. 91 представлен в поперечном разрезе конденсатор большой производительности в исполнении фирмы Вилер. Особенность этого конденсатора—широкий центральный проход для пара, поступающего в конденсатор, к сборнику конденсата. Этим достигается подогревание конденсата, стекающего в цилиндрической формы сборник. В нижней части сборника предусматривается гидравлический затвор. Воздух откачивается из нижней части конденсатора и перед поступлением в воздушный насос проходит через специальный охладитель. Охладитель представляет собой цилиндрической формы резервуар с охлаждающими трубками, внутри которых прокачивается охлаждающая вода, а внешняя поверхность омывается воздухом. Устройство подобного охладителя имеет целью охладить откачиваемый воздух (почти до температуры охлаждающей воды) и тем способствовать уменьшению его объема перед поступлением в воздушный насос.

20. Конденсатный и циркуляционный насосы.

Насосы для откачивания конденсата и для прокачивания через трубки конденсатора охлаждающей воды выполняются обычно центробежного типа.

Конденсатный насос является весьма ответственным насосом, работающим к тому же в очень тяжелых условиях, ибо ему приходится откачивать из конденсатора, где существует глубокий вакуум, воду с довольно высокой температурой (температура конденсата в среднем 35—30° С). Требования, предъявляемые к этому насосу, таковы:



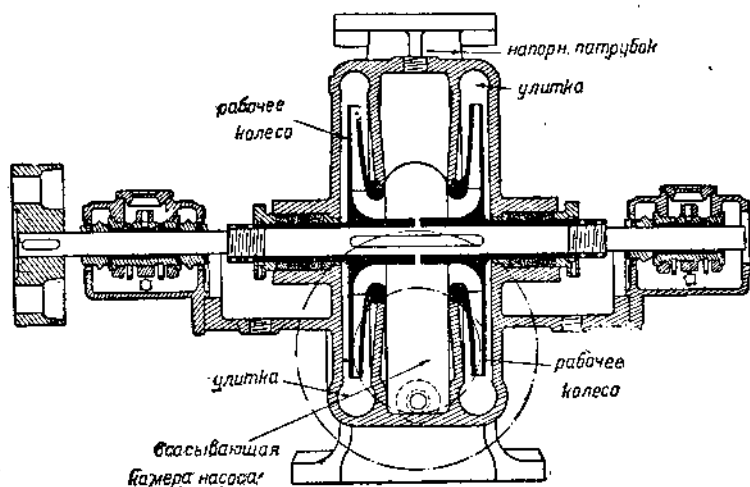
Фиг. 91. Конденсатор Вилер.

1. Полная надежность действия при разных нагрузках, так как срыв насоса может повести к затоплению конденсатора водою.

2. Достаточная плотность соединений всасывающего трубопровода насоса, его сальников и пр., чтобы была совершенно исключена возможность попадания наружного воздуха в насос.

Чтобы при глубоких вакуумах обеспечить надежность присасывания в пасос воды, уровень осевой линии конденсатного насоса делается обычно не менее 800 — 1 000 мм ниже нормального уровня конденсата в конденсаторе¹. Скорость воды во всасывающем трубопроводе берется обычно весьма низкая — не более 1 м/сек, чтобы по возможности уменьшить сопротивление во всасывающем трубопроводе от конденсатора к насосу.

Напор, создаваемый конденсатным насосом в его нагнетательной линии, требуется небольшой (насос качает конденсат в бак, расположенный обычно не особенно высоко), поэтому конденсатный насос берется в большинстве случаев одноступенчатым — с одним или двумя параллельно работающими колесами. Лишь при необходимости преодолевать большой напор (в несколько десятков метров), что бывает в том случае, когда конденсат перекачивается непосредственно в котлы (т. е. конденсатный насос является одновременно и питательным), конденсатный насос берется многоступенчатым, т. е. с двумя или несколькими последовательно работающими колесами.



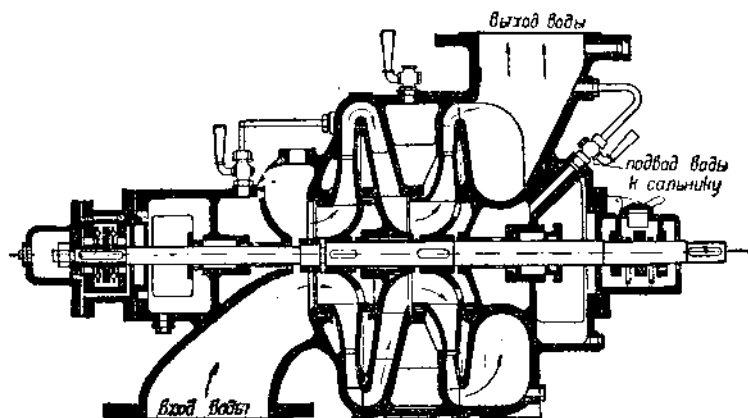
Фиг. 92. Одноступенчатый конденсатный насос.

На фиг. 92 показан одноступенчатый конденсатный насос фирмы Мирлис-Вотсон, выполненный с двумя работающими колесами, симметрично расположенными. Вода входит во всасывающую камеру, расположенную между рабочими колесами, и поступает в два колеса, направление входа воды в которые противоположно друг другу. Таким расположением достигаются уравнивание обоих колес и отсутствие осевого усилия, всегда имеющего место в насосах с одним рабочим колесом и односторонним входом воды, а также и в многоступенчатых насосах². Каждое из двух колес этого насоса подает половину всего количества воды. Из направляющих улиток обоих колес вода поступает в общий напорный патрубок насоса. Сальники насоса надежно уплотняются во избежание проникновения внутрь насоса наружного воздуха. Кроме

¹ Необходимая разность уровней между уровнем конденсата и осевой линией насоса зависит от конструкции конденсатного насоса. Фирмы, строящие насосы, стремятся к уменьшению этой необходимой разности, чтобы не увеличивать высоты конденсационного помещения.

² Осевое усилие, или давление вдоль оси насоса, направлено, как известно, в сторону, противоположную входу воды в рабочее колесо.

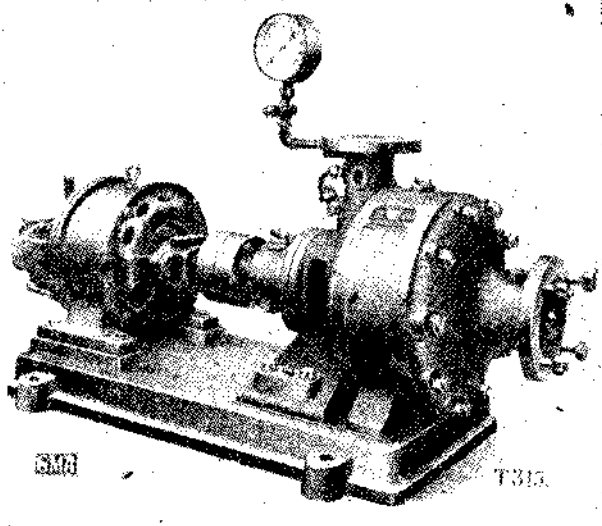
того, во время работы сальники находятся под давлением воды изнутри насоса, так как между рабочими насосами и корпусом имеются большие зазоры, через которые вода и подводится к сальникам. В результате попадание наружного воздуха в насос совершенно исключается, так как следствием неплотности сальников была бы только



Фиг. 93. Двухступенчатый конденсатный насос.

утечка конденсата изнутри насоса. Подобные насосы работают с числом оборотов 1 500 в минуту и пригодны для напоров до 15 м (1,5 ат).

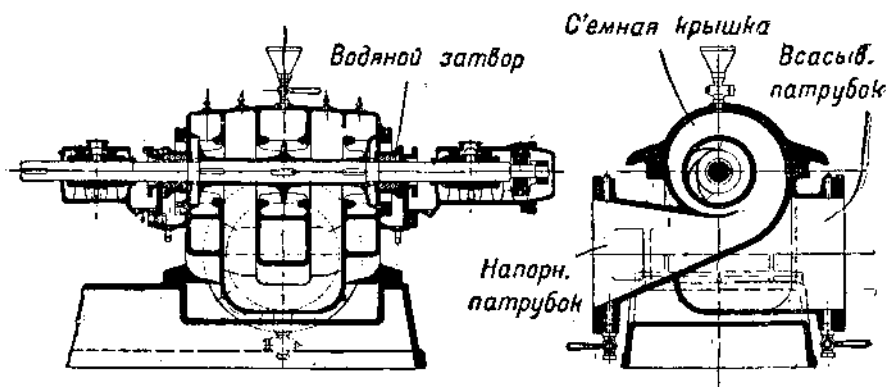
Двухступенчатый конденсатный насос (фирмы Вумат), дан на фиг. 93 в разрезе, а на фиг. 93а—в общем виде вместе с электромотором. Насос пригоден для подачи воды со значительным напором и имеет два последовательно работающих колеса. Конденсат подводится по всасывающему патрубку сначала к левому (на фиг. 93) колесу насоса, откуда выбрасывается этим колесом в кольцевой канал между первым и вторым колесами и поступает во второе колесо. Необходимый напор таким образом создается в этом насосе по частям. Направление движения воды показано на фиг. 93 стрелками. Сальники уплотняются водой под давлением, которая подводится помощью специальных трубок из нагнетательного патрубка насоса и канала между первым и вторым колесами.



Фиг. 93а. Общий вид конденсатного насоса Вумат.

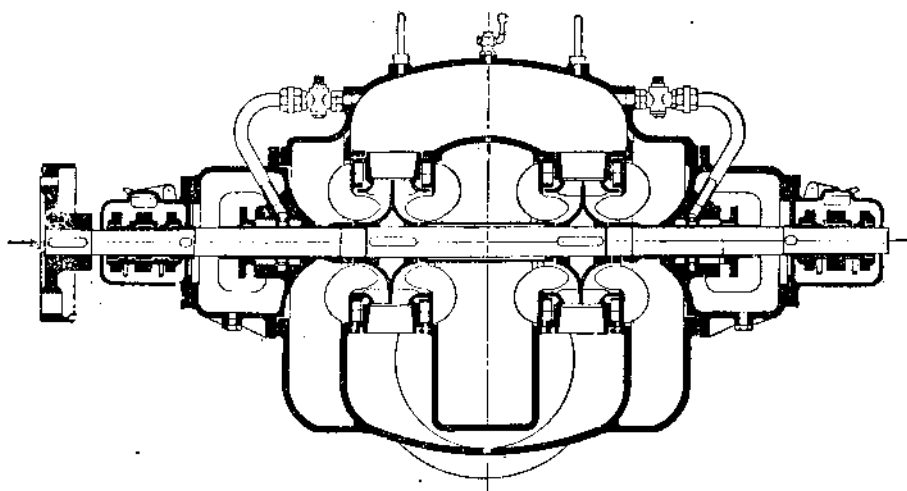
Циркуляционный насос (для подачи в конденсатор охлаждающей воды) по условиям работы обычно предназначается для большой производительности и небольших

напоров (так как высота подачи воды невелика и насосу приходится лишь преодолевать сопротивление конденсатора). Поэтому он выполняется обычно с малыми диаметрами колес и широкими лопастями, чем главным образом и отличается от обычных центробежных насосов для перекачки воды. Число оборотов насоса обычно берется большое, и для пропуска значительного количества воды очень часто устраивается в одном корпусе несколько параллельно работающих колес.



Фиг. 94. Циркуляционный центробежный насос большой производительности.

На фиг. 94 представлен циркуляционный насос завода Бальке (Германия). На валу насоса на шпонках насажены три рабочих бронзовых колеса. Среднее колесо вы-



Фиг. 95. Циркуляционный насос Герлицкого завода (проходный разрез).

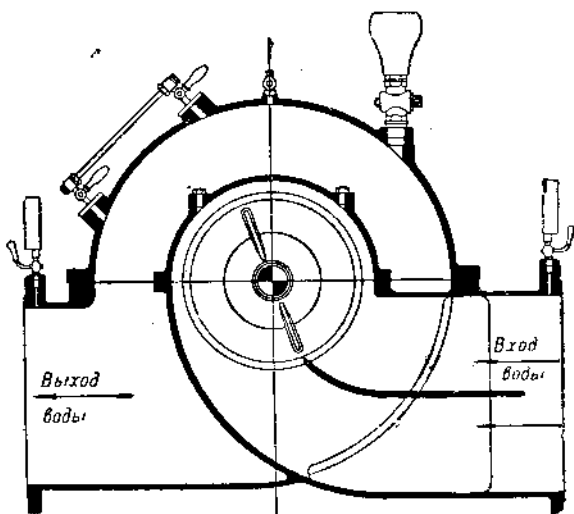
полнено с двухсторонним входом воды, а крайнее—с односторонним. Подобное расположение ведет почти к полному уничтожению осевых давлений. Все колеса подают воду в один напорный патрубок.

На фиг. 95а и 95б представлен циркуляционный насос, выполняемый Герлицким заводом (фирма Вумаг в Германии). Насос предназначен для большой производи-

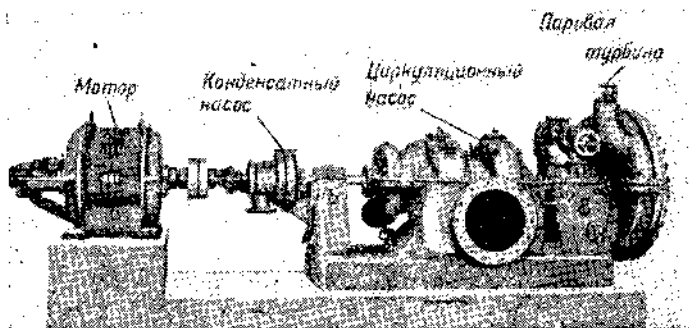
ности и состоит из двух параллельно работающих колес, имеющих двухсторонний выход воды, вследствие чего вал насоса полностью разгружен от осевых усилий.

Устанавливается циркуляционный насос таким образом, чтобы конденсатор всегда находился на нагнетательной стороне насоса, что обеспечивает подачу воды в трубы конденсатора под давлением.

Приводится в движение циркуляционные и конденсатные насосы обычно от электромоторов или небольших вспомогательных паровых турбин. Часто оба насоса берутся с равным числом оборотов и располагаются на одном валу с электромотором — получается удобная и весьма компактная насосная группа. На фиг. 96 представлено такое расположение насосов. На одном валу с насосами слева расположены электромотор, а справа в качестве запасного агрегата — паровая турбина. Обычное расположение конденсационных насосов относительно конденсатора в установке видно на фиг. 96 и 97.



Фиг. 95а. Циркуляционный насос Горьковского завода (поперечный разрез).



Фиг. 96. Общий вид конденсационных насосов, расположенных на одном валу с электромотором.

21. Устройства для удаления воздуха из конденсаторов.

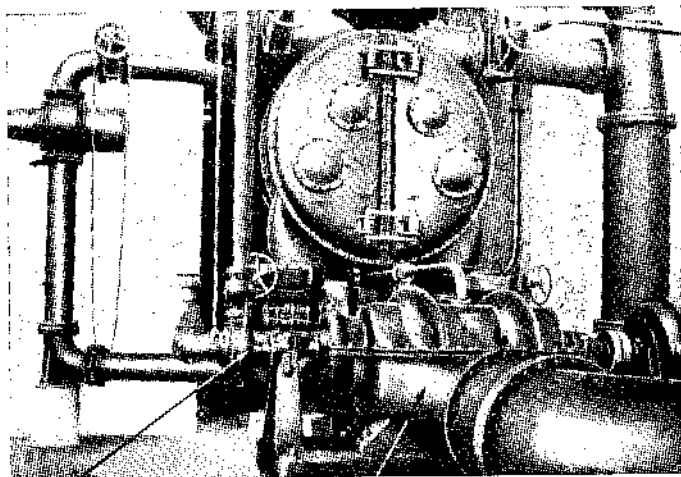
Первоначально для удаления воздуха из конденсаторов паровых турбин применялись насосы поршневого типа, так называемые сухие воздушные насосы¹. Однако, опыт показал целый ряд неудобств в применении этого типа насосов. Поршневые насосы громоздки, тяжелы и для приведения их в движение требуют устройства

¹ Описание их было дано нами выше при рассмотрении центральной конденсации.

ремненной или зубчатой передачи, так как число оборотов, которое допускают эти насосы, значительно меньше нормального числа оборотов современных электромоторов, а паровая турбина не может непосредственно приводить поршневые насосы в движение (как это может делать паровая поршневая машина). Поэтому практика выработала целый ряд других устройств. Более удовлетворяющих современную технику в деле отсасывания воздуха в турбинных установках, оставив применение поршневых воздушных насосов лишь в некоторых установках с поршневыми паровыми машинами. В современных условиях в качестве устройств для удаления воздуха из конденсаторов турбин применяются:

- 1) водоструйные эжекторы,
- 2) воздушные насосы ротационного типа,
- 3) пароструйные эжекторы.

Мы здесь рассмотрим последовательно наиболее распространенные в практике устройства всех этих групп.



Фиг. 97. Общий вид расположения поверхностного конденсатора и конденсационных насосов.

а) Водоструйные эжекторы.

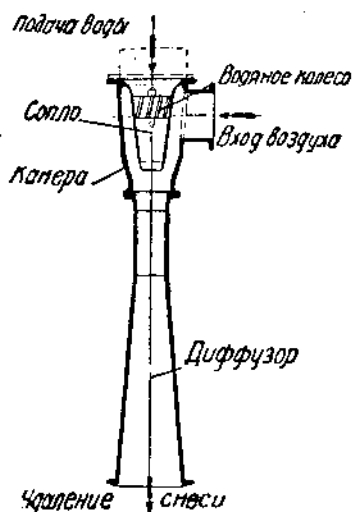
Схема одного из первых водоструйных эжекторов, применяющихся и в настоящее время, представлена на фиг. 98 (эжектор Мюллера).

