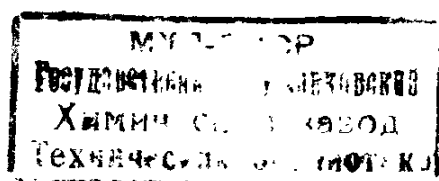


Д. Л. ГЛИЗМАНЕНКО

# КИСЛОРОД И ЕГО ПОЛУЧЕНИЕ

*Допущено Отделом учебных заведений МХП  
в качестве учебного пособия для производственно-  
технических курсов, а также технических школ мастеров*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

КВА

1951

ЛЕНИНГРАД

В книге освещены основные вопросы, связанные с производством кислорода. Даны сведения о сырье и вспомогательных материалах, кислородном оборудовании и аппаратуре; описан технологический процесс производства кислорода, его хранение и сжатие; кратко изложены вопросы контроля производства, техники безопасности, организации труда и экономики производства.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для производственно-технических курсов рабочих и школ мастеров кислородной промышленности и может быть использована для подготовки рабочих по производству кислорода на машиностроительных, авиационных, судостроительных, металлургических и других предприятиях, имеющих кислородные установки.

### К ЧИТАТЕЛЮ

Издательство просит присылать Ваши замечания и отзывы об этой книге по адресу: Москва, Новая площадь, 10, подъезд 11, Госхимиздат

Редактор В. М. Тарасенко

Техн. редактор М. С.

Подписано к печати 13/ХІ 1951 г.

Бумага 60×92 мм = 10,75 бум. — 21,5 печатных листов.

Уч.-издат. лн

Тип. знаков в 1 печ. л. 42800.

Тираж 6000 экз.

Заказ 718.

Цена 11

Типография Госхимиздата. Москва, 88, Угрешская

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	7
<b>Глава I. Кислород, его свойства и применение в народном хозяйстве . . . . .</b>	<b>9</b>
1. Из истории развития кислородной промышленности в СССР . . . . .	9
2. Свойства кислорода . . . . .	10
3. Способы получения кислорода . . . . .	12
4. Применение кислорода и его значение в народном хозяйстве . . . . .	14
<i>Контрольные вопросы и упражнения . . . . .</i>	<i>16</i>
<b>Глава II. Сжижение воздуха и его ректификация . . . . .</b>	<b>18</b>
1. Свойства газов . . . . .	18
2. Сжижение газов . . . . .	22
3. Способы получения низких температур . . . . .	24
4. Зависимость между составами жидкости и пара . . . . .	35
5. Ректификация воздуха . . . . .	37
<i>Контрольные вопросы и упражнения . . . . .</i>	<i>45</i>
<b>Глава III. Сырье, вспомогательные материалы и готовая продукция . . . . .</b>	<b>47</b>
1. Атмосферный воздух как сырье для получения кислорода . . . . .	47
2. Вспомогательные материалы . . . . .	49
3. Смазочные материалы . . . . .	51
4. Прочие материалы . . . . .	53
5. Готовая продукция . . . . .	56
<i>Контрольные вопросы и упражнения . . . . .</i>	<i>57</i>
<b>Глава IV. Трубопроводы и арматура кислородных установок . . . . .</b>	<b>59</b>
1. Трубопроводы . . . . .	59
2. Арматура . . . . .	62
3. Ремонт трубопроводов и арматуры . . . . .	69
<i>Контрольные вопросы . . . . .</i>	<i>69</i>
<b>Глава V. Технологические схемы кислородных установок . . . . .</b>	<b>70</b>
1. Общие сведения о производстве кислорода . . . . .	70
2. Установки высокого давления двукратной ректификации . . . . .	72
3. Установки среднего давления с детандером . . . . .	76

4. Установки двух давлений с поршневым детандером и регенераторами . . . . .	
5. Установки двух давлений с турбодетандером и регенераторами . . . . .	
6. Установки низкого давления . . . . .	
7. Кислородные аппараты с попутным извлечением аргона . . . . .	
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i> . . . . .	

**✓ Глава VI. Аппараты для очистки и осушки воздуха** . . . . .

1. Воздушные фильтры . . . . .	
2. Аппаратура для очистки воздуха от углекислоты . . . . .	
3. Обслуживание аппаратуры для очистки воздуха от углекислоты . . . . .	
4. Аппаратура для осушки воздуха . . . . .	
5. Обслуживание аппаратуры для осушки воздуха . . . . .	
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i> . . . . .	