Эжектор состоит из камеры, имеющей натрубок (на фиг. 98 справа), посредством которого эта камера сообщается с полостью конденсатора. К нижней части камеры присоединена расширяющаяся книзу труба (так называемый «диффузор»), а в верхней части в камеру вставлено особое суживающееся сопло. В сопло помощью специального центробежного насоса подается под большим давлением вода. Вытекая из сопла с большой скоростью, вода увлекает за собой воздух, окружающий сопло и засасываемый из конденсатора турбины. Смесь воды и воздуха попадает далее в диффузор, где скоростная энергия смеси благодаря расширяющемуся сечению диффузора преобразуется в давление¹, и поэтому смесь, преодолевая противодавление, выходит из эжектора.

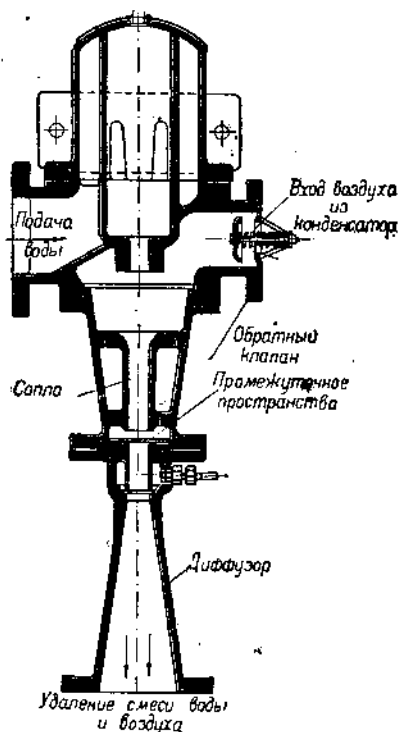
¹ Скорость движения воды и воздуха в диффузоре постепенно уменьшается, а давление увеличивается.

В верхней части водяного сопла эжектора (что видно и на фиг. 98) располагается особое водяное колесо, сообщаящее воде при проходе через сопло вращательное движение благодаря радиальным лопастям колеса (их всего по окружности колеса 8), наклоненным к оси колеса под некоторым углом. Действие лопастей заключается в разделении общей массы воды на ряд спиральных пленок, лучше захватывающих воздух в промежутки между ними при проходе из сопла ко входному отверстию диффузора.

На фиг. 99 дана конструкция водоструйного эжектора фирмы Броун-Бовери (ВВБ), работающего так же, как и эжектор Мюллера, с той лишь разницей, что воде при входе в аппарат здесь не сообщается вращательного движения. Вода к этому эжектору подается через патрубок слева, а воздух через правый патрубок засасывается из кон-



Фиг. 98. Водоструйный эжектор Мюллера.

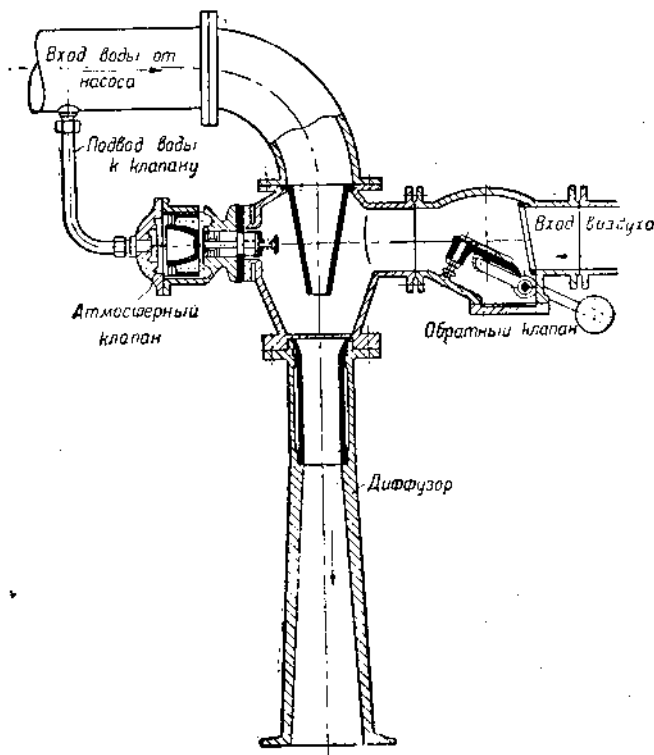


Фиг. 99. Водоструйный эжектор Броун-Бовери.

денсатора. Выходя из сопла с большой скоростью, вода попадает в камеру эжектора, увлекает за собой воздух, и смесь воды и воздуха попадает во второе сопло, а оттуда в диффузор. На воздушном патрубке имеется пружинный обратный клапан, предотвращающий попадание воды в полость конденсатора в случае прекращения подачи воды в эжектор под давлением, вследствие чего вакуум в его камере падает. В случае срыва работы эжектора клапан прижимается к своему седлу давлением со стороны эжектора.

На фиг. 100 дан водоструйный эжектор фирмы MAN. Эжектор этот по принципу работы не отличается от предыдущих. Он также имеет на воздушном патрубке обратный клапан, захлопывающийся давлением воды, и снабжен еще и атмосферным клапаном. Назначение этого клапана следующее. В случае неисправности водяного насоса, подающего рабочую воду к эжектору, давление воды в подводящем трубопроводе падает, и под действием пружины открывается атмосферный клапан, выпускающий

в камеру эжектора атмосферный воздух. При этом давлением воздуха захлопывается обратный клапан, разобщающий прибор с конденсатором. Когда водяной насос снова будет работать нормально, увеличится давление в трубопроводе к соплу и вода, подводимая под давлением по специальной трубке, будет давить на поршень обратного клапана и закроет его. При этом камера эжектора будет разобщена с атмосферой. Вытекающая из сопла рабочая вода снова создаст в эжекторе вакуум, обратный клапан откроется и начнется снова отсасывание воздуха из конденсатора. Устройство подобного атмосферного клапана исключает возможность попадания воды из сливной трубы в диффузор и в камеру эжектора при внезапной порче водяного насоса.



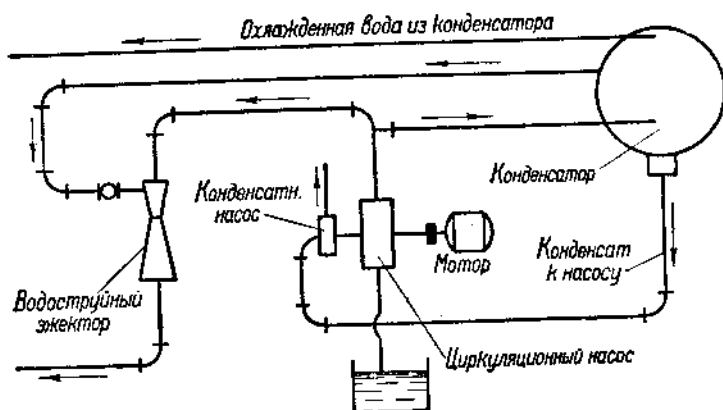
Фиг. 100. Водоструйный эжектор завода MAN.

Схемы установки водоструйных эжекторов к конденсатору даны на фиг. 101 и 102. Схема фиг. 101 относится к случаю подачи воды к эжектору специальным центробежным насосом, а схема фиг. 102—при подаче воды параллельным ответвлением от циркуляционного насоса.

Рассмотрим сначала схему фиг. 101. На валу мотора имеются три насоса, которые этот мотор приводят в движение: циркуляционный насос, насос эжектора и конденсатный насос. Циркуляционный насос всасывает воду из водоема и прокачивает ее через трубки конденсатора, после чего эта вода, нагретая в конденсаторе, идет в спускной колодец. Конденсатный насос всасывает воду (конденсат) из нижней части поверхностного конденсатора турбины и качает ее в питательный бак на питание котлов. Что касается насоса эжектора, то он забирает воду из приемного пространства циркуляционного насоса (поэтому на схеме и не указано специальной

подводки к этому насосу) и под давлением подает ее к эжектору. Посредством специального трубопровода эжектор сообщается с полостью конденсатора. Смесь воды и воздуха из эжектора идет в колодец.

На фиг. 102 дана схема конденсационной установки, в которой специальный насос для эжектора отсутствует. На валу мотора здесь имеются два насоса: конденсатный и циркуляционный. Вода к эжектору берется от нагнетательной трубы циркуляционного насоса. Преимуществом подобной установки является большая простота по сравнению с установкой на фиг. 101 (отсутствие одного насоса), но зато циркуляционный насос должен быть взят большей производительности.



Фиг. 102. Схема установки водоструйного эжектора с параллельным ответвлением рабочей воды.

Что касается расхода воды на водоструйные эжекторы, то этот расход сильно колеблется в зависимости от выбранного напора и для эжекторов, работающих водой от циркуляционного насоса, в среднем составляет 10% от всего потребного количества охлаждающей воды.

в) Ротационные воздушные насосы (типа Вестингауз-Леблан и АЕГ).

Устройства для удаления воздуха этого типа в настоящее время применяются довольно широко. Мы рассмотрим два таких устройства — воздушный насос системы Вестингауз-Леблана и фирмы АЕГ.

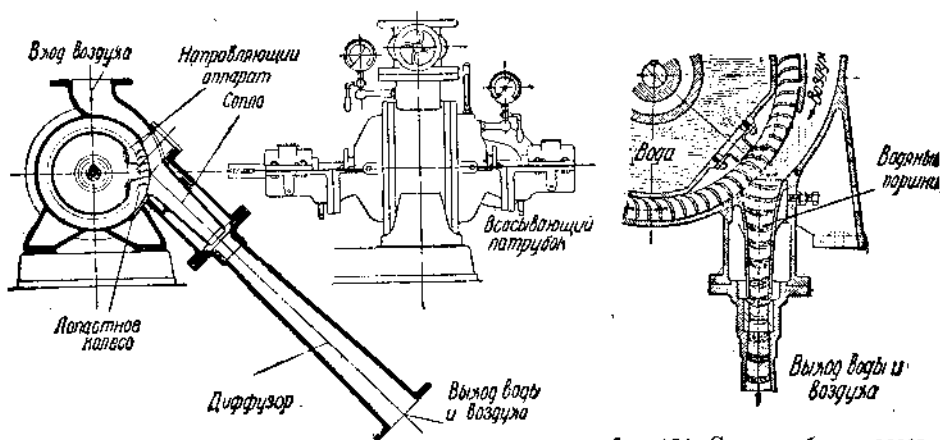
Ротационный воздушный насос типа Вестингауз-Леблана. Воздушный насос этого типа был предложен Лебланом еще около 1910 г. Первоначально насосы эти изготовлялись заводом Вестингауза, а потому и получили известность под именем насосов Вестингауз-Леблана. В настоящее время они изготовляются целым рядом заводов и очень распространены.

На фиг. 103 дан разрез подобного насоса. Основные его части — направляющий аппарат, рабочее колесо, сопло и диффузор. Вращающейся частью является лопастное рабочее колесо, получающее движение от электромотора или от паровой турбины. Пустота направляющего аппарата сообщается со всасывающей трубой. При быстром вращении рабочего колеса, под влиянием создаваемого им разрежения, вода поднимается по всасывающей трубе в направляющий аппарат и попадает в рабочее колесо. Здесь эта вода разбивается лопатками на пленки и выбрасывается из колеса в сопло. Пленки воды захватывают с собой воздух из корпуса насоса, и вода с воздухом в промежутках между пленками попадает в диффузор, где вследствие расширяющегося

сечения скорость смеси преобразуется в давление, которое в конце диффузора несколько превышает атмосферное, и смесь выталкивается наружу.

На фиг. 104 показана в увеличенном масштабе схема действия описываемого насоса. Отдельные пленки воды попадают в сопло и образуют как бы водяные поршни, проталкивающие к выходному отверстию порции воздуха из корпуса насоса, который соединен с полостью конденсатора.

Схема установки насоса Вестингауз-Леблана дана на фиг. 105. Бак с рабочей водой, как видно на этой схеме, расположен несколько ниже насоса. Вследствие существующего в насосе разрежения вода всасывается при работе в насос через сетку и обратный клапан. Из рабочего колеса вода попадает в сопло, захватывая по пути воздух, проходит в диффузор, из диффузора воздух удаляется наружу, а вода снова сливается в бак. Таким образом рабочая вода совершает непрерывный круговорот (бак — колесо — диффузор — бак), причем опыты над существующими установками



Фиг. 103. Воздушный насос Вестингауз-Леблана.

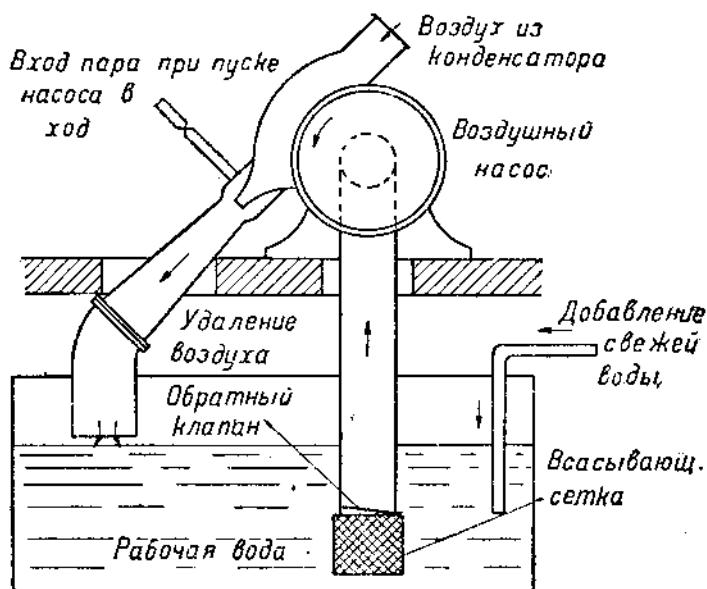
Фиг. 104. Схема работы насоса Вестингауз-Леблана.

показали, что вода нагревается при работе очень мало. Вследствие некоторого испарения воды все же время от времени требуется добавление свежей воды, для чего в бак имеется специальная подводка от трубопровода холодной воды.

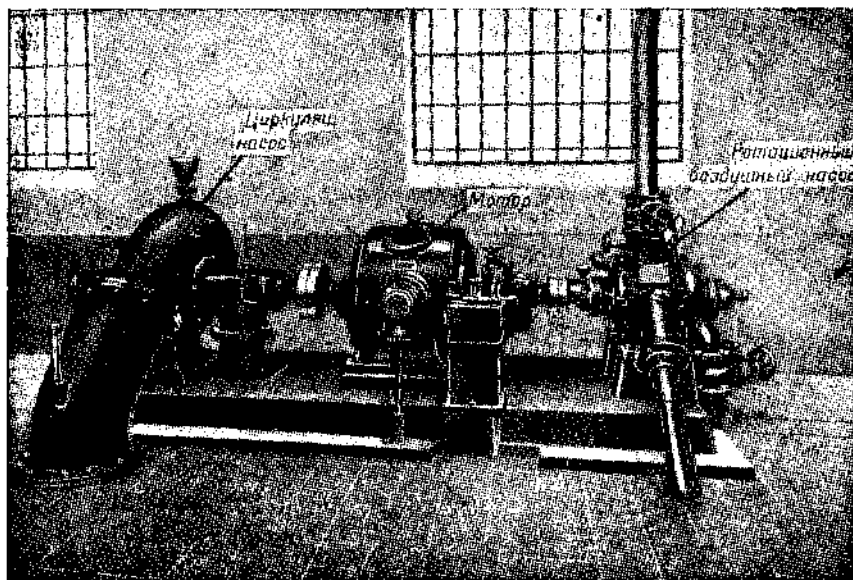
При пуске в ход наполненный воздухом насос не может создать столь большого разрежения, чтобы вода самостоятельно начала всасываться из колодца. Поэтому при пуске в ход необходимо либо залить насос и всасывающую трубу водой (как это делается у обыкновенных центробежных насосов, работающих со всасыванием), для чего предусматриваются специальная заливочная линия небольшого диаметра и обратный клапан на всасывающей трубе насоса, либо создать разрежение искусственно, впуская в начале работы в пусковой эжектор свежий пар, который своей скоростью захватывает находящийся в насосе воздух и таким образом создает разрежение, необходимое для самостоятельной работы насоса. Последним приемом большей частью и пользуются.

Пуск в ход описанного воздушного насоса необходимо производить медленно, для чего шиббер на всасывающей линии открывают постепенно, по мере создания в насосе разрежения, во избежание срыва насоса. Поэтому время, необходимое для создания при пуске в ход в конденсаторе вакуума (так называемого первоначального вакуума) при этих устройствах довольно значительно — в среднем 10 — 15 мин. Из-за медленности пуска в ход и возможности срыва насоса со всасыванием в работе

следует рекомендовать устанавливать насос таким образом, чтобы рабочая вода при-
текала к насосу самотеком, так как это дает воздушному насосу большую устойчи-
вость в работе.



Фиг. 105. Схема установки насоса Вестингауза-Леблана.