**Глава VII. Машины для сжатия воздуха** . . . . . 117

1. Поршневые компрессоры . . . . .	113
2. Конструкция основных частей компрессоров . . . . .	119
3. Смазка компрессоров . . . . .	131
4. Турбокомпрессоры . . . . .	135
5. Обслуживание поршневых компрессоров . . . . .	159
6. Обслуживание турбокомпрессоров . . . . .	144
7. Ремонт компрессоров . . . . .	152
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i> . . . . .	164

**Глава VIII. Машины для расширения воздуха** . . . . . 166

1. Поршневые детандеры . . . . .	166
2. Турбодетандеры . . . . .	171
3. Обслуживание поршневых детандеров . . . . .	177
4. Обслуживание турбодетандеров . . . . .	177
5. Ремонт детандеров . . . . .	179
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i> . . . . .	180

**Глава IX. Аппараты для охлаждения, сжижения и ректификации воздуха** . 183

1. Теплообменники . . . . .	183
2. Регенераторы . . . . .	186
3. Конденсаторы . . . . .	192
4. Ректификационные колонны . . . . .	195
5. Аппаратура для очистки воздуха от ацетилена . . . . .	197
6. Изоляция блоков разделения . . . . .	201
7. Щиты управления . . . . .	202
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i> . . . . .	207



<b>Глава X. Хранение и сжатие кислорода</b>	205
1. Газгольдеры	205
2. Танки и цистерны для жидкого кислорода	206
3. Кислородные компрессоры	210
4. Насосы для жидкого кислорода	228
5. Газификаторы высокого давления	224
6. Газификаторы среднего давления	225
7. Обслуживание газификаторов	228
<i>Контрольные вопросы и упражнения</i>	231
<b>Глава XI. Наполнение баллонов кислородом</b>	232
1. Баллоны для сжатых газов	232
2. Наполнительные коллекторы (рампы)	233
3. Хранение, испытание и ремонт баллонов	235
4. Обслуживание наполнительных коллекторов	239
<i>Контрольные вопросы</i>	240
<b>Глава XII. Технологический процесс получения кислорода</b>	241
1. Получение газообразного кислорода в аппаратах двукратной ректификации на установках высокого давления	241
2. Отогревание и продувка аппарата	248
3. Промывка аппарата	252
4. Проверка герметичности аппарата	256
5. Получение жидкого кислорода на установках высокого давления	257
6. Установки среднего давления с поршневым детандером	258
7. Установки с кислородным насосом	261
8. Установки двух давлений с детандерами и регенераторами	262
9. Установки двух давлений с турбодетандером, регенераторами и аммиачным циклом	263
10. Кислородно-аргонные аппараты	272
<i>Контрольные вопросы</i>	274
<b>Глава XIII. Контроль кислородного производства</b>	276
1. Значение контроля производства и его организация	276
2. Измерение количества газа	277
3. Измерение давления	281
4. Измерение температуры	282
5. Контроль уровня жидкости	286
6. Анализ газов	291
7. Определение содержания влаги в кислороде	299
8. Определение степени использования раствора едкого натра	301

9. Контроль жидкого кислорода на содержание ацетилена . . . . .	302
10. Электронизмерительные приборы . . . . .	306
11. Контроль баллонов на складе . . . . .	307
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	308
<b>Глава XIV. Техника безопасности, промсанитария, предотвращение аварий и противопожарные мероприятия . . . . .</b>	<b>309</b>
1. Общие положения . . . . .	309
2. Основные источники опасностей в кислородном производстве . . . . .	310
3. Средства индивидуальной защиты и меры помощи пострадавшим . . . . .	311
4. Безопасная эксплуатация оборудования и предотвращение аварий . . . . .	313
5. Противопожарные мероприятия. . . . .	321
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	323
<b>Глава XV. Организация труда и экономика кислородного производства . . . . .</b>	<b>324</b>
1. Значение организации труда . . . . .	324
2. Структура управления производством . . . . .	325
3. Планирование производства . . . . .	326
4. Техническое нормирование и система оплаты труда. . . . .	332
5. Организация ремонта оборудования . . . . .	334
6. Основные направления стахановской работы в кислородном производстве . . . . .	335
<i>Контрольные вопросы</i> . . . . .	339
<b>Литература. . . . .</b>	<b>339</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>340</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Производство кислорода и его применение в народном хозяйстве нашей страны с каждым годом все более и более увеличивается. При современном уровне техники кислород является одним из тех продуктов, без которых не может обойтись промышленность.

Сравнительно недавно кислород применялся главным образом для газовой сварки и кислородной резки металлов, но в настоящее время появились новые области применения кислорода, которые требуют больших количеств этого продукта. Так, например, кислород нашел широкое применение в химической промышленности в качестве ускорителя различных производственных процессов; в газовой промышленности его используют при получении газа из низкосортных топлив (бурых углей, торфа, угольной мелочи), в металлургии—для ускорения процессов выплавки чугуна и стали, и т. д.