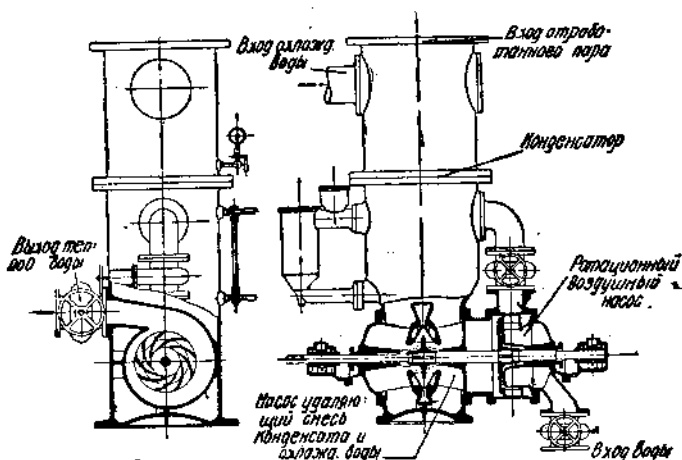


Фиг. 106. Общий вид конденсационных насосов, приводимых в движение с мотором вспомогательной паровой турбины.

Одно из достоинств воздушных насосов Вестингауз-Леблана — возможность непосредственно соединять их с электромоторами или паровыми турбинами, делающими большое число оборотов. Циркуляционный, конденсатный и воздушный насосы располагаются обычно на одном валу с электромотором и вместе представляют удобную, компактную установку. Общий вид подобной установки дан на фиг. 106.

Число оборотов рабочего колеса насоса в зависимости от его диаметра колеблется от 700 до 3 тыс. в 1 минуту.

Ротационные воздушные насосы получили распространение и в смешивающих конденсационных установках — там, где требуется глубокий вакуум и где мокровоздушные насосы, удаляющие из конденсатора воду и воздух, оказываются уже недостаточными.



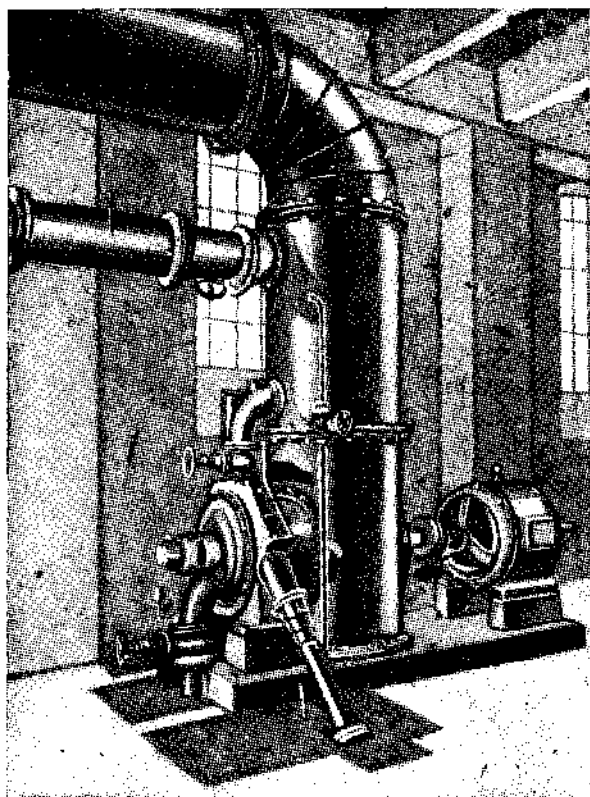
Фиг. 107. Смешивающая конденсационная установка Вестингауз-Леблан-Бальке.

На фиг. 107 дан пример конденсационной установки типа Вестингауз-Леблан-Бальке, весьма компактной, помощью которой может быть получен вакуум до 97—98%. Конденсатор здесь смешивающий. Отработавший пар подается в конденсатор сверху, встречает охлаждающую воду и, вместе с ней конденсируясь, стекает в нижнюю часть конденсатора. Посредством находящегося внизу центробежного насоса смесь охлаждающей воды и конденсата откачивается из конденсатора наружу. Воздух удаляется из полости конденсатора воздушным насосом Вестингауз-Леблана. Оба насоса — водяной и воздушный — располагаются на одном валу и приводятся в движение электромотором. Общий вид подобной установки представлен на фиг. 108.

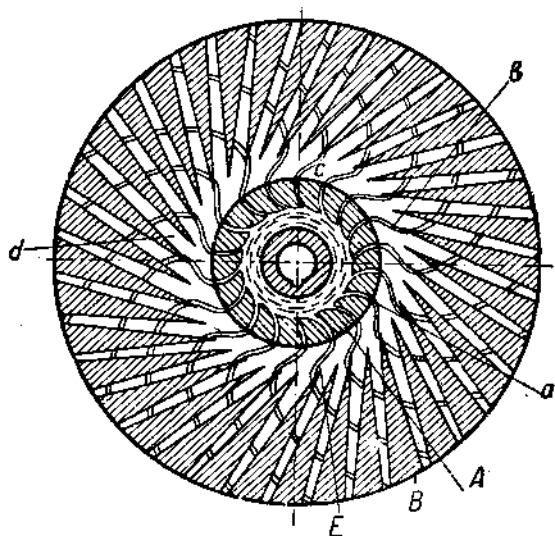
Насосом Вестингауз-Леблана удаляется воздух и из рассмотренного ранее смешивающего конденсатора по фиг. 64.

Ротационный воздушный насос АЕГ. По принципу работы насосы этого типа сходны с насосами Вестингауз-Леблана, отличаясь лишь своей конструкцией. Основными частями насоса АЕГ являются лопатное рабочее колесо и колесо направляющее, окружающее рабочее. Оба колеса обычно выполняются из бронзы. Рабочее колесо приводится во вращение электромотором, сидящим на одном с ним валу. Число оборотов в минуту рабочего колеса около 2 500.

Схема насоса АЕГ дана на фиг. 109. Лопатки *a* рабочего колеса *A* выполнены с сильным утолщением наружу. Проходное сечение каналов между лопатками не-



Фиг. 108. Общий вид смешивающей конденсационной установки Вестингауз-Леблан-Бальке.



Фиг. 109. Схема ротационного воздушного насоса АЕГ.

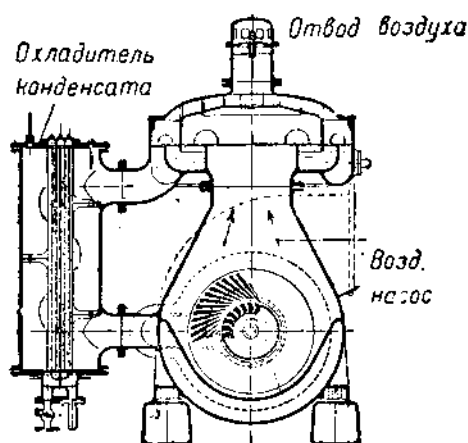
лико, вследствие чего при быстром вращении колеса вода выбрасывается из него не сплошной струей, а отдельными тонкими струйками с на некотором расстоянии одна от другой. Струйки эти, попадая в каналы направляющего колеса *B*, образуют в них подобие водяных поршеньков, между которыми захватывается воздух из кольцевого пространства *E*, окружающего рабочее колесо. Вследствие приобретенной в быстро вращающемся колесе скорости водяные поршеньки быстро движутся по каналам *d* направляющего колеса, где скорость постепенно теряется, а давление доводится до атмосферного, и вода с воздухом покидают насос. Конденсатный насос располагается обычно на одном валу с воздушным. Воздух и конденсат в установках АЕГ из конденсатора откачиваются сначала вместе и по общему трубопроводу большого диаметра подводятся к насосу. В корпусе насоса посредством специальной перегородки вода и воздух разделяются—вода всасывается конденсатным насосом, а воздух поступает в пространство *E* (фиг. 109) между колесами воздушного насоса. Рабочей жидкостью в воздушном насосе АЕГ является конденсат, непрерывно циркулирующий в системе насоса, так что работает все время одно и то же количество воды. Вода эта, проходя через насос, нагревается, поэтому прежде, чем вторично попасть в насос, она проходит через специальный охладитель.

На фиг. 110 дан разрез установки фирмы АЕГ для удаления воздуха. Смесь воды и воздуха из направляющего колеса попадает в верхнюю часть насоса, где воздух удаляется через особый воздушник в верхней крышке насоса, приподнимая легкий пластинчатый клапан, а вода направляется в трубчатый охладитель и из нижней части его в уже охлажденном состоянии снова подводится для работы к колесу воздушного насоса.

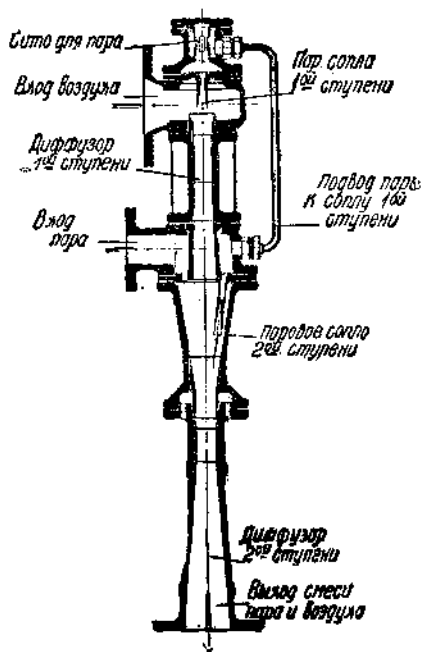
с) Пароструйные воздушные насосы (паровые эжекторы).

В современных паротурбинных установках с высоким вакуумом пароструйные приборы получают все большее и большее распространение в качестве устройств для удаления воздуха. Основные их достоинства — быстрое достижение начального вакуума (всего лишь в несколько минут) вследствие энергичного их действия, надежность в работе и компактность установки.

Действие пароструйных приборов основано на том же принципе, что и водоструйных эжекторов, только вместо струи воды здесь работает струя пара обычно довольно высокого давления — 8—10 ат и выше. Главной частью парового эжектора, как и водоструйного, является сопло. Пар подводится к соплу, расширяется, проходит через



Фиг. 110. Разрез установки для удаления воздуха фирмы АЕГ.



Фиг. 111. Двухступенчатый паровой эжектор в разрезе.

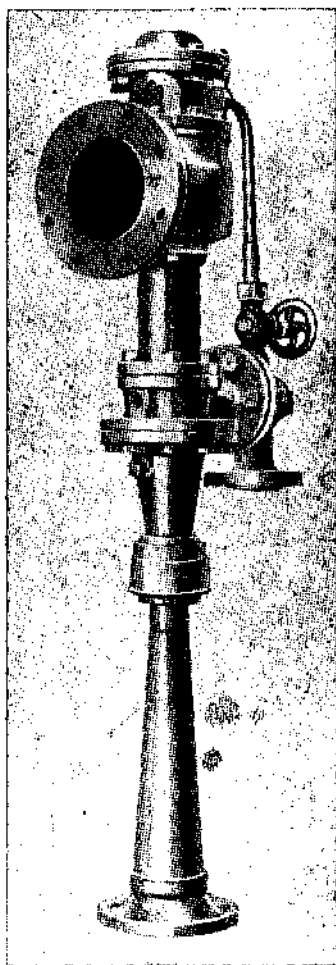
него, теряет свое давление (расширяясь почти до давления в конденсаторе) и одновременно приобретает большую скорость. Истекая из сопла со значительной скоростью, пар увлекает за собой воздух, находящийся в полости пароструйного аппарата, и поступающую сюда из пространства конденсатора смесь пара и воздуха. Попадая в диффузор, смесь теряет свою скорость (за счет чего повышается давление ее) и покидает эжектор, преодолевая атмосферное давление.

Повторяем, что принцип работы здесь тот же, что и у водоструйных эжекторов — увлечение воздуха в диффузор вместе с быстро движущейся струей пара, но разница в рабочих телах (там вода, а здесь пар) создает между ними лишь конструктивное отличие — именно в форме сопла. В водоструйных эжекторах сопло имеет постепенно

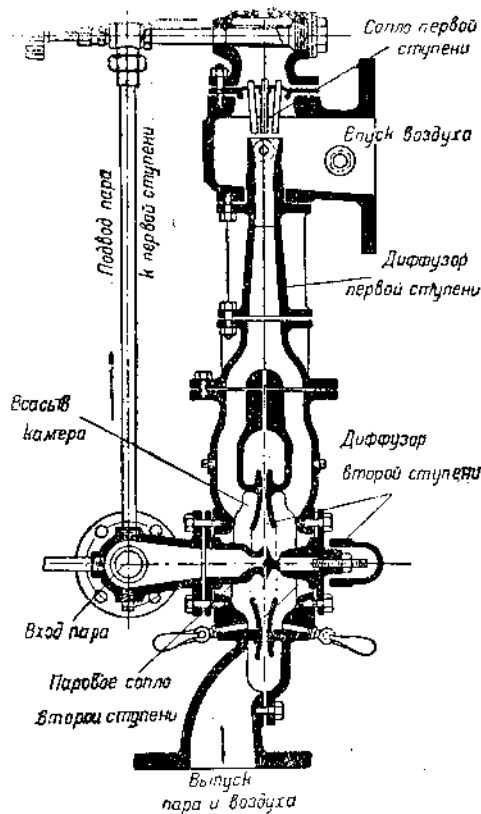
суживающуюся форму, а здесь — наоборот, расширяющуюся, чтобы создать увеличение скорости пара за счет падения давления его в сопле.

Описанный паровой эжектор называется одноступенчатым. Однако опыт применения таких эжекторов показал, что, работая вполне надежно, они не создают в конденсаторе глубокого вакуума. Для создания глубокого вакуума (выше 90%) приходится применять уже двухступенчатые паровые эжекторы.

В разрезе двухступенчатый паровой эжектор (в исполнении фирмы Бальке) представлен на фиг. 111. Состоит он из следующих составных частей: 1) парового расширяющегося сопла первой ступени, 2) диффузора первой ступени,



Фиг. 112. Общий вид двухступенчатого парового эжектора завода Бальке.

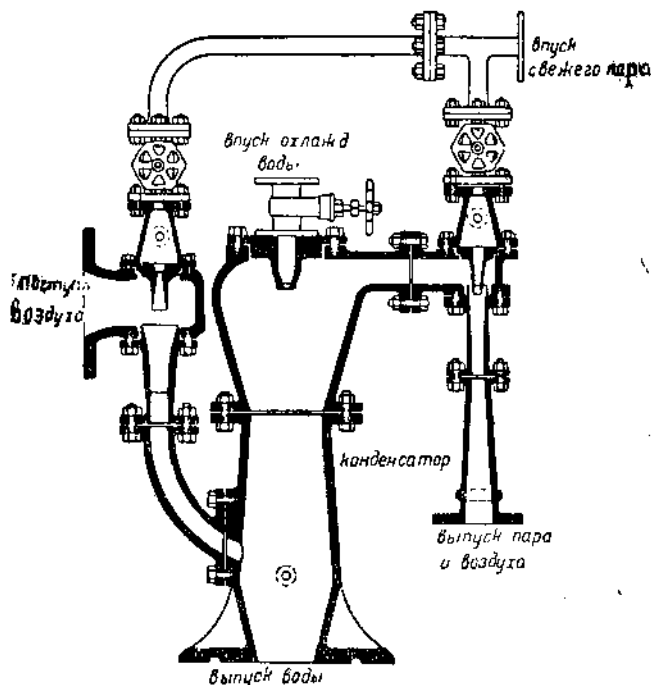


Фиг. 113. Двухступенчатый пароструйный эжектор „Радоже“.

3) группы паровых сопел второй ступени, 4) диффузора второй ступени. Пар с давлением 8—10 ат подводится к соплам как первой, так и второй ступени. Истекая из сопла первой ступени с большой скоростью, пар захватывает воздух и несконденсировавшийся пар, попадающий в полость эжектора из конденсатора. Смесь пара и воздуха вступает в диффузор первой ступени, где постепенно возрастает давление смеси, т. е. происходит сжатие пара с воздухом. Сжатая смесь пара и воздуха вступает во вторую сту-

пень устройства. Под действием пара, вытекающего с большой скоростью из сопел второй ступени, смесь гонится во второй диффузор и здесь снова энергично сжимается—давление смеси возрастает, и она выводится из эжектора наружу. Эжекторы подобного типа пригодны для получения очень глубоких вакуумов.

Общий вид двухступенчатого пароструйного эжектора завода Бальке показан на фиг. 112. Конструкций пароструйных эжекторов существует довольно много. Нами здесь будет рассмотрен еще один двухступенчатый эжектор—системы Радоже, по конструкции значительно отличающийся от эжектора Бальке.



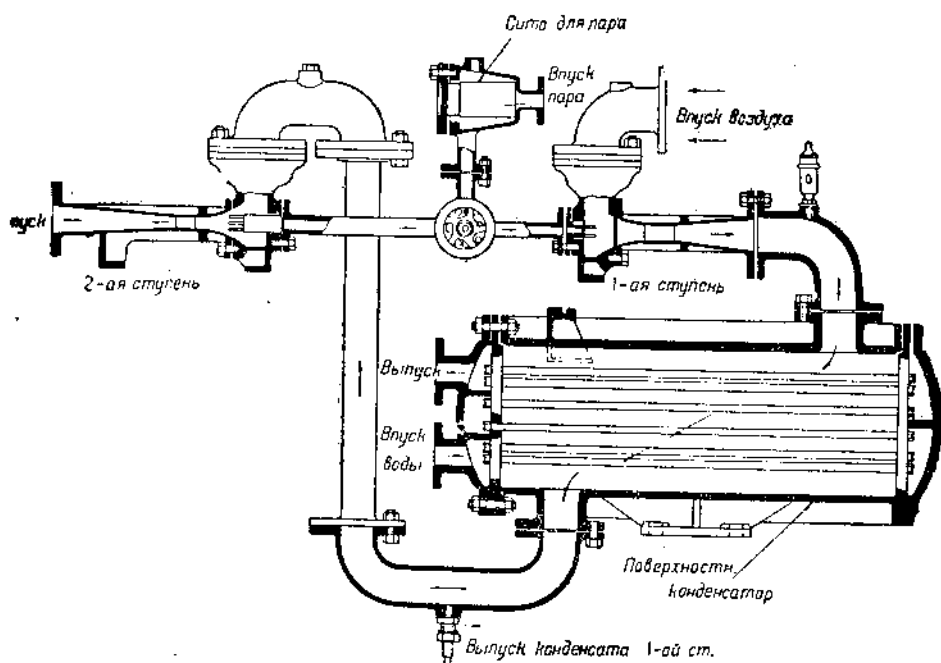
Фиг. 114. Двухступенчатый пароструйный эжектор с промежуточным вспыскивающим конденсатором.

В разрезе эжектор Радоже дан на фиг. 113. В основу устройства этого эжектора было положено стремление возможно увеличить площадь соприкосновения парового потока с отсасываемым воздухом. Пар входит сверху в первую ступень эжектора (фиг. 113), истекает из ряда небольших расширяющихся сопел и захватывает с собой воздух. Смесь пара и воздуха отводится в диффузор первой ступени и далее попадает во всасывающую камеру второй ступени, окружающую диффузор второй ступени. Рабочий пар, подводящийся ко второй ступени, истекая из сопла в виде дискообразного потока, имеющего большую поверхность, захватывает смесь пара и воздуха первой ступени из всасывающей камеры и сжимает ее до атмосферного давления в диффузоре второй ступени, образованном двумя дисками, после чего смесь попадает в выпускной патрубок. Диффузоры и сопла выполняются из бронзы, а сопло второй ступени — из монель-металла. Корпус эжектора отливается из чугуна.

В рассмотренных нами двухступенчатых эжекторах во второй ступени вместе с воздухом приходится сжимать и пар первой ступени, на что тратится значительная доля энергии, и вторая ступень получается больших размеров. В настоящее

время применяются также двухступенчатые пароструйные эжекторы с промежуточными конденсаторами между первой и второй ступенями. Назначение промежуточного конденсатора — сконденсировать пар, выходящий из диффузора первой ступени; чтобы во второй ступени подвергать сжатию только воздух. Конденсаторы применяются для этой цели либо впрыскивающие (дающие меньший расход воды), либо поверхностные.

На фиг. 114 представлен двухступенчатый пароструйный аппарат с впрыскивающим промежуточным конденсатором системы Мирлис. Здесь смесь пара и воздуха из диффузора первой ступени поступает в конденсатор — промежуточный резервуар, куда впрыскивается охлаждающая вода. Соприкасаясь с частицами холодной



Фиг. 115. Двухступенчатый пароструйный эжектор с промежуточным поверхностным конденсатором.

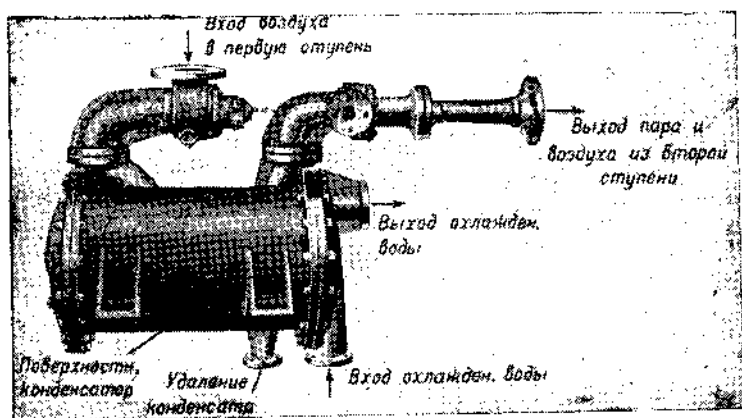
воды, пар конденсируется и вместе с водой стекает в нижнюю часть промежуточного конденсатора, откуда и удаляется, а воздух из верхней части конденсатора засасывается паром из сопла второй ступени, и уже эта смесь воздуха и пара гонится через диффузор наружу.

Достоинство описанной конструкции в том, что вторая ступень эжектора имеет небольшие размеры, так как не приходится вторично сжимать пар первой ступени, ибо он конденсируется, да и объем воздуха уменьшается при охлаждении от соприкосновения с холодной водой.

Схема установки двухступенчатого парового эжектора с поверхностным конденсатором (системы Вира) представлена на фиг. 115. Пар из паровой линии, проходя через паровое сито (фильтр), подводится к соплам первой и второй ступеней эжектора. Полость первой ступени эжектора сообщается с внутренним пространством конденсатора. Смесь пара и воздуха с большой скоростью поступает в диффузор первой ступени, где сжимается и попадает далее в конденсатор. Встречая охлаждающие трубки

конденсатора (по которым прокачивается вода), пар конденсируется, а воздух, увлеченный сюда вместе с паром, охлаждается и несколько сжимается. Помощью парового сопла второй ступени воздух непрерывно отсасывается из полости промежуточного конденсатора во вторую ступень эжектора и вместе с паром выводится наружу через диффузор.

Фиг. 116 дает внешний вид установки пароструйного эжектора с промежуточным поверхностным конденсатором в исполнении фирмы Бальке. Установка получается несколько более громоздкой по сравнению со смешивающим конденсатором, и расход воды на охлаждение пара в ней больше. Но для охлаждения пара в поверхностном конденсаторе может быть применена любая вода, тогда как во вспрскивающем конденсаторе, если хотят утилизировать конденсат на питание котлов, нужно вспрскивать абсолютно чистую воду.



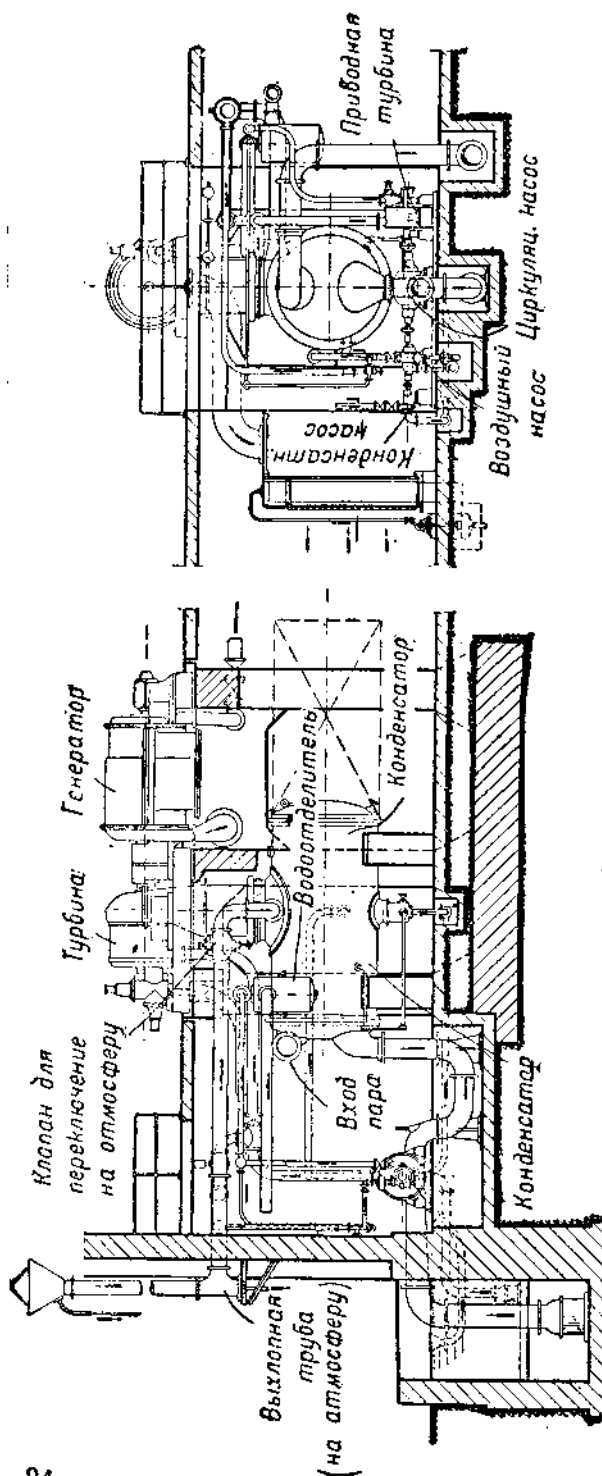
Фиг. 116. Внешний вид двухступенчатого пароструйного эжектора с поверхностным конденсатором в исполнении завода Бальке.

Что касается расхода пара на действие парового эжектора, то можно считать, что в среднем на 1 кг удаляемого из конденсатора воздуха затрачивается 10 кг пара. От общего расхода пара турбиной расход пара на эжектор составляет около 1%, причем двухступенчатые эжекторы берут пара несколько меньше, а одноступенчатые — больше.

Заканчивая на этом рассмотрение воздухоудаляющих устройств, следует сказать еще несколько слов о том, какие же из них являются более предпочтительными в современных условиях.

Отметим, что при выборе того или иного воздухоудаляющего устройства (например водоструйный эжектор, ротационный насос Леблана и т. д.) исходят из соображений условий эксплуатации, надежности работы, располагаемого места и, наконец, экономичности. В большинстве случаев оказываются предпочтительными пароструйные эжекторы, которые и получают в настоящее время все большее распространение.

Пароструйные эжекторы, как можно видеть из приведенного выше их описания, просты по устройству и поэтому дешевы, занимают минимум места и, как показал опыт, вполне надежны в эксплуатации. Правда, они, как указывалось, расходуют довольно много пара, но при этом нужно учитывать, что на приведение в движение других воздухоудаляющих устройств или на подачу воды к ним необходима затрата энергии (на моторы насосов), чего в пароструйных аппаратах совсем нет. Кроме того,



Фиг. 117. Поверхностная конденсационная установка современной паровой турбины в исполнении завода Бальке.

при сравнении должны быть учтены также более высокая стоимость установки, расходы на ремонт и масло в устройствах, например, типа Вестингауз-Леблана.

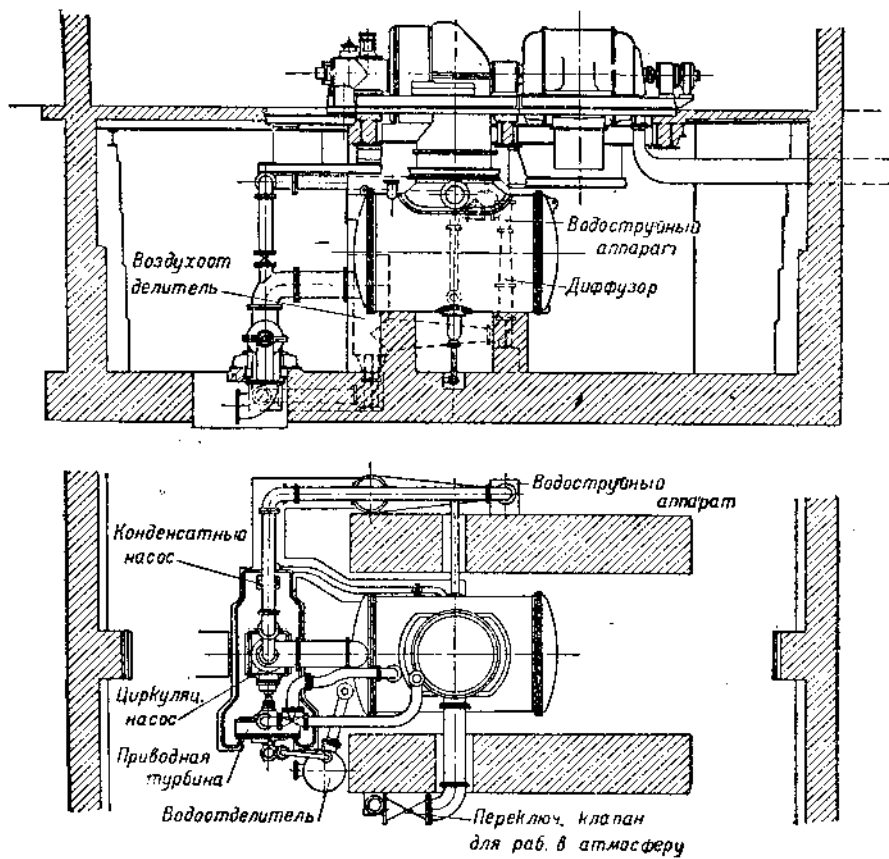
Относительно выбора типа пароструйного прибора нужно сказать, что там, где дорожат местом и где есть возможность использовать отработавший пар эжектора на какие-либо другие нужды, обычно предпочитают пароструйные эжекторы без промежуточного конденсатора. При невозможности использовать этот пар предпочтительнее эжектор с промежуточным конденсатором как более экономичный.

22. Общее расположение поверхностных конденсационных установок.

Чтобы дать понятие о взаимном расположении отдельных частей конденсационной установки поверхностного типа, ниже даются схемы установок турбин с поверхностными конденсаторами, необходимыми насосами и трубопроводами.

На фиг. 117 дана схема поверхностной конденсационной установки турбины средней мощности в исполнении фирмы Бальке. Турбина здесь может работать с конденсацией и без конденсации. Для работы на выхлоп (без конденсации) имеется специальный трубопровод от горловины конденсатора, ведущий в атмосферу.

Конструкция конденсатора была нами рассмотрена выше (фиг. 82). Охлаждающая вода подается циркуляционным центробежным насосом, всасывающим воду из водоема. Воздух удаляется водоуплочным насосом типа Вестингауз-Леблана. Конденсатный насос, тоже центробежный, откачивает конденсат из сборника (в нижней части конденсатора) и подает его в котельную. Вся группа насосов расположена на одном валу и приводится в движение паровой турбиной.



Фиг. 118. Поверхностная конденсационная установка завода Крупп.

На фиг. 118 дана схема конденсационной установки в исполнении фирмы Крупп. Подача охлаждающей воды здесь производится центробежным насосом, откачивание конденсата — центробежным насосом, отсос воздуха из конденсатора — помощью водоструйного эжектора, рабочая вода к которому подводится под давлением от циркуляционного насоса (от трубопровода охлаждающей воды между насосом и конденсатором имеется ответвление к водоструйному аппарату). Циркуляционный и конденсатный насосы приводятся в движение паровой турбиной, сидящей с ними на одном валу. Общий вид установки паровой турбины с поверхностной конденсацией дан на фиг. 119.

23. Неисправности в работе поверхностных конденсационных установок.

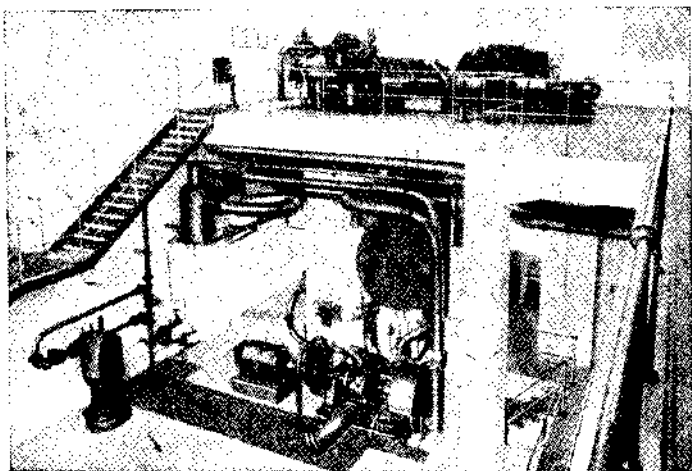
Наиболее часто встречающимися неисправностями, с которыми приходится иметь дело при эксплуатации поверхностной конденсационной установки, обычно являются:

а) ухудшение нормального для данной установки вакуума,

б) затопление конденсатора водой,

с) ухудшение качества конденсата.

Рассмотрим эти обстоятельства в отдельности, причем укажем наиболее вероятные причины возникновения той или иной неисправности, меры к ее распознаванию и устранению.



Фиг. 119. Общий вид установки паровой турбины с поверхностной конденсацией.

а) Ухудшение вакуума.

Следует различать внезапное ухудшение (падение) вакуума во время работы установки и ухудшение постепенное. Внезапное ухудшение обычно вызывается срывом или неисправностью воздушного насоса или же неисправностью циркуляционного насоса. В первом случае вакуум ухудшается из-за недостаточного удаления воздуха из полости конденсатора или совершенно прекращении его удаления. Во втором случае — вследствие неподачи насосом охлаждающей воды или подачи ее в количестве, совершенно недостаточном для данной установки. Причины внезапного падения вакуума легко обнаружить, а стало быть и принять необходимые меры к восстановлению нормальной работы установки.

Постепенное ухудшение вакуума может быть обусловлено целым рядом причин, трудно поддающихся определению. Ниже разбираются основные причины ухудшения вакуума с указанием мер, которые нужно принять для устранения неисправности.

Загрязнение трубок конденсатора. Одной из часто наблюдаемых причин постепенного ухудшения вакуума является загрязнение охлаждающих трубок конденсатора. Загрязнение обычно получается с внутренней стороны трубок. Подаваемая в конденсатор охлаждающая вода, даже в случае предварительной ее фильтрации, все же еще загрязнена. Поэтому с течением времени внутри тру-

бок образуются отложения (слизистые или твердого характера — в зависимости от качества воды). Как показал опыт, по мере загрязнения конденсатора достигаемый вакуум ухудшается, так как передача тепла (от конденсируемого пара к воде) идет через загрязненные трубки хуже, чем через чистые. Протекая по трубкам, вода не успевает отнять от пара необходимого количества тепла, и вакуум в конденсаторе ухудшается.