Использование кислорода в этих производствах увеличивает выпуск продукции и дает существенную экономию. Например, применение кислорода при выплавке стали в мартеновских печах повышает производительность печи на 20—25% и сокращает расход топлива на 15—20%.

Таким образом производство кислорода в нашей стране имеет широкие перспективы для своего развития и его промышленное применение непрерывно возрастает.

В связи с этим важное значение приобретают вопросы повышения квалификации и подготовки новых кадров рабочих по обслуживанию кислородных установок. При разрешении этих вопросов значительную помощь должно оказать учебное пособие, соответствующее установленной программе обучения и уровню подготовки учащихся.

Данная книга предназначена служить таким пособием для рабочих и мастеров кислородных установок. Она рассчитана на уровень знаний рабочих-практиков, имеющих общее образование в объеме 5—7 классов средней школы, знакомых с элементарным обслуживанием машин и механизмов и знающих слесарное дело.

Рабочий, обслуживающий кислородную установку, должен хорошо знать принцип действия всех основных частей установки, их устройство и порядок обслуживания. Он должен уметь

производить текущий ремонт кислородного оборудования, а также делать замеры и анализы, необходимые по ходу технологического процесса. Кроме того, рабочий обязан знать технико-экономические показатели работы кислородной установки и причины, влияющие на их улучшение или ухудшение. Он должен добиваться наилучших показателей работы и максимальной производительности труда при наименьшем расходе электроэнергии и материалов.

Автор надеется, что настоящая книга поможет учащимся быстрее освоить свои обязанности при обслуживании кислородных установок и достигнуть хороших результатов работы.

Все указания по дальнейшему улучшению книги будут приняты автором с благодарностью.

---

## ГЛАВА I

# КИСЛОРОД, ЕГО СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

### 1. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ КИСЛОРОДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СССР

По производству кислорода царская Россия была крайне отсталой страной. В 1916 г. в России существовало всего 18 небольших кислородных установок, закупленных у иностранных фирм. Общая мощность этих установок составляла не более 1,8 млн.  $m^3$  кислорода в год.

Развитие кислородного производства в нашей стране началось только после Великой Октябрьской социалистической революции, одновременно с развитием и быстрым ростом всей советской промышленности.

К 1929 г. производство кислорода в СССР возросло уже до 8,8 млн.  $m^3$  в год, а мощность отдельных кислородных агрегатов увеличилась до 150  $m^3/час$ . Однако бурный рост машиностроения и строительство новых предприятий социалистической промышленности требовали все больших и больших количеств кислорода, выпуск которого начал отставать от потребностей народного хозяйства. Поэтому партией и правительством были приняты меры к дальнейшему расширению производства кислорода и развитию отечественной кислородной промышленности.

В течение первых двух пятилеток в основных промышленных центрах страны был построен целый ряд крупных кислородных заводов.

Многие металлообрабатывающие заводы смонтировали для своих нужд собственные кислородные установки. Часть кислородных заводов и установок была реконструирована, и мощность их значительно увеличилась. Эти мероприятия не замедлили дать ощутимые результаты. В 1933 г. выпуск кислорода в нашей стране достиг уже 30 млн.  $m^3$  в год, а в 1940 г. Советский Союз по производству кислорода занял первое место в Европе.

В 1934 г. в Советском Союзе было освоено производство сложной аппаратуры и компрессоров для кислородных установок самой различной мощности. Этим была создана прочная база для дальнейшего развития и роста кислородной промышленности в нашей стране.

За годы первых пятилеток выросли кадры советских специалистов в области кислородного машиностроения и производства, которые вполне овладели теорией и практикой расчетов, конструирования и эксплуатации оборудования кислородных установок.

После победоносного окончания Великой Отечественной войны, когда наша страна снова вернулась к мирному строительству, в законе о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. было предусмотрено развитие кислородной промышленности и широкое внедрение кислорода в технологические процессы ряда важнейших отраслей народного хозяйства.

В период послевоенной пятилетки выпуск товарного кислорода и кислородных установок увеличился в несколько раз.

Такое увеличение производства кислорода и кислородного оборудования объясняется улучшением работы действующих предприятий, восстановлением разрушенных предприятий, строительством новых заводов и внедрением передовой техники.

Наряду с этим в нашей стране прокладываются новые пути в области совершенствования процессов получения кислорода, внедрения его в технологические процессы, создания мощных и экономичных кислородных установок нового типа.

## 2. СВОЙСТВА КИСЛОРОДА

Кислород (химическое обозначение  $O_2$ ) является самым распространенным элементом\* на земле. Он обладает свойством чрезвычайно легко и энергично вступать в химические соединения со всеми веществами, за исключением благородных металлов—золота, платины, серебра, и редких газов—аргона, криптона, ксенона, неона, гелия.

Соединения различных веществ с кислородом являются наиболее распространенными в природе. Так, например, почти вся земная кора состоит из различных соединений химических элементов с кислородом. В воде содержится до 88% кислорода. В живых организмах и в растениях также содержится значительное количество кислорода. Наконец, огромное количество кислорода в свободном, химически не связанном состоянии находится в атмосферном воздухе, который состоит на  $\frac{1}{5}$  часть (по объему) из кислорода и на  $\frac{4}{5}$ —из азота.

Кислород является основой жизни на земле, так как без него не могут существовать живые и растительные организмы, не могут протекать процессы окисления, на которых основаны все жизненные процессы окружающего нас животного и растительного мира.

Впервые кислород был открыт учеными в 1771 г., а в последующие годы его свойства были подробно изучены.

\* Под элементом подразумевается вещество, не разлагаемое обычными химическими способами на более простые составные части.

Изучением кислорода занимались великие русские ученые—Ломоносов, Менделеев и другие, сделавшие в этом направлении ряд важнейших открытий и внесшие неоценимый вклад в мировую науку.

В нормальных условиях кислород является бесцветным и прозрачным газом, не имеющим ни запаха, ни вкуса. Кислород несколько тяжелее (плотнее) воздуха.

Вес 1 м<sup>3</sup> кислорода при температуре 0°C и давлении 760 мм рт. ст. равен 1,429 кг.

При охлаждении кислорода под атмосферным давлением до температуры —183°C он превращается в прозрачную голубоватую, легкоподвижную жидкость, быстро испаряющуюся при комнатной температуре.

1 л такой жидкости весит 1,14 кг, а при испарении образует 790 л газообразного кислорода (при температуре 0°C и давлении 760 мм рт. ст.).

Если жидкий кислород подвергнуть длительному воздействию электрического разряда, то он частично переходит в новое химическое соединение—жидкий озон—темно-голубую, легко взрывающуюся жидкость.

При дальнейшем охлаждении жидкого кислорода до температуры —218°C он переходит в твердое состояние, образуя красивые голубые кристаллы.

Газообразный кислород, так же как и азот, способен растворяться в воде.

Кислород обладает магнитной восприимчивостью, т. е. его молекулы способны под действием магнитного поля намагничиваться и притягиваться магнитом.

Все химические реакции горения и окисления, т. е. соединения веществ с кислородом, протекают в атмосфере чистого кислорода очень быстро и энергично, сопровождаясь выделением значительного количества тепла.

Если, например, в сосуд с кислородом внести тлеющую лучинку или спичку, то дерево загорится ярким пламенем. Кусочек серы, горящий на воздухе бледным огоньком, внесенный в сосуд с кислородом, мгновенно вспыхивает и горит красивым фиолетовым пламенем.

Для больных, находящихся в тяжелом состоянии, вдыхание кислорода служит средством повышения деятельности организма и поддержания сил.

Горючие газы (ацетилен, водород, метан и др.) образуют с кислородом взрывчатые смеси. Различного рода жиры и масла при соприкосновении со сжатым кислородом способны самовоспламеняться.

Пористые горючие вещества (уголь, угольная пыль, прессованный мох, торф), пропитанные жидким кислородом, при воспламенении в замкнутом пространстве дают взрыв большой разрушающей силы.

### 3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДА

**2** Всего несколько десятков лет назад кислород умели получать только в небольших количествах, и поэтому он был очень дорог. В настоящее время техника производства кислорода настолько развилась и усовершенствовалась, что можно получать очень большие количества дешевого кислорода. Это сделало возможным широкое внедрение кислорода в промышленность.

Все известные способы получения кислорода можно разбить на три основные группы;

- а) химические способы;
- б) электролиз воды;
- в) разделение воздуха.

**Химические способы.** Из всех способов получения кислорода, известных в технике, химические способы относятся к наиболее ранним. Они основаны на способности различных химических веществ в известных условиях выделять кислород. Например, *бертолетова соль* (химическое обозначение  $\text{KClO}_3$ ) при нагревании разлагается, выделяя кислород в количестве 270 л на 1 кг бертолетовой соли.

*Окись бария* (химическое обозначение  $\text{BaO}$ ) при нагревании до  $540^\circ\text{C}$  поглощает кислород из атмосферного воздуха, образуя перекись бария ( $\text{BaO}_2$ ). При дальнейшем нагревании до  $870^\circ\text{C}$  перекись бария разлагается, переходя снова в окись бария и выделяя поглощенный кислород. Посредством 1 кг окиси бария можно получить около 100 л кислорода.

*Салькомин* — зернистое, искусственно приготовляемое вещество, способное при давлении 6,6—7,7 *ата* и температуре  $35^\circ\text{C}$  поглощать кислород до 4% от веса поглотителя, выделяя его обратно при нагревании до  $95^\circ\text{C}$  и понижении давления до 1 *ата*.