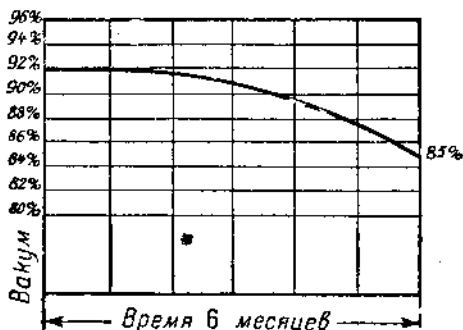
В качестве иллюстрации, как падает вакуум по мере загрязнения трубок, на фиг. 120 приведен график, составленный в результате шестимесячного наблюдения за работой одного конденсатора. За этот срок, как видно по графику, вакуум вследствие загрязнения трубок ухудшился с 92 до 85%, причем охлаждающая вода не была особенно плохой. Данные этого графика, понятно, нельзя рассматривать, как пригодные для любой установки, ибо падение вакуума зависит от величины слоя и характера загрязнений, которые в свою очередь зависят от качества подаваемой воды (жесткая, мягкая и т. п.) и других факторов.

Практически загрязненность трубок познается по разности между температурой отработавшего пара и температурой охлаждающей воды при выходе ее из конденсатора. При наличии загрязнений эта разность выше нормальной величины для данной установки. Так как понижению вакуума обычно соответствует увеличивающийся расход пара, то если наблюдается увеличение указанной разности температур против нормальной, в интересах экономичности работы

установки следует осмотреть сливочные лючки в днищах конденсатора его загрязненность и при первой возможности очистить конденсатор (о методах чистки конденсатора см. ниже). Если качество воды, с которой приходится работать, не меняется резко, то обычно в результате опыта в каждом отдельном случае устанавливаются сроки для очистки.

Ухудшение вакуума вследствие присоса воздуха в турбину. Если в турбину вследствие неплотностей (например, в уплотнениях вала) проникает воздух, то он будет поступать вместе с паром в конденсатор и ухудшать существующий там вакуум. Наличие присоса воздуха в турбину можно установить потому, что температура отработавшего пара перед конденсатором в этом случае меньше температуры, соответствующей его измеренному давлению (см. таблицу на стр. 5). Наиболее вероятен присос воздуха вследствие неудовлетворительной работы уплотнений вала. Если сальники работают с паровым уплотнением, надо проверить — достаточно ли подается к ним пара и в случае надобности подрегулировать количество пара, подающееся к сальникам.

Ухудшение вакуума вследствие присоса воздуха в пределах конденсационной установки. Присос воздуха в конденсатор узнается по увеличению переохлаждения конденсата по сравнению с нормальной для данной установки его величиной (т. е. по увеличению разности между температурой пара при конденсации и температурой конденсата). Но мало знать, что существует присос воздуха, т. е. неплотность в конденсационном устройстве. Чтобы устранить неисправность, надо знать, в каком месте конденсационного устройства находится эта неплотность, и лишь тогда можно принять меры к ее ликвидации.



Фиг. 120. График падения вакуума в зависимости от загрязнения поверхностного конденсатора.

Нужно отметить, что определение того места установки, где имеется неплотность. — работа довольно кропотливая, так как самые незаметные на-глаз неплотности могут служить причиной присоса воздуха.

Обычный способ обнаружения неплотностей заключается в том, что ко всем фланцам и стыкам работающей установки подносят горящую свечу и по отклонению пламени судят о засасывании воздуха (в неплотных местах пламя будет втягиваться). Вообще же для установления неплотностей нужно проделать следующее.

Если между турбиной и конденсатором имеется телескопическое уплотнение, следует проверить, достаточно ли воды в тарелке между турбиной и конденсатором. Если воды недостаточно, прибавить количество уплотняющей воды настолько, чтобы она непрерывно стекала из сливной трубы в небольшом количестве. При большом расходе воды на уплотнение — подтянуть сальник. Проверить плотность фланцев всех труб, находящихся под разрежением. Если неплотность обнаружена, подтянуть болты фланцевых соединений. Если же и после этого неплотность останется, при первой возможности сменить фланцевые прокладки. Проверить плотность сальников задвижек, подтянуть сальники, в случае необходимости — перебить или сменить набивку. Проверить плотность клапана, переключающего турбину на выход. Осмотреть клапан. В случае необходимости — притереть или произвести какой-либо другой ремонт.

Ухудшение вакуума вследствие несправной работы воздушного насоса. Если воздушный насос плохо работает, т. е. плохо удаляет воздух, вакуум, естественно, ухудшается, так как количество воздуха, находящегося в конденсаторе, становится больше нормального. При водоструйных воздушных насосах (эжекторах) ухудшение их работы обычно вызывается загрязнением аппарата, уменьшением напора или количества подаваемой рабочей воды вследствие низкого уровня воды в напорном баке или неисправности насоса, подающего воду к эжектору.

При загрязнении аппарат следует очистить. Если немедленная остановка аппарата на тщательную чистку невозможна, опыт показал, что делу можно помочь быстрым закрытием и затем открытием вентиля на нагнетательном патрубке насоса, подающего в водоструйный аппарат воду под давлением. В большинстве случаев загрязнения сопел и диффузора эжектора бывают растительного характера (слизь и пр.), поэтому в круговороте воды в аппарате, получающемся при быстром закрытии задвижки, они размываются, смылаются со стенок, и при последующем открытии задвижки устройство начинает работать лучше. Если быстрого закрытия и затем открытия задвижки оказывается недостаточно, эту операцию производят несколько раз под ряд, пока не добьются улучшения работы водоструйного аппарата. Так как открывание и закрывание задвижки происходит быстро одно за другим и нарушение работы аппарата допускается на очень недолгое время, то на ухудшении вакуума это отзывается очень мало, и так как вслед за тем аппарат обычно начинает работать лучше, то нормальный вакуум в конденсаторе без труда быстро восстанавливается. Следует также проверить уровень воды в баке, если вода к водоструйному аппарату подается под напором из бака, установленного на верху помещения. При низком уровне напор ухудшается и снижается интенсивность работы водоструйного аппарата.

При воздушных насосах типа Вестингауз-Ледлана следует при ухудшении работы насоса проверить, не засорен ли всасывающий клапан воздушного насоса или колесо. В зависимости от проверки вскрывают насос и чистят клапан, направляющий аппарат или рабочее колесо от загрязнений.

Ухудшение вакуума вследствие недостаточного количества подаваемой воды. Если количество подаваемой воды на охлаждение воды недостаточно (меньше нормального), температура в конденсаторе уве-

личивается, а вакуум ухудшается. При этом температура охлаждающей воды, выходящей из конденсатора, повышается, а разность между температурой уходящей воды и температурой отработавшего пара остается нормальной. Недостаток в охлаждающей воде обычно вызывается неисправностью циркуляционного насоса, засоренностью всасывающего клапана или воздушной неплотностью трубопровода. Место попадания воздуха во всасывающий трубопровод должно быть установлено и неплотность ликвидирована.

в) Затопление конденсатора водой.

Затопление конденсатора водой характеризуется тем, что уровень конденсата в нижней части конденсатора начинает повышаться, о чем можно судить по специальному водомерному стеклу. Вызывается затопление конденсатора во время работы следующими причинами:

1. Неисправен насос, откачивающий конденсат, вследствие чего он уменьшает подачу.
2. Существует неплотность во всасывающем трубопроводе конденсатного насоса.
3. Через сальники насоса проникает в полость насоса воздух (неплотность сальников).
4. Охлаждающая вода попадает в паровую полость конденсатора (например через лопнувшую охлаждающую трубку).

Поэтому в случае затруднения с откачиванием конденсата необходимо проверить на плотность трубопровод конденсатного насоса, а также, достаточно ли уплотнены сальники. Нужно отметить, что затруднение с откачиванием конденсата влияет также и на вакуум, который ухудшается при ненормальной работе конденсатного насоса.

Попадание охлаждающей воды в конденсатор скажется ухудшением качества конденсата. Если вода проникает в значительном количестве и конденсатный насос оказывается не в состоянии справиться с ее откачиванием, уровень воды в конденсаторе все увеличивается и его начинает «затоплять». Нужно вскрыть конденсатор и найти место течи. Если в этом виною лопнувшие трубки, их надо сменить или временно заглушить с обоих концов. Если вода проникает в паровое пространство конденсатора через неплотности в сальниках, их нужно поджать так, чтобы течь прекратилась, или же в случае необходимости сменить испортившуюся от времени набивку.

с) Ухудшение качества конденсата.

Возвращение в котлы достаточно хорошего конденсата является одним из требований, предъявляемых к современной поверхностной конденсационной установке. Отсюда, естественно, вытекает необходимость следить за качеством получающегося конденсата. Теоретически в результате конденсации отработавшего пара турбины мы должны были бы получить из поверхностного конденсатора химически чистый конденсат, свободный от каких бы то ни было примесей¹. Практически же вследствие существования водяной неплотности и проникновения в паровое пространство охлаждающей воды конденсат не получается абсолютно чистым, и качество его зависит от совершенства установки и состояния ее в эксплуатации. На обязанности эксплуатационного персонала установки лежит лишь необходимость не допускать ухудшения нормального качества конденсата, даваемого той или иной установкой.

¹ За исключением, правда, некоторого количества воздуха, попадающего вместе с паром или через неплотности в полость конденсатора и загрязняющего конденсат.

Ухудшение качеств конденсата обычно вызывается увеличившейся водяной неплотностью конденсатора вследствие, например, порчи уплотняющих сальников, трубок или появившейся течи труб. Тогда в паровое пространство конденсатора проникает в значительном количестве охлаждающая вода и, примешиваясь к конденсату, ухудшает его качество. Количество проникающей в конденсатор воды (водяная неплотность конденсатора) определяется обычно химическим анализом конденсата, посредством которого можно установить (по содержанию в конденсате солей и других веществ) примерное количество попадающей воды. Если очередным анализом установлено, что качество конденсата хуже нормального, следует принять меры к улучшению водяной плотности: осмотреть и уплотнить в случае необходимости сальники, ликвидировать возможные течи в трубках. Для определения неплотных мест пользуются следующим методом: паровую часть конденсатора наполняют водой и через открытые люки и крышки наблюдают за местами просачивания воды.

24. Чистка конденсатора.

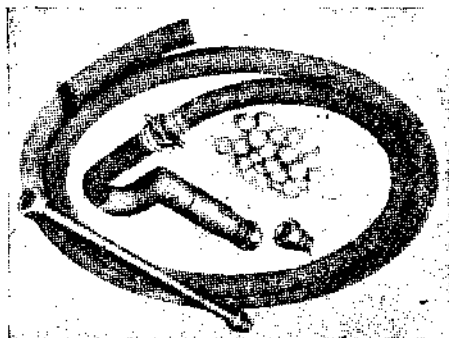
Содержание охлаждающих трубок в чистоте — весьма важное условие хорошей работы конденсатора. Выше уже указывалось, что с загрязнением трубок ухудшается теплопередача, а вместе с тем ухудшается и вакуум.

Как показал многолетний эксплуатационный опыт, фильтрация охлаждающей воды до ее поступления в конденсатор далеко не является радикальным средством, так как внутренность труб при нагревании протекающей через них воды все равно покрывается отложениями и слизью, и эти отложения приходится периодически удалять, т. е. производить чистку конденсатора. Длительность периода работы, после которого следует производить чистку, точно установить невозможно, так как это зависит от свойств охлаждающей воды, а также и от других причин.

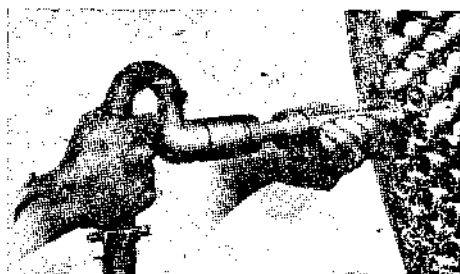
В практике в настоящее время для чистки трубок пользуются следующими способами:

а) Механические способы очистки.

1. Через трубки с помощью сжатого воздуха или струей воды под давлением прогоняются резиновые цилиндрики или шарики, хорошо пригнанные по размерам трубок. На фиг. 121 показан набор приспособлений для чистки трубок¹ указанным спо-



Фиг. 121. Приспособления для чистки охлаждающих трубок поверхностного конденсатора.



Фиг. 122. Чистка охлаждающих трубок резиновыми шариками.

собом, а на фиг. 122 — очистительный аппарат в действии. Вставленные в отверстия труб шарики прогоняются здесь давлением струи воды, вытекающей из аппарата.

¹ Фирмы Броун-Бовери.

2. Внутренняя поверхность трубок очищается проволочными щетками или ершами.

3. Трубки продуваются струей песка с воздухом помощью специального прибора.

4. Трубки ополаскиваются сильной струей воды, вводимой под давлением около 12 ат через особые стационарные приборы.

в) Химические способы.

5. При воде, дающей слизистые отложения, применяется чистка раствором каустической соды. Способ чистки таков: в водяную камеру вводится известное количество соды, после чего конденсатор (камеры и трубки) наполняется водой, которая паром низкого давления доводится до температуры кипения или градусов до 65 — в зависимости от конструкции закрепления трубок. Пар вводится с каждого конца конденсатора через особые присоединения небольшого диаметра.

6. При жесткой охлаждающей воде и отложении твердых осадков пропускают через трубки слабый раствор соляной кислоты (от 3 до 10%), после чего трубки тщательно прополаскивают.

Наиболее быстрыми из указанных способов являются способы химические и ополаскивание труб струей воды под давлением, но наиболее действительными является очистка ершами или струей песка. Неудобство последних способов заключается в том, что они требуют вывода конденсатора из эксплуатации на довольно продолжительное время (несколько дней), что неудобно для станций, имеющих крупные агрегаты, находящиеся в непрерывной работе. Заметим еще, что при недостаточно умелом обращении продувка песком ведет к быстрому износу трубок.

25. Уход за поверхностной конденсационной установкой¹.

Ниже даются основные правила ухода применительно к конденсационной установке, имеющей центробежные циркуляционный и конденсатный насосы, воздушный насос, работающий помощью воды (типа Леблана или водоструйный эжектор) и приводившийся в движение помощью вспомогательной паровой турбины.

а) До пуска в ход.

1. Осмотреть, достаточно ли масла в подшипниках насосов.

2. Убедиться в том, что выпускная труба насосной турбины открыта.

3. Открыть дренаж насосной турбины и продуть подводящую паровую линию.

4. Открыть задвижку на всасывающей линии насоса охлаждающей воды.

5. Заполнить водой всасывающую линию насоса для охлаждающей воды и самый насос через его напорную линию. При отсутствии на всасывающей линии циркуляционного насоса обратного клапана подсосать воду, пустив специальный паровой эжектор так, чтобы корпус насоса заполнился водой.

б) Пуск в ход.

6. Открыть задвижку на напорной линии конденсатного насоса.

7. Медленно открыть пусковой клапан турбины. Когда турбина начнет вращаться, несколько прогреть ее и затем довести до нормального числа оборотов.

8. Медленно открыть задвижки на напорных линиях рабочей воды воздушного и циркуляционного насосов.

9. Закрыть дренаж турбины.

10. Закрыть воду, открытую ранее для заливки циркуляционного насоса, когда он начнет подавать воду.

¹ Составлено в соответствии с правилами эксплуатации турбогенераторов, утвержденными президиумом Бюро всесоюзных теплотехнических съездов 17 апреля 1928 г.

с) Работа.

11. Следить, чтобы в подшипниках всегда было масло в необходимом количестве и чтобы температура подшипников во время работы не была выше 90°C (в установках водяного охлаждения масла и подшипников).

12. Следить за сальниками циркуляционного и конденсатного насосов — они должны пропускать некоторое количество воды во избежание подсоса воздуха и срыва работы насосов. В случае необходимости подтянуть сальники, но следить, чтобы они не перегревались.

13. Если выхлопной втулкер турбины имеет водяное уплотнение, следить, чтобы из спускной трубы уплотнения всегда в небольшом количестве стекала вода.

14. Следить за уровнем воды в конденсаторе по водомерному стеклу.

15. Регулярно вести запись: температур входящей и выходящей циркуляционной воды, конденсата и т. д.

д) Остановка.

16. Полностью закрыть вентиль на напорной линии циркуляционного насоса и на подающей линии рабочей воды к воздушному насосу.

17. Остановить паровую турбину, закрыв пусковой вентиль. Когда турбина остановится, закрыть выхлопной вентиль и открыть дренаж турбины.

18. Закрыть задвижку на напорной линии конденсата.

е) Во время остановки турбины.

19. В периоды стоянки турбины регулярно следить за чистотой трубок конденсатора (через специальные люки) и по мере надобности чистить конденсатор.

20. Подшипники конденсационных насосов промывать не реже одного раза в месяц и заполнять их свежим маслом.