Установка с 54 кг салькомина дает 10 кг час кислорода чистотой 99,5%.

Кислород можно получить также путем пропускания углекислого газа через свинцовокислый кальций ( $\text{Ca}_2\text{PbO}_4$ ) при температуре  $700^\circ\text{C}$ , разложением марганцовистокислого натрия ( $\text{Na}_2\text{MnO}_4$ ) водяным паром при  $450^\circ\text{C}$  или, наконец, действием серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) на бихромат калия ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

В некоторых случаях кислород выделяют из перекисей щелочных металлов: перекиси натрия ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) или калия ( $\text{KNaO}_2$ ), воздействуя на них парами воды в присутствии углекислого газа. 1 кг перекиси натрия дает до 90—100 л, а перекиси калия до 200 л кислорода.

В настоящее время все упомянутые химические способы не имеют промышленного значения, так как они малопродуктивны и дороги. Их применяют только в лабораторной и учебной практике для получения очень небольших количеств кислорода.

**Электролиз воды.** При пропускании через воду, в которую добавлен 20%-ный раствор едкого натра, постоянного электриче-



ского тока вода разлагается на кислород и водород. Оба эти вещества выделяются из воды в виде газа. Кислород собирается около положительного, а водород—около отрицательного полюса электрической цепи. На каждый кубический метр кислорода одновременно получается 2 м<sup>3</sup> водорода. Аппараты для получения кислорода и водорода из воды этим способом называются электролизерами.

Такой способ требует большого расхода электроэнергии: для получения 1 м<sup>3</sup> кислорода и 2 м<sup>3</sup> водорода надо затратить 12—15 *квт-ч*. Поэтому он применяется только там, где электрическая энергия очень дешева, например при использовании гидроэнергии, и главным образом с целью получения чистого водорода. В этом случае кислород получается как побочный продукт.

**Разделение воздуха.** Воздух представляет собой в основном смесь кислорода и азота, в которой эти газы не связаны между собой химическим взаимодействием.

Однако разделение воздуха на кислород и азот является сложной задачей. Осуществить разделение воздуха, находящегося в газообразном состоянии, практически очень трудно, так как частицы кислорода и азота теснейшим образом перемешаны между собой. Значительно легче произвести разделение жидкого воздуха.

Дело в том, что жидкий кислород и жидкий азот, которые образуют жидкий воздух, имеют различные температуры кипения. Жидкий азот, находясь под атмосферным давлением, кипит при температуре  $-195,8^{\circ}\text{C}$ , а жидкий кислород при  $-182,9^{\circ}\text{C}$ . Таким образом между температурами кипения этих сжиженных газов существует разница почти в  $13^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, если перевести воздух в жидкое состояние, а затем начать его постепенно испарять, то сначала будет преимущественно испаряться азот, обладающий более низкой температурой кипения. По мере испарения и улетучивания азота из жидкости она будет все более и более обогащаться кислородом. Повторяя этот процесс многократно, можно добиться желаемой степени разделения воздуха на азот и кислород и требуемой чистоты каждого газа.

Данный способ требует охлаждения газов до очень низкой температуры, при которой воздух переходит в жидкое состояние. Поэтому такой способ получения кислорода часто называют способом «глубокого охлаждения». В настоящее время получение кислорода из атмосферного воздуха способом глубокого охлаждения является наиболее экономичным, вследствие чего имеет широкое промышленное применение. Этот способ позволяет получать кислород (или азот) в любых количествах и по очень низкой цене, затрачивая при этом электроэнергии всего 0,5—1,6 *квт-ч* на 1 м<sup>3</sup> кислорода, в зависимости от размеров и технологической схемы установки. Описанию этого способа и посвящена настоящая книга.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ КИСЛОРОДА И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Бурное развитие промышленности и техники в нашем социалистическом государстве поставило вопрос о широком использовании кислорода как средства для улучшения и ускорения (интенсификации) процессов в ряде важнейших отраслей народного хозяйства. Успешное разрешение этой задачи является одним из крупных достижений нашей отечественной советской науки и техники.

Идея широкого промышленного применения кислорода в народном хозяйстве впервые в мире возникла и развилась в нашей стране. Еще в 1903 г. великий русский ученый Д. И. Менделеев высказал мысль о целесообразности использования кислорода в промышленности для усиления процессов горения, металлургических процессов и др.

После Великой Октябрьской социалистической революции, на основе успешного выполнения Сталинских пятилеток, промышленное применение кислорода было осуществлено на ряде заводов.

В настоящее время использование кислорода в народном хозяйстве неуклонно и планомерно расширяется в соответствии с общим подъемом социалистической индустрии. Познакомимся в кратких чертах с различными областями применения кислорода в промышленности.

**Сварка и резка металлов.** Для этих целей применяется чистый продукт, содержащий 98,5—99,2% кислорода. При газовой сварке кислород смешивают с горючим газом, например ацетиленом, чтобы ускорить процесс сгорания последнего. При добавлении кислорода температура пламени значительно повышается, что способствует быстрому расплавлению металла в месте сварки. При резке стали кислородом металл, нагретый до высокой температуры, сгорает в струе чистого кислорода, которая как бы «разрезает» металл. С помощью кислорода можно без особого труда резать стальные слитки толщиной до 1200 мм.

**Черная металлургия.** За последние годы кислород находит все более и более широкое применение в процессах выплавки чугуна и стали. В доменных печах, где производится выплавка чугуна из руды, кислородом обогащают воздух, вдуваемый в печь для сжигания загруженного в нее топлива. Уже сравнительно небольшое обогащение воздуха, до 30% кислорода в дутье, позволяет увеличить производительность доменной печи, использовать более бедные железом руды, снизить расход топлива при выплавке специальных сортов чугуна, а также дает другие преимущества. Доменная печь требует очень больших количеств кислорода, измеряемых десятками тысяч кубических метров в час.

При выплавке стали из чугуна и железного лома в мартеновских печах и конверторах чистым кислородом продувают жид-

кий расплавленный металл, а также обогащают кислородом подаваемое воздушное дутье. Это резко ускоряет процесс сталеплавления, повышает производительность сталеплавильных агрегатов, улучшает качество стали, снижает ее себестоимость и дает экономию в расходе топлива.

В Советском Союзе впервые в мире был применен кислород при выплавке стали в мартеновских печах еще в 1932 г. В этот же период русский инженер Н. И. Мозговой разработал новый способ введения кислорода непосредственно в жидкий расплавленный металл. Этот способ явился основой применения кислорода при различных процессах выплавки стали.

Особенно большие преимущества дает применение кислорода при выплавке в электропечах специальных легированных сталей.

В литейном производстве при плавке чугуна в вагранках кислород подается в фурмы вагранки, улучшая горение топлива и, следовательно, повышая температуру чугуна в вагранке. Это увеличивает производительность литейных цехов, снижает брак по литью, дает экономию топлива. Кроме того, повышение температуры металла создает условия для получения так называемого модифицированного чугуна, обладающего высокой прочностью и хорошей сопротивляемостью изгибу и удару.

**Цветная металлургия** использует процессы плавки различных руд для получения меди, цинка, никеля и других металлов. Применение в этих процессах кислорода для обогащения дутья, подаваемого в плавильные агрегаты, способствует повышению их производительности, увеличивает выход цветных металлов, снижает их себестоимость, облегчает труд рабочих и позволяет использовать более бедные руды, переработка которых ранее считалась нецелесообразной.

**Химическая промышленность** нуждается в больших количествах дешевого кислорода. Этот кислород обычно получают также из атмосферного воздуха наряду с чистым азотом, необходимым для производства синтетического аммиака и азотной кислоты, или в качестве побочного продукта при получении чистого водорода из воды способом электролиза. Кислород в химической промышленности применяют для интенсификации процесса получения азотной и серной кислот, в содовом производстве, при получении метанола, формальдегида, искусственного бензина, смазочных масел, а также в ряде других производств.

**Газификация топлива.** При современной технике широко применяются процессы газификации, т. е. процессы превращения твердого топлива (угля, кокса, торфа) в горючий газ, который используется или в качестве топлива для промышленных и бытовых нужд, или как сырье во многих важных химических производствах. Газификация осуществляется в специальных аппаратах (газогенераторах), куда вдувается воздух и где происходит превращение твердого топлива в газ. При воздушном дутье получается газ, содержащий большое количество инертного азота,

что снижает качество газа. Если же в генератор вместо воздуха подавать кислород в смеси с водяным паром, то газификация происходит быстрее, газ получается без примеси азота и состоит в основном из водорода и окиси углерода. Такой газ может применяться как сырье для получения из него искусственного бензина, синтетического аммиака, метанола и других очень важных продуктов. Осуществляя процесс газификации под давлением до 30 *ати*, становится возможным и экономически выгодным превращать в ценный горючий газ такие сорта топлива, как местные бурые низкосортные угли, торф, угольная мелочь и пр. Получаемый при этом газ обладает высокой теплотворной способностью, т. е. при сгорании может давать большое количество тепла, равное 4000—4500 *кал* на 1  $\text{м}^3$  газа. Такой газ используется для газификации городов путем подачи его по трубопроводам на большие расстояния.

Таким образом кислород открывает широкие возможности для использования огромных запасов различного топлива, которым так богата наша страна, для газификации социалистических городов, фабрик и заводов.