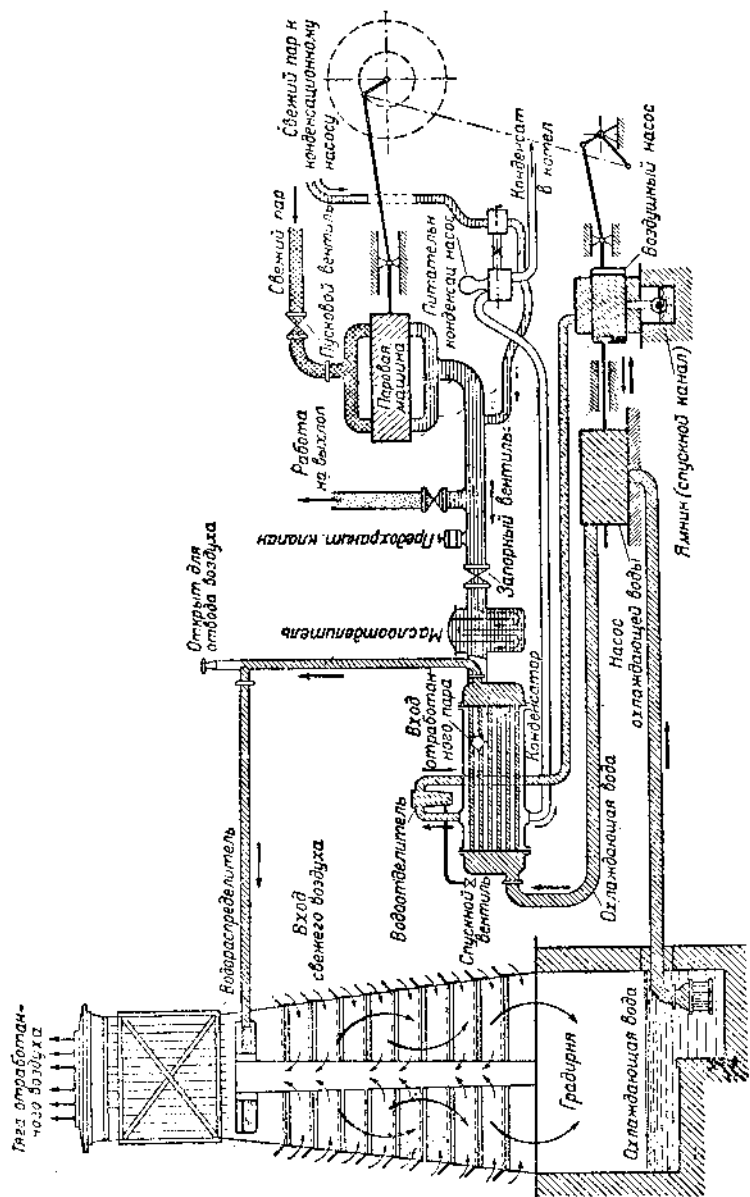
26. Поверхностная конденсация паровых поршневых машин.

Поршневые паровые машины, как нами уже указывалось, в большинстве случаев имеют смешивающую конденсацию. Причиной этого являются надобность в сравнительно неглубоком вакууме, дешевизна смешивающей конденсационной установки и простота ухода за ней, а также отсутствие острой надобности в использовании конденсата. Однако в случае необходимости сохранить конденсат для вторичного его использования паровые поршневые машины, как и турбины, также иногда снабжаются поверхностной конденсацией. Для примера на фиг. 123 дана схема конденсационной установки поршневой машины с поверхностной конденсацией. Отработавший пар из цилиндра машины по трубопроводу поступает в поверхностный конденсатор и, соприкасаясь с охлаждающими трубками, конденсируется. Конденсат из нижней части конденсатора откачивается паровым поршневым насосом (типа Вортингтона); циркуляционный и воздушный насосы — тоже поршневые и приводятся в движение от кривошипа машины посредством системы тяг. Нагретая охлаждающая вода поступает в сооружение для охлаждения воды — градирню (об устройстве градирни см. ниже), откуда в охлажденном состоянии вторично подводится к циркуляционному насосу.

Существенный недостаток конденсата паровой поршневой машины — содержание в нем масла вследствие того, что стенки цилиндра машины смазываются маслом. Масло же, попадая вместе с конденсатом в паровые котлы, отлагается на их стенках, ухудшает теплопередачу (от горячих тоночных газов к воде котлов) и может быть даже причиной аварий котлов. Поэтому прежде чем использовать конденсат на питание котлов, его необходимо очистить от масла. Необходимость иметь в установках с паровыми машинами маслоочистительные аппараты усложняет использование конденсата. Кроме того, необходимо отметить, что полного очищения от масла достигнуть невоз-

можно. Это значительно снижает качество конденсата, даваемого паровыми поршневыми машинами.

Обезопасить котлы от проникновения в них вместе с конденсатом масла можно в общем двумя путями: либо очищая от масла отработавший пар до его поступления в конденсатор, либо очищая от масла конденсат после его выхода из конденсатора. Предпочтение следует отдать очистке от масла пара, имея в виду, что освободить

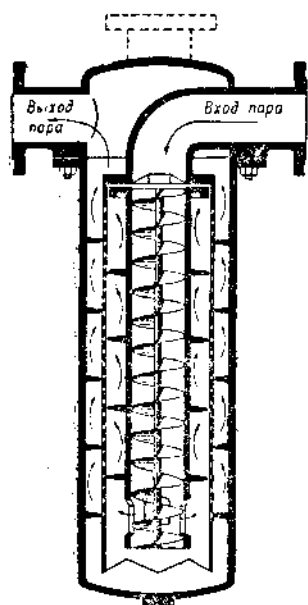


Фиг. 123. Схема поверхностной конденсационной установки паровой поршневой машины.

пар от масла легче, чем воду¹, а также и потому, что, отделяя масло до поступления пара в конденсатор, предупреждают загрязнение маслом трубок поверхностного конденсатора. Устройства, помощью которых удаляют масло из пара или воды, называются маслоотделителями². Ниже рассматриваются несколько конструкций маслоотделителей, часто применяющихся в практике.

а) Паровые маслоотделители.

Устанавливаются паровые маслоотделители на выпускной трубе между машиной и конденсатором (фиг. 123). Так как при постановке промежуточного прибора на выпускной трубе увеличивается сопротивление для прохода пара из машины в конденсатор, размеры маслоотделителя обычно выбирают такие, чтобы его свободное сечение равнялось бы по крайней мере площади поперечного сечения выпускного паропровода. Помимо указанных уже преимуществ паровых маслоотделителей, здесь нужно указать еще на одно, а именно — они дают возможность собрать масло и после соответствующей очистки вновь его использовать. Конструкций паровых маслоотделителей существует довольно много, но по принципу работы следует различать два их типа: маслоотделители центробежные и ударные.



Фиг. 124. Центробежный маслоотделитель в разрезе.

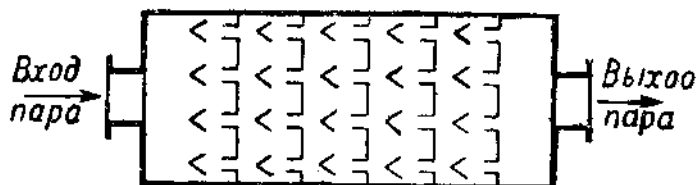
Паровой центробежный маслоотделитель показан на фиг. 124. Он представляет собой чугунный цилиндрический корпус, устанавливаемый на выпускном паропроводе вертикально (как показано на фиг. 124). Отрабатанный пар из машины вместе с заключающимся в нем маслом поступает в маслоотделитель по патрубку справа (в верхней части маслоотделителя) и движется в вертикальном направлении вниз, по специальной трубе внутри корпуса. Благодаря винтовой пластинке, вставленной в эту трубу, пар получает еще и вращательное движение. Под действием возникающей при вращательном движении пара центробежной силы частицы масла как более тяжелые отбрасываются к стенкам трубы и стекают вниз. По выходе из центральной трубы (в нижней части маслоотделителя) пар, поднимаясь вверх, встречает на своем пути горизонтальные перегородки, которые заставляют его проходить через отверстия в цилиндрическом кожухе, выполненном наподобие сетки. Двигаясь, пар многократно меняет свое направление, причем от него отделяются остальные частицы масла, так как силы инерции частиц масла, более тяжелых, чем пар, препятствуют маслу двигаться вверх вместе с паром. Масло при этом задерживается на стенках кожуха и стекает вниз, откуда удаляется вместе с образовавшейся здесь конденсационной водой помощью автоматически работающего отводчика.

Схема ударного парового маслоотделителя в разрезе дана на фиг. 125. Он представляет собой сосуд, внутри которого расположены в соответствующем порядке ряды полос из углового и таврового железа. Отрабатанный пар вместе с маслом входит по патрубку слева, а уходит через правый патрубок. Вступая в такой маслоотде-

¹ Так как масло, смешиваясь с водой, частично переходит в эмульсию, весьма трудно удаляемую.

² Маслоотделители для воды часто называют также масляными фильтрами.

литель, пар разбивается полосами углового железа на мелкие струи, которые ударяются о полосы таврового сечения, заставляющие пар резко изменять свое направление. И здесь инерция тяжелых частиц масла не позволяет им двигаться далее с паром, и они стекают в нижнюю часть корпуса маслоотделителя.

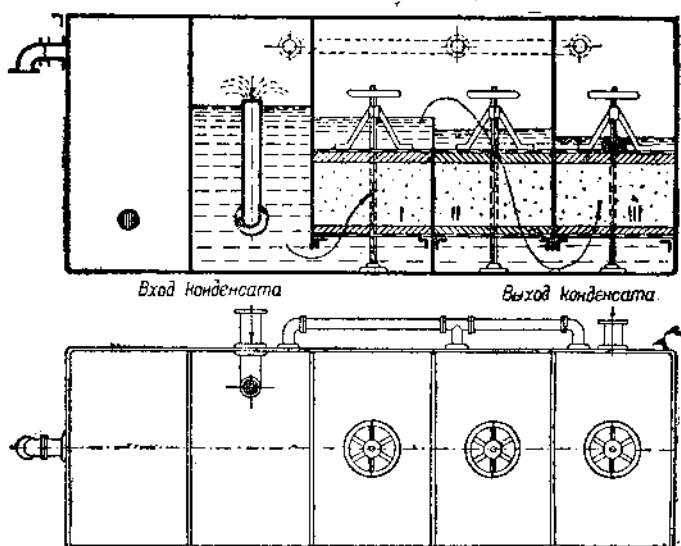


Фиг. 125. Ударный паровой маслоотделитель в разрезе.

Практика показала, что посредством паровых маслоотделителей (при правильно выбранных их размерах — соответственно количеству пропускаемого пара и правильной установке) можно отделить от отработавшего пара до 90% всего содержащегося в нем масла. Оставшееся количество масла обычно так невелико, что конденсат оказывается почти безвредным для питания им котлов.

б) Маслоотделители для воды (масляные фильтры).

Для отделения масла от конденсата применяются маслоотделители в виде фильтрующих ящиков. Воду на обратном пути из конденсатора в питательный бак котельной пропускают через ряд ящиков с древесными опилками, коксом или каким-либо другим фильтрующим веществом, которое и задерживает масло. Схема подобного маслоотделителя дана на фиг. 126.

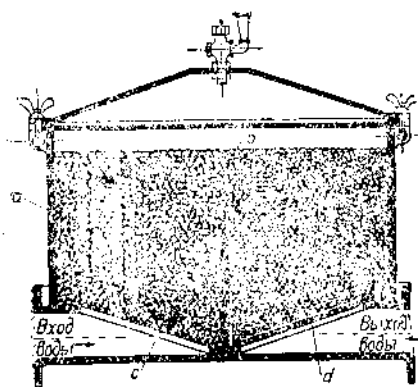


Фиг. 126. Фильтр для отделения масла из конденсационной воды.

Корпус разделен на ряд отсеков, имеющих слой фильтрующего вещества, через которые последовательно проходит очищаемая вода. Как показал опыт, условием хорошей фильтрации является возможно малая скорость протекания конденсата,

что требует довольно большой площади фильтра. В работе фильтрующее вещество скоро загрязняется и его приходится сменять. Масло, осаживаемое в фильтрах, исторически использовано быть не может, что является недостатком описанного маслоотделителя.

На фиг. 126а показана несколько иная конструкция масляного фильтра (применяемого в судовых установках), называемого коксовым, так как очищающим материалом



Фиг. 126а. Коксовый фильтр для конденсата.

здесь является кокс в виде мелких зерен в 0,5—3 мм. Составит этот фильтр из ящика *а*, разделенного перегородкой *б* на две части, заполненные коксом. Вода входит в левый патрубок, проходит через кокс, переливается через перегородку, опускается опять через кокс, выходит через правый патрубок наружу. Верхняя крышка фильтра съемная. Через нее происходит смена фильтрующего материала. Наклонные стенки *с* и *д* изготовлены из двойных решеток, между которыми проложен слой волоса или губки.

Кроме фильтрации конденсата в настоящее время пользуются также способом электрической очистки от масла. По системе Рейбольда (завод Ганоман) конденсат сменяется с раствором соды и подвергается в специальном сосуде электролизу

постоянным током напряжения 110 вольт, причем содержащееся в воде масло отделяется в виде сгустков. Опыты показали, что электрическая очистка даст значительно лучшие результаты, чем простая фильтрация, но вместе с тем способ электролиза и более дорогой, так как необходимо затрачивать электрическую энергию. Расход энергии приблизительно составляет 0,2 *квт-ч* на 1 *м³* очищаемой воды.

27. Испарительные конденсаторы.

Кроме описанных выше поверхностных конденсаторов, в которых конденсация пара производится водой, под давлением протекающей через ряд охлаждающих трубок, иногда применяется и другой тип поверхностных конденсаторов, потучивших название испарительных. Принцип работы этих конденсаторов мы здесь и рассмотрим.

Испарительный конденсатор состоит из ряда групп чугунных, медных или латунных трубок, располагаемых обычно горизонтально и соединяемых с каждого конца посредством коробок или соединительных колен. Через трубки пропускается подлежащий конденсации пар; охлаждающая же вода течет мелкими струйками по внешней поверхности труб. Кроме того, искусственной или естественной тягой вокруг труб поддерживается циркуляция воздуха, который также способствует охлаждению пара. Конденсация пара здесь осуществляется за счет нагрева протекающего воздуха и испарения воды на внешних поверхностях трубок, почему эти конденсаторы и называются испарительными.

На фиг. 127 дана схема испарительного конденсатора. Охлаждающая вода, подаваемая насосом, распределяется по трубам над конденсатором, имеющим на нижней поверхности отверстия. Через эти отверстия вода струйками стекает на расположенные рядом трубы конденсатора, в которые поступает отработавший пар из машины или турбины. От соприкосновения с горячими трубами вода частью испаряется, а частью нагретая стекает в сборник, откуда снова подается насосом на охлаждение, совершая таким образом круговорот. Так как часть воды испаряется, то приходится добавлять

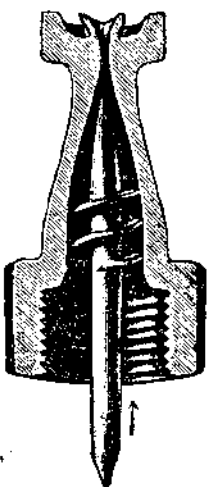
28. Охлаждающие пруды.

Простейшим и старейшим видом охладительных устройств являются пруды или бассейны, куда спускается нагретая вода из конденсатора и где она охлаждается путем соприкосновения на поверхности пруда с атмосферным воздухом и испарения. Такое устройство может быть рекомендовано там, где не требуется совершенного охлаждения воды и имеется в распоряжении большая площадь для устройства бассейнов, так как необходимая поверхность бассейнов: при естественном охлаждении получается весьма значительной, в среднем около 3 м^2 на 1 л. с. мощности машины.

Необходимо еще указать, что требуемая площадь зависит от климатических условий местности, а интенсивность охлаждения — от погоды и времени года (зимой и при сильном ветре вода остывает скорее, летом медленнее), но в общем охлаждение совершается весьма медленно, особенно при отсутствии ветра. Преимущество указанного способа лишь в том, что для охлаждения воды не требуются затраты механической энергии, так как вода поступает в бассейн самотеком. У нас в СССР способ охлаждения воды в прудах следует признать довольно распространенным, особенно на фабриках и заводах; за границей же в настоящее время он почти совсем не применяется.

Чтобы уменьшить потребную площадь пруда и сделать охлаждение более интенсивным, часто применяются пруды с распыливанием, работающие таким образом.

Подлежащая охлаждению вода распределяется над прудом по системе труб, в которые она подается насосом под давлением, достаточным для хорошего распыливания воды через сопла (давление воды у сопел составляет $0,3—1 \text{ ат}$). Каждая из труб имеет ряд распыливающих сопел. Благодаря прохождению через эти сопла вода попадает на поверхность пруда в виде тонкораспыленного облака. Распыливание облегчает охлаждение, так как поверхность воды, соприкасающейся с воздухом, при распылении воды на мельчайшие частицы увеличивается. Недостатком этого способа являются значительное испарение воды и унос ветром (от 2 до 5%), так что недостающее количество воды необходимо добавлять свежей водой. Кроме того, для распыливания воды требуется затрата механической энергии, выражающаяся примерно в $1—2\%$ от общей энергии,



Фиг. 128. Распыляющее сопло Кертинга.

вырабатываемой паросилой установкой. Что касается устройства самих распыливающих сопел, то их конструкций существует в настоящее время несколько. На фиг. 128 дано в разрезе распыливающее сопло системы Кертинга, хорошо зарекомендовавшее себя в многолетней работе. Как видно из этой фигуры, внутри сопла имеется специальная винтообразная вставка, благодаря которой проходящей через сопло воде сообщается вращательное движение, способствующее более тонкому распыливанию.

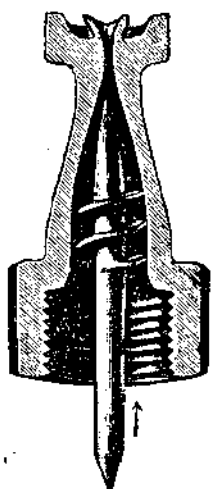
29. Градирии.

Другим способом охлаждения циркулирующей в паровой установке охлаждающей воды является подача ее в специальное устройство — градирию. Способ охлаждения воды в градириях очень широко распространен на практике. Состоит он в том, что подлежащую охлаждению воду подают насосом на некоторую высоту и затем заставляют стекать отдельными струйками и по специальной распределительной системе, состоящей из ряда групп деревянных или металлических планок или щитов, соответствующим образом расположенных с той целью, чтобы вода, стекающая по ним, распределен-

28. Охлаждающие пруды.