**Прочие области применения кислорода.** Выше мы перечислили только основные области применения кислорода в народном хозяйстве. Кроме них существует еще много не менее важных потребителей, которые также широко используют кислород. К ним относятся авиация, применяющая кислород для поддержки дыхания летчиков при высотных полетах, медицина, пользующаяся им при лечении многих болезней. Жидкий кислород в больших количествах используется для производства взрывных работ.

Этим не исчерпываются все возможности использования кислорода при современном уровне техники, и применение его в дальнейшем будет все более и более расширяться.

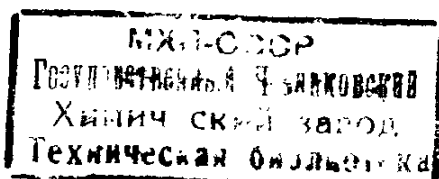
Сказанного достаточно для того, чтобы стало ясным то огромное значение, которое имеет кислородное производство для нашей страны с ее неуклонно развивающейся социалистической промышленностью.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Как развивалась кислородная промышленность до и после Великой Октябрьской социалистической революции?
2. Каковы основные свойства кислорода, и в каких видах он находится на земле и в атмосфере?
3. Сколько весит 1  $\text{м}^3$  газообразного кислорода и 1 л жидкого кислорода?
4. Какова температура жидкого кислорода и сколько литров газа дает при испарении 1 л жидкого кислорода?
5. Какие вещества дают с кислородом взрывчатые смеси или способны самовоспламениться при соприкосновении с ним?
6. Какие вещества взрывоопасны при пропитке их жидким кислородом?
7. Какие существуют способы получения кислорода и в чем их сущность?
8. В каких отраслях народного хозяйства применяется кислород?

9. Определить количество воздуха, которое нужно переработать в установке для получения 1 млн.  $m^3$  кислорода в год. Степень извлечения кислорода из воздуха 90%.
10. Установка дает 100  $m^3/час$  кислорода. Определить вес кислорода, получаемого на данной установке в течение смены (8 час.).
11. Цистерна вмещает 10 000 л жидкого кислорода. Определить вес кислорода в цистерне, а также количество газа, которое можно получить при его полном испарении.
12. Определить количество бертолетовой соли, которое нужно затратить для получения 100  $m^3$  кислорода.
13. Определить количество кислорода, которое можно получить: 1) из 50 кг салькомина; 2) из 5 кг перекиси калия; 3) из 8 кг перекиси натрия.
14. Определить количество кислорода и водорода, которое можно получить посредством электролиза воды, затратив для этого 3000  $квт-ч$  энергии.
15. Определить годовой расход энергии для установки, получающей кислород из воздуха в количестве 8 млн.  $m^3$  в год при удельном расходе энергии 0,7  $квт-ч/m^3$ .
16. Определить удельный расход энергии на установке, получающей в год 800 000  $m^3$  кислорода и расходующей на это 1 200 000  $квт-ч$  электроэнергии в год.

3366



## ГЛАВА II

# СЖИЖЕНИЕ ВОЗДУХА И ЕГО РЕКТИФИКАЦИЯ

### 1. СВОЙСТВА ГАЗОВ

**Понятие о газе и паре.** Все тела в природе могут находиться в одном из трех состояний: твердом, жидком, газообразном.

Нагревая или охлаждая данное вещество, можно изменять его состояние. Например, вода (жидкость) при нагревании превращается в пар (газ), а при охлаждении переходит в лед (твердое тело). Кислород (газ) при охлаждении сжижается, а при дальнейшем понижении температуры превращается в твердое тело.

Разделение веществ на газы и пары является довольно условным, и газы следует рассматривать как сильно перегретые пары. Большинство газов трудно превратить в жидкое состояние, в то время как пары легко сжижаются уже при сравнительно небольшом охлаждении или повышении давления. Тем не менее в технике оставлены названия «газ» и «пар», чтобы не менять уже привычные представления. В противном случае пришлось бы именовать «парами» такие вещества, как воздух, кислород, азот и др., обычно называемые газами.

Наиболее широкое применение в технике получили следующие газы и их смеси: атмосферный воздух, кислород, азот, водород, аммиак, углекислота, метан, ацетилен, окись углерода, гелий и др. Из паров больше применение имеют водяной пар, пары аммиака, пары бензина и др.

Основными величинами (параметрами), характеризующими состояние данного газа, являются температура, давление и удельный объем.