Простейшим и старейшим видом охлаждательных устройств являются пруды или бассейны, куда спускается нагретая вода из конденсатора и где она охлаждается путем соприкосновения на поверхности пруда с атмосферным воздухом и испарения. Такое устройство может быть рекомендовано там, где не требуется совершенного охлаждения воды и имеется в распоряжении большая площадь для устройства бассейнов, так как необходимая поверхность бассейнов: при естественном охлаждении получается весьма значительной, в среднем около 3 м^2 на 1 л. с. мощности машины.

Необходимо еще указать, что требуемая площадь зависит от климатических условий местности, а интенсивность охлаждения — от погоды и времени года (зимой и при сильном ветре вода остывает скорее, летом медленнее), но в общем охлаждение совершается весьма медленно, особенно при отсутствии ветра. Преимущество указанного



Фиг. 128. Распыляющее сопло Кертинга.

способа лишь в том, что для охлаждения воды не требуется затраты механической энергии, так как вода поступает в бассейн самотеком. У нас в СССР способ охлаждения воды в прудах следует признать довольно распространенным, особенно на фабриках и заводах; за границей же в настоящее время он почти совсем не применяется.

Чтобы уменьшить потребную площадь пруда и сделать охлаждение более интенсивным, часто применяются пруды с распыливанием, работающие таким образом.

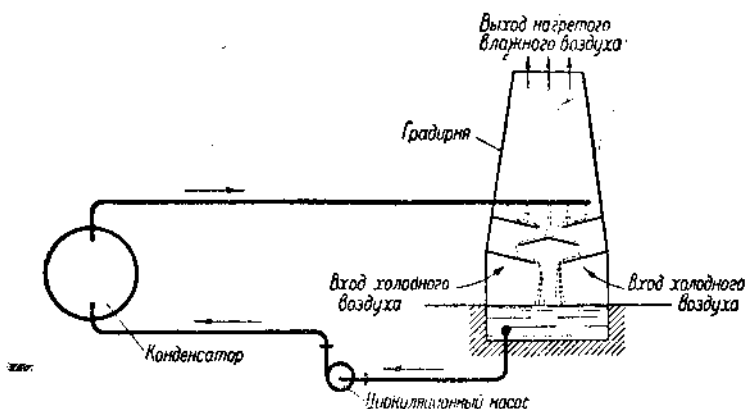
Подлежащая охлаждению вода распределяется над прудом по системе труб, в которые она подается насосом под давлением, достаточным для хорошего распыливания воды через сопла (давление воды у сопел составляет $0,3 - 1 \text{ ат}$). Каждая из труб имеет ряд распыливающих сопел. Благодаря прохождению через эти сопла вода попадает на поверхность пруда в виде тонкораспыленного облака. Распыливание облегчает охлаждение, так как поверхность воды, соприкасающейся с воздухом, при распылении воды на мельчайшие частицы увеличивается. Недостатком этого способа являются значительное испарение воды и унос ветром (от 2 до 5%), так что недостающее количество воды необходимо добавлять свежей водой. Кроме того, для распыливания воды требуется затрата механической энергии, выражающаяся примерно в 1 — 2% от общей энергии,

вырабатываемой паросиловой установкой. Что касается устройства самих распыливающих сопел, то их конструкций существует в настоящее время несколько. На фиг. 128 дано в разрезе распыливающее сопло системы Кертинга, хорошо зарекомендовавшее себя в многолетней работе. Как видно из этой фигуры, внутри сопла имеется специальная винтообразная вставка, благодаря которой проходящей через сопло воде сообщается вращательное движение, способствующее более тонкому распыливанию.

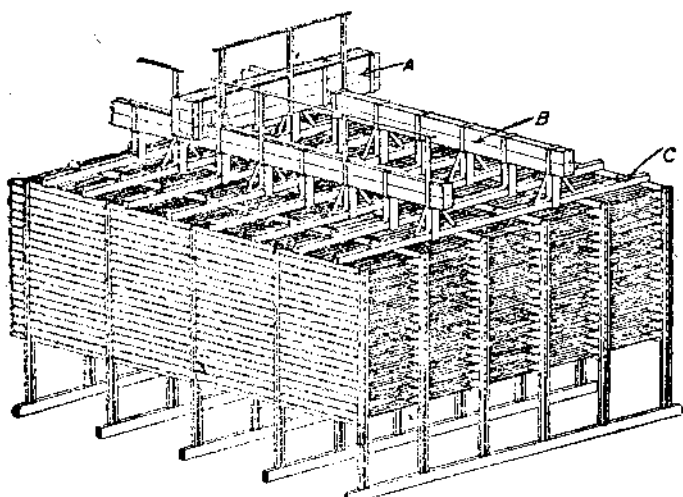
29. Градирии.

Другим способом охлаждения циркулирующей в паровой установке охлаждающей воды является подача ее в специальное устройство — градирию. Способ охлаждения воды в градириях очень широко распространен на практике. Заключается он в том, что подлежащую охлаждению воду подают насосом на некоторую высоту и затем заставляют стекать отдельными струйками и по специальной распределительной системе, состоящей из ряда групп деревянных или металлических планок или щитов, соответствующим образом расположенных с той целью, чтобы вода, стекающая по ним, распредел

лась на возможно мелкие струйки. Стекая по этим полкам, струйки и брызги воды приходят в соприкосновение с окружающим воздухом и, отдавая ему свою теплоту, охлаждаются. Охлажденная вода собирается обычно в специальном бассейне или водоеме, расположенном в нижней части градирни, и оттуда уже снова подается к конденсатору. Таким образом охлаждающая вода непрерывно совершает круговорот в паросиловой установке, нагреваясь в конденсаторе и охлаждаясь в градирне. Так как при



Фиг. 129. Схема движения охлаждающей конденсатор воды в паросиловой установке с градирней.



Фиг. 130. Распределитель охлаждающей воды.

охлаждении в градирне часть воды испаряется, недостающее количество воды пополняется свежей водой. Схема круговорота охлаждающей воды в установке с градирней дана на фиг. 129. На фиг. 130 дан в общем виде распределитель градирни, состоящий из деревянных планок квадратного сечения. Подлежащая охлаждению вода поступает в систему по водопроводящей коробке A, затем идет по промежуточным закрытым коробкам B, из которых распределяется по отдельным коробкам C, снабженным распыляющими соплами, установленными в верхней части этих коробок. Сопла разбрыз-

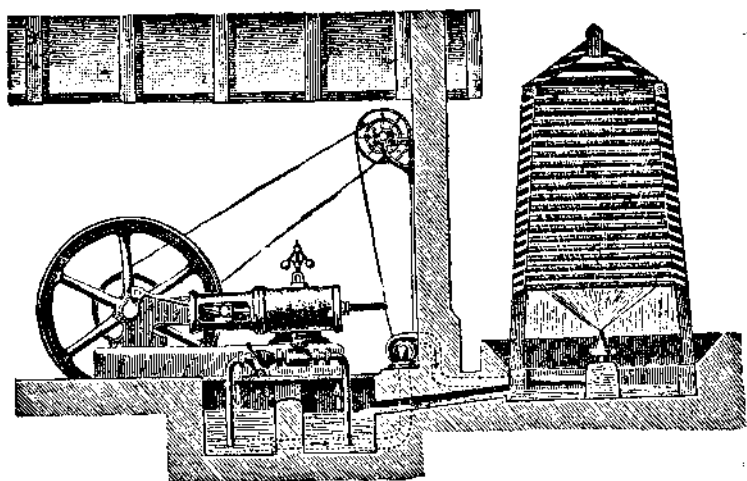
гивают воду вверх, после чего она стекает по отдельным планкам небольшими струйками в нижнюю часть градирни.

Систем и конструкций градирен в настоящее время существует довольно много. В основном следует различать следующие их типы:

- а) Открытые градирни.
- б) Закрытые градирни с естественной тягой.
- в) Закрытые градирни с искусственной тягой.

а) Открытые градирни.

Открытые градирни представляют собою самый простой тип градирен, имеющих вследствие этого довольно широкое распространение. Распределительная для воды система (желоба для распределения воды и системы планок или этажерок, по которым стекает сверху вниз вода) располагается прямо на открытом воздухе. Доступ воздуха к такой градирне открыт со всех сторон. Недостаток этих устройств тот, что при работе, когда охлаждается вода, образующиеся пары уносятся ветром, что крайне неприятно, если поблизости расположены строения или населенные места. Поэтому подобные градирни можно устраивать только там, где есть большие незащищенные и ненаселенные площади.



Фиг. 131. Паросиловая установка с открытой градирней для охлаждения воды.

На фиг. 131 представлена небольшая установка с паровой поршневой машиной и открытой градирней. Машина имеет струйную конденсацию (универсальный конденсатор типа Бертинг). Горячая вода из водоема забирается центробежным насосом и нагнетается к распыливающему соплу, установленному внизу градирни.

Распыливаемая соплом вода попадает на полки градирни, по ним сликается вниз, и, охлажденная самотеком, поступает в водоем холодной воды, откуда засасывается струйным конденсатором, работающим со всасыванием, и вторично используется на охлаждение отработавшего пара.

б) Закрытые градирни с естественной тягой.

Схема подобной градирни представлена на фиг. 132. Отличительной особенностью ее является то, что распределительная система этой градирни заключена в особую башню, суживающуюся кверху, так что воздух имеет доступ только через нижнюю

часть градирни. Приток воздуха в градирню происходит здесь под влиянием естественной тяги, причем башня градирни (камин) играет роль вытяжной трубы.

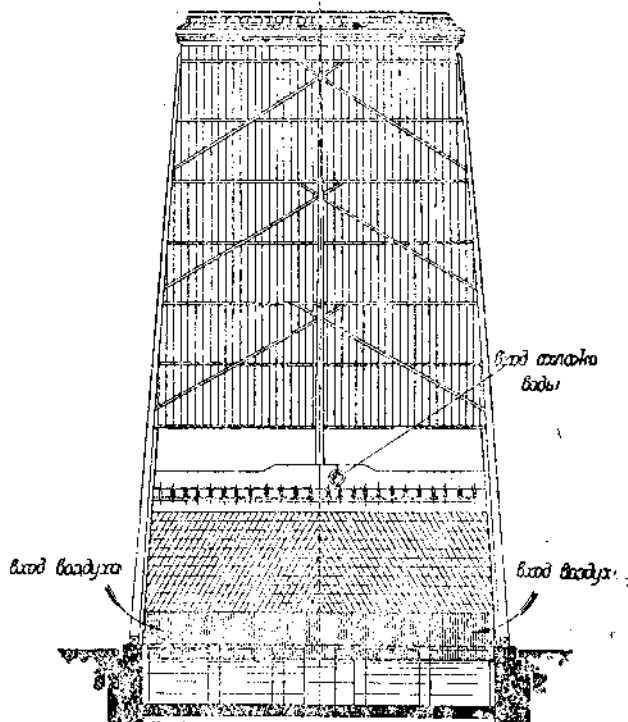
Воздух, заполняющий башню во время работы градирни, нагревается от воды. Так как известно, что теплый воздух легче холодного, то нагреваясь он поднимается в башню вверх, создавая этим приток необходимого для охлаждения воды холодного воздуха снаружи в нижнюю часть градирни.

Представленная на фиг. 132 градирня представляет собою наиболее простой тип закрытой градирни (башенного охладителя), но в настоящее время уже устарелого, как имеющего значительный недостаток. Заключается он в том, что в этой конструкции большая часть воздушного потока проходит вдоль стенок охладителя и только небольшая часть воздуха поступает в середину башни. Помимо этого, охлаждающий воздух здесь должен проходить над водосборным бассейном для охлаждающей воды, благодаря чему на пути к середине башни вследствие нагревания он теряет значительную часть охлаждающей способности.

Чтобы повысить охлаждающий эффект подводимого в градирню воздуха, предложен тип башенного охладителя с равномерным подводом охлаждающего воздуха по всему сечению охладителя, что достигается устройством специальной ступенчатой решетки в нижней части охладителя.

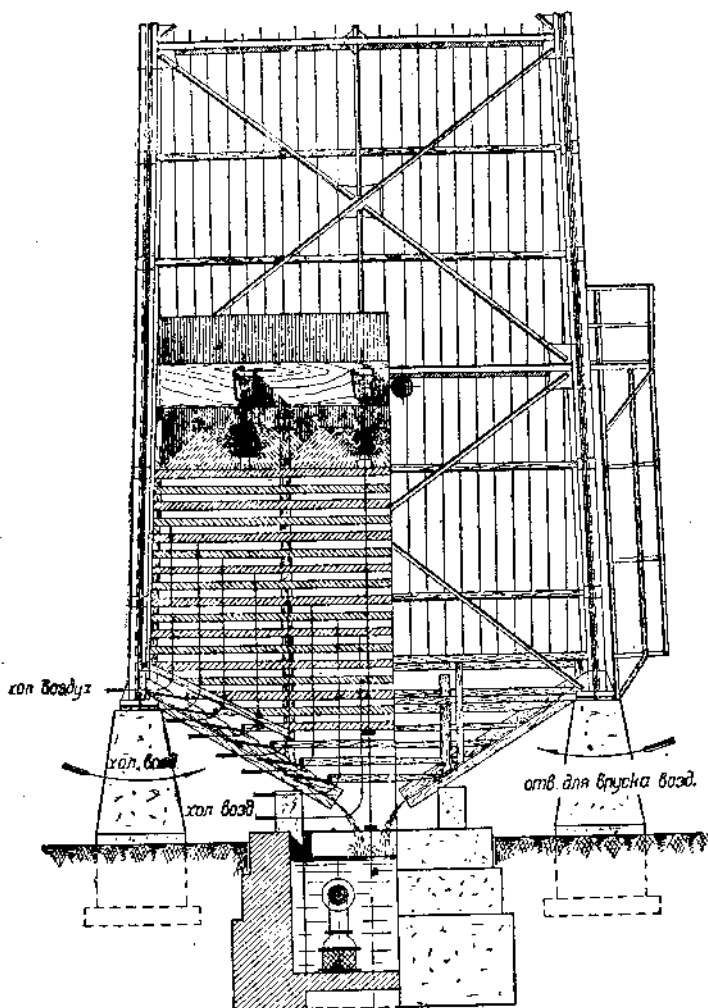
Башенный охладитель со ступенчатым подводом воздуха (в исполнении фирмы Вальке) представлен на фиг. 133. Охлажденная в градирне вода здесь собирается в наклонно друг под другом расположенных лотках, откуда через водосборные желоба стекает в приемный бассейн охлаждающей воды. Охлаждающий воздух может беспрепятственно проникать в охладитель по всей площади основания охладителя, не встречая при этом сопротивления и не приходя предварительно в соприкосновение с водой. Благодаря наклонному расположению водосборных желобов бассейн для воды здесь может быть взят значительно меньших размеров, а поэтому и обходится дешевле, чем в конструкции по фиг. 132, что также следует считать достоинством. Общий вид башенных охладителей представлен на фиг. 133.

Рассмотренные нами башенные охладители (фиг. 132 и 133) работают по принципу противотока, так как в них направление движения охлаждаемой воды и воздуха — встречное. Вода стекает сверху вниз, а воздух движется снизу вверх. Достоинство этого принципа то, что здесь удастся достигнуть тесного соприкосновения поглощающего тепло воздуха с охлаждаемой водой, но так как каждая стекающая вниз капля воды



Фиг. 132. Схема градирни закрытого типа.

стремится увлечь за собою воздух, создается известное сопротивление поднимающемуся воздуху, чем уменьшается тяга. Кроме того, в разобранных конструкциях воду приходится поднимать на довольно значительную высоту (7 — 8 м в старых типах, в зависимости от конструкции охладителя). Чтобы улучшить тягу и уменьшить высоту поднятия воды, практикой в настоящее время выработан охладитель с поперечным током воздуха.

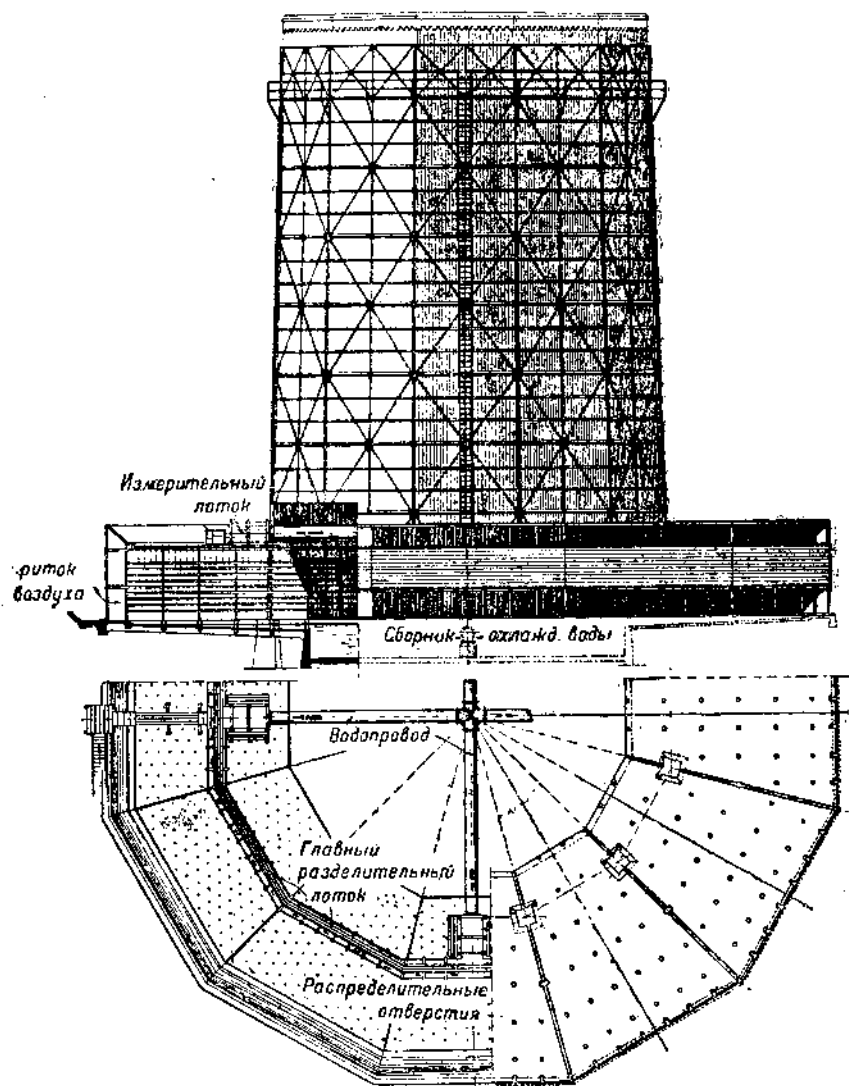


Фиг. 133. Башенный охладитель Балье со ступенчатым подводом воздуха.

Схема башенного охладителя с поперечным движением воздуха типа Балье — Моль дана на фиг. 134.

Собственно охладительное устройство имеет здесь небольшую высоту и расположено кольцом вокруг башни, выполненной наподобие дымовой трубы. Поступающий воздух движется по каналам в горизонтальном направлении, т. е. перпендикулярно к потокам воды. Нижняя часть башни этого охладителя совершенно пуста, что значи-

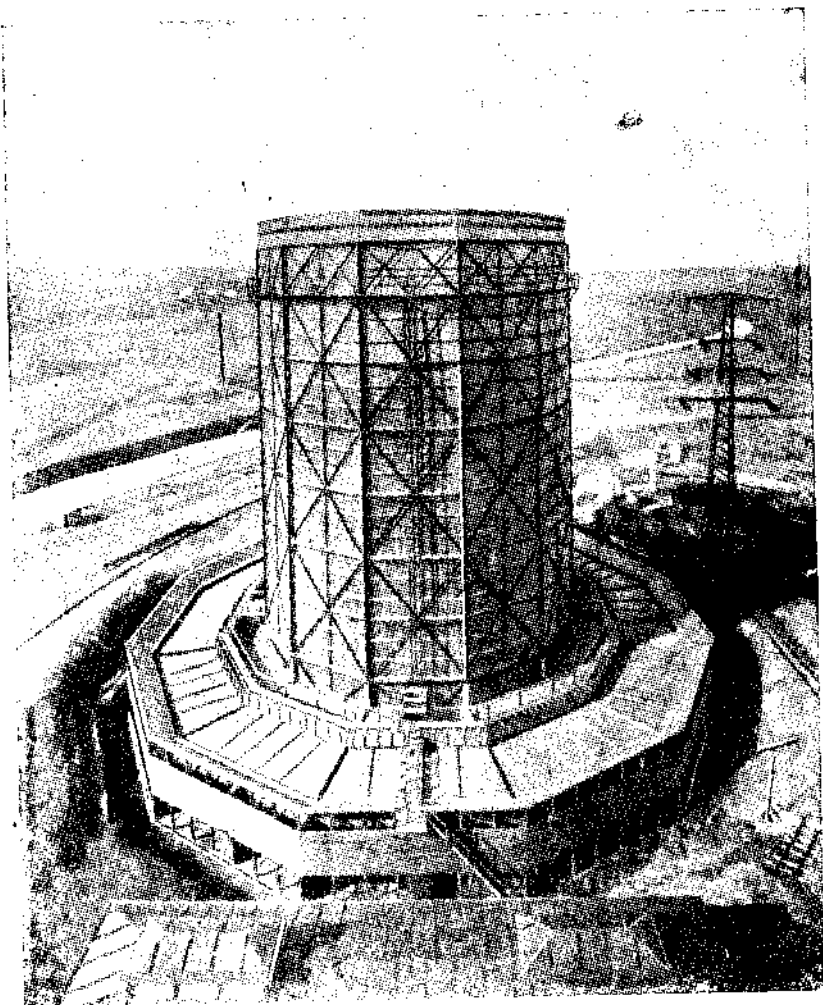
тельно улучшает тягу по сравнению с охладителями вышеописанных конструкций. Значительным достоинством этого охладителя следует считать расположение водораспределительного устройства снаружи вокруг башни, вследствие чего облегчается надзор за устройством во время работы охладителя. В конструкциях же, рассмотрен-



Фиг. 134. Башенный охладитель с поперечным движением воздуха (системы Бальке-Моель).

ных выше, распределительное устройство находится внутри башни, поэтому осмотр и все необходимые работы во время действия охладителя приходится производить в насыщенной водяным паром атмосфере, что создает очень тяжелые условия работы. На фиг. 135 дан общий вид башенного охладителя современной конструкции с поперечным движением воздуха в исполнении фирмы Бальке.

Материалом башенных охладителей является обычно дерево, окрашенное или пропитанное раствором, предохраняющим древесину от гниения. Существуют также охладители железные или железобетонные. Железные части окрашиваются краской, предохраняющей от ржавления. По стоимости железобетонные охладители значительно выше деревянных, однако, первоначальные затраты в значительной доле окупаются большей долговечностью и меньшими затратами на ремонт железобетонных охладителей.



Фиг. 135. Общий вид башенного охладителя с поперечным движением воздуха.

Затрата работы на насосы, обслуживающие градирню с естественной тягой, в среднем около 2% от общей выработки энергии.

По сравнению с устройством охлаждающих прудов, устройство градирни из любого материала обходится значительно дороже, точно так же большие и затраты на ремонт, само же распыливание воды в градирне совершается не так тонко, как в пру-

дах с распыливанием. Однако значительным преимуществом градирни является небольшая занимаемая ею площадь. В среднем можно считать, что у башенных охладителей с естественной тягой она составляет $1 - 1,5 \text{ м}^2$ на 100 кг/час пара, расходуемого машиной или турбиной. При желании еще более понизить занимаемую охладительным устройством площадь применяют градирни с искусственной тягой.

с) Закрытые градирни с искусственной тягой.

Градирня с искусственной тягой представляет собою башенный охладитель, подача воздуха в который совершается искусственным путем помощью вентиляторов. Схема подобного охладителя дана на фиг. 136. Основное достоинство его то, что он может работать непрерывно, независимо от температуры воздуха, ветра и т. п., так как вентиляторы обеспечивают необходимый приток воздуха. Надобность в высокой башне при этом отпадает, но обычно она все же устраивается, чтобы обеспечить отвод образующихся испарений на достаточную высоту. Что касается занимаемой площади, то в охладителях с искусственной тягой она понижается до $0,3 - 0,7 \text{ м}^2$ на 100 кг пара. Поэтому этот тип охладителей с успехом может быть применен там, где располагаемое место для установки очень ограничено. Нужно, однако, отметить, что потребление энергии на подобную охладительную установку (привод водяных насосов и вентиляторов) оказывается весьма значительным — $4,5 - 6\%$ мощности машины, вследствие чего она в большинстве случаев получается экономически невыгодной.

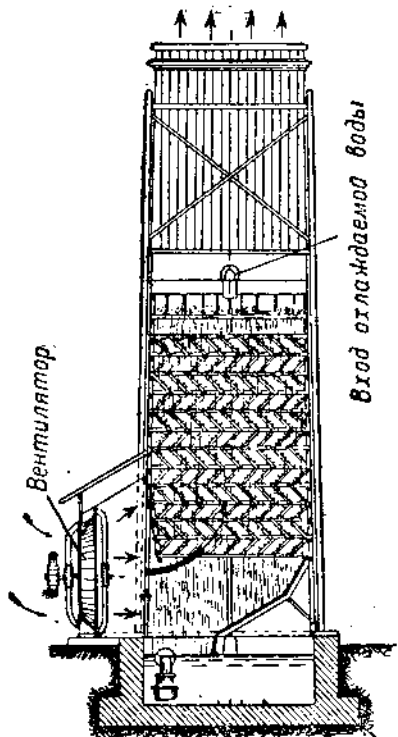
д) Оценка работы градирни и диаграмма зоны охлаждения.

Какой бы системы градирня ни была, работа ее, как показал опыт, основана на том, что при действии воздуха, проходящего между каплями воды и имеющего температуру ниже, чем температура воды, происходит охлаждение воды, а, кроме того, часть воды испаряется, увеличивая влажность проходящего воздуха и понижая температуру неиспаренной воды, так как необходимая для испарения скрытая теплота отнимается от неиспаренной воды.

Для того чтобы лучше понять работу градирни, нужно обратить внимание на следующее.

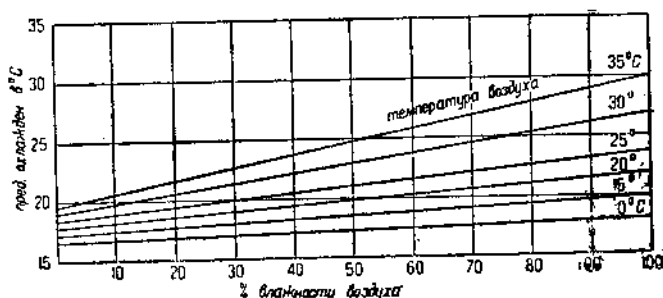
Подводимый в градирню воздух обычно всегда содержит некоторое количество водяных паров, но он еще бывает, как говорят, ненасыщен парами и поэтому может принять, пройдя через градирню, еще некоторое количество паров воды.

Отношение действительного содержания пара в воздухе к максимальной возможному при данной температуре и давлении называется относительной влажностью воздуха. Величина ее может колебаться от 0 (воздух не содержит водяных паров) до 1 (воздух при данной температуре и давлении насыщен парами).



Фиг. 136. Градирня с искусственной (вентиляторной) тягой.

Для практики оказывается весьма важным знать максимально возможное охлаждение воды в градирне. Казалось бы, что вода может быть охлаждена только до температуры воздуха при входе и, следовательно, конечная температура воды находится только в прямой зависимости от температуры воздуха. Оказывается, однако, что вода охлаждается не только до температуры воздуха, но что охлаждение ее возможно ниже этой температуры и зависит от влажности воздуха. Пока влажность атмосферного воздуха меньше единицы, воздух может еще принимать влагу. Происходит испарение части охлаждаемой воды, на что затрачивается известная доля теплоты охлаждаемой воды, и температура ее таким образом понижается. Если охлаждаемая вода теплее атмосферного воздуха, то из этой воды испаряется такое количество влаги, какое необходимо для полного насыщения воздуха водяными парами. Если температура воздуха станет равной температуре воды, то и тут охлаждение возможно, если воздух может поглощать водяные пары, причем при испарении температура воды становится неизбежно ниже воздуха.



Фиг. 137. Влияние состояния воздуха на предельную температуру охлаждения воды в башенном охладителе.

Весьма важным оказывается установление предела охлаждения при температуре воды ниже температуры воздуха, т. е. той температуры, до которой возможно охлаждение воды в градирне. Этот предел степени охлаждения, как показывают исследования, зависит от барометрического давления воздуха, его температуры и степени влажности (степени насыщения воздуха водяными парами).

На фиг. 137 дан график предела охлаждения воды (отложен на вертикальной оси), при заданном постоянном барометрическом давлении в зависимости от влажности воздуха в процентах для разных температур воздуха в °C.

Как видно из графика, при влажности воздуха, например, 50% и температуре воздуха 35°C предельная температура охлаждения составляет 25°C. Нужно отметить, что температура охлажденной в охладителе воды всегда на несколько градусов выше возможного при данных условиях предела охлаждения.

Если назовем t_1 °C — температурой воды перед поступлением в охладитель, t_2 °C — температурой воды по выходе из охладителя, то разность $t_1 - t_2$ будет определять собою перепад температур охлаждаемой в градирне воды (т. е. показывать, на сколько градусов снизилась температура охлаждаемой воды при проходе через градирню).

Если, далее, предельную температуру охлаждаемой воды при данном состоянии атмосферного воздуха назовем t_x °C (т. е. температуру, до которой теоретически возможно охлаждение воды), то разность $t_1 - t_x$ будет представлять собою теоретически возможный перепад температур охлаждаемой в градирне воды.

Если возьмем отношение: действительно полученная разность температур теоретически возможная разность, т. е.

$$\frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_n},$$

то получим величину η_{ox} к. п. д. охладительного устройства—величину, обычно меньшую единицы. $\eta_{ox}=1$ только в том случае, если $t_2 = t_n$.

Величина η_{ox} не является, однако, единственной величиной, на основании которой можно судить о работе охладителя, так как он может иметь высокий к. п. д. и в то же время быть в эксплуатации недостаточно экономичным, например, в случае, если этот к. п. д. вызывается большой затратой энергии на передачу воды в охладитель и т. п.

Что касается величины $t_1 - t_2$, то этот перепад температур обычно называется зоной охлаждения или шириной зоны. Ширина зоны охлаждения зависит главным образом не от работы конденсатора, так как вода при обратном охлаждении совершает непрерывный круговорот от конденсатора к охладителю и обратно к конденсатору. В среднем экономически выгодную ширину зоны охлаждения часто принимают равной 10°C .

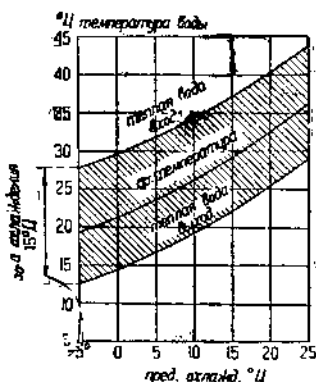
Характер работы охладителя наглядно представляется помощью диаграммы зоны охлаждения. Диаграмму зоны охлаждения (кривые охлаждения) можно построить, если при различном состоянии воздуха, и, следовательно, при различных пределах охлаждения определить опытным путем температуры охлаждающей воды при входе в градирню и выходе из нее.

На фиг. 138 дана подобная диаграмма. На вертикальной оси графика отложены температуры воды, а на горизонтальной — температуры предела охлаждения для различных состояний воздуха.

Верхняя кривая представляет кривую температуры входящей воды, а нижняя — выходящей. Затрихованное пространство представляет собою зону охлаждения.

Ширина температурной зоны для всех башенных охладителей приблизительно одинакова (при одинаковых условиях) и зависит для данного охладителя от количества циркуляционной воды и кратности охлаждения. Влияние охладителя сказывается в том, что чем охладитель лучше, тем ниже располагается зона охлаждения, тем более приближается температура уходящей из охладителя воды к пределу охлаждения.

Нужно при этом отметить, что расположение кривых охлаждения для данного охладителя не остается все время постоянным, а может меняться в зависимости от высоты дождя. Под термином же высота, или плотность, дождя понимают следующее: если подставить на пути падающей в охладителе воды открытый сверху сосуд, то уровень воды в этом сосуде будет подниматься каждый час на определенную высоту. Разность уровней в метрах в час и называется высотой дождя. Часто также употребляется выражение «плотность дождя». Плотность дождя измеряется в кубических метрах на квадратный метр в час и показывает, сколько кубических метров воды в час протекает через квадратный метр поперечного сечения градирни в месте входа воздуха. Чем больше плотность дождя, тем в данной установке в час должно быть отведено от воды большее количество тепла. При этом, чем больше возрастает разность температур



Фиг. 138. Диаграмма зоны охлаждения.

между выходящей из охладителя водой и возможным пределом охлаждения, тем выше располагаются на диаграмме кривые охлаждения.

Как найдено опытом, для определенных условий существует наиболее выгодная экономически плотность дождя, которая определяется состоянием атмосферы в данной местности.

В среднем (по Гейбелю) она составляет $3,5 - 4 \text{ м}^3/\text{час}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1. Вейсс, Конденсация.
 2. К. Шмидт, Конденсация паровых машин и паровых турбин.
 3. Г. Жирицкий, Паровые машины.
 4. Г. Жирицкий, Паровые турбины, т. I.
 5. Польгаузен, Паровые поршневые машины.
 6. А. Радциг, Теория и расчет конденсационных установок.
 7. В. Макеев, Конденсационные устройства паросиловых установок.
 8. Каула и Робинсон, Конденсационные установки.
 9. В. Наумов, Паровые турбины.
 10. С. Мосев, Паровые турбогенераторы.
 11. В. Фармаковский, Машиноведение.
 12. Ошурков, Тепловые двигатели, ч. I.
 13. Г. Кизер, Основы проектирования электрических станций, т. III.
 14. Статьи из журналов: «Известия теплотехнического института», «Тепло и сила», «Машинист».
 15. Бюллетени и проспекты иностранных фирм.
-

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Проф. В. С. НАУМОВ.

МАШИНОВЕДЕНИЕ.

Часть первая. Топливо. Основы термодинамики. Паровые котлы.

Стр. 392, с 211 рис. и диаграммами. Изд. 4-е. М. — Л. 1932. Цена 6 р., перепл. 1 р.

Проф. В. С. НАУМОВ.

МАШИНОВЕДЕНИЕ.

Часть вторая. Паровые машины. Паровые турбины. Двигатели внутреннего сгорания.

Стр. 412, с 323 рис. Изд. 4-е. М. — Л. 1932 г. Цена 6 р. 50 к., перепл. 1 р. 50 к.

Г. БАЛТРУШАТ и В. ВЕНИГЕР.

ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИКИ.

Часть I. Теплотехника.

Перевод с немецкого, переработка и дополнения инж. С. М. Лосева, П. А. Петрова и Н. А. Черникова.

Стр. 136 большого формата, с 331 рис. М. — Л. 1933. Цена 4 р. 50 к.

Т. КРОФТ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА.

Перевод, переработка и редакция инж. Л. Дистлер и инж. А. Зимакова. Том I. М. — Л. 1933. Стр. 236 с 330 рис. Цена в перепл. 4 р. 85 к.