**Давление.** Величина давления газа выражается в атмосферах или в миллиметрах ртутного или водяного столба. Давление окружающего нас воздуха называется *атмосферным* давлением. Средняя величина атмосферного давления воздуха, как показали точные измерения, равна 1,033 кг на площадь в 1 см<sup>2</sup>. Эта величина называется *физической атмосферой*. Если давление газа превышает атмосферное, то мы имеем дело с так называемым *избыточным* давлением, которое принято обозначать *ати*, если оно измерено в атмосферах. Прибавив к избыточному давлению величину окружающего атмосферного давления, называемого также *барометрическим*, мы получаем так называемое *абсолютное*

давление, кратко обозначаемое *ата*. В технике для простоты подсчетов принято считать атмосферное давление всюду равным 1 *ата*, называя эту величину *технической атмосферой*. Тогда для получения абсолютного давления нужно к давлению в сосуде, показываемому манометром, прибавить 1 *ата*. Манометр всегда показывает избыточное давление, т. е. разность между абсолютным давлением газа в сосуде и наружным барометрическим давлением. 1 техническая атмосфера =  $1 \text{ кг/см}^2 = 10\,000 \text{ мм вод. ст.}$ , или 736 *мм рт. ст.*

Если давление в сосуде ниже атмосферного, то мы имеем дело с разрежением, или *вакуумом*.

**Температура.** Степень нагретости вещества называется температурой. Температура измеряется в градусах стоградусной шкалы ( $^{\circ}\text{C}$ ) или в градусах абсолютной шкалы. В стоградусной шкале за  $0^{\circ}$  принята температура таяния льда, а за  $100^{\circ}$  — температура кипения воды при атмосферном давлении. В абсолютной шкале (шкала Кельвина, обозначаемая символом  $^{\circ}\text{K}$ ) нуль лежит на  $273^{\circ}$  ниже нуля стоградусной шкалы, т. е. соответствует  $-273^{\circ}\text{C}$ . Для перевода температуры со стоградусной шкалы в абсолютную нужно, следовательно, прибавлять  $273^{\circ}$  (точнее  $273,2^{\circ}$ ); при переводе же из абсолютной шкалы в стоградусную нужно, наоборот, отнимать  $273^{\circ}$ . Например, температура воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$  будет:  $20 + 273 = 293^{\circ}\text{K}$ . Температура кипения азота в абсолютной шкале равна  $77,4^{\circ}\text{K}$ , что соответствует  $77,4 - 273,2 = -195,8^{\circ}\text{C}$ . В технике стоградусная шкала является настолько общепринятой, что если говорят или пишут, например,  $20^{\circ}$ , то под этим подразумевается  $20^{\circ}\text{C}$ .

**Удельный вес и удельный объем.** *Удельным весом* называется вес 1  $\text{м}^3$  газа в килограммах. Он обозначается греческой буквой  $\gamma$  (гамма) и выражается в  $\text{кг/м}^3$ . *Удельным объемом* называется объем 1  $\text{кг}$  газа, выраженный в куб. метрах. Он обозначается латинской буквой  $v$  и выражается в  $\text{м}^3/\text{кг}$ .

Удельный вес и удельный объем газа являются величинами обратными друг другу, т. е.

$$\gamma = \frac{1}{v}$$

Чтобы подсчитать общий вес газа, нужно его объем умножить на удельный вес. Например, баллон вмещает 6  $\text{м}^3$  кислорода. Удельный вес кислорода равен  $1,429 \text{ кг/м}^3$ . Вес газа в баллоне составит:

$$6 \times 1,429 = 8,574 \text{ кг}$$

Удельный вес и удельный объем газа изменяются в зависимости от температуры. Поэтому всегда указывается температура, при которой определены эти величины.

**Основные законы для газов.** Для газов существует несколько физических законов, основными из которых являются два: закон Бойля-Мариотта и закон Гей-Люссака.

Закон Бойля-Мариотта гласит: при постоянной температуре удельный объем газа изменяется обратно пропорционально изменению давления. Это значит, что, например, при повышении давления газа в 150 раз его объем уменьшится тоже в 150 раз. Обозначив давление газа через  $P_1$  и  $P_2$ , а соответствующие им удельные объемы через  $v_1$  и  $v_2$ , можно написать следующую формулу:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

*Примеры.* 1. Кислород находится в баллоне емкостью 40 л под давлением 150 *ата*. Если выпустить этот кислород в резиновый газгольдер с давлением в 1 *ата*, то он займет объем в 150 раз больший, т. е.

$$40 \cdot 150 = 6000 \text{ л} = 6 \text{ м}^3$$

2. Имеется два баллона, каждый емкостью по 40 л. Один из них наполнен кислородом под давлением 150 *ата*, а второй — порожний (1 *ата*). Если соединить оба баллона трубкой и переместить газ из полного баллона в порожний, то в обоих установится одно и то же давление газа, равное

$$\frac{150 \cdot 40}{2 \cdot 40} = 75 \text{ ата}$$

3. В воздушном компрессоре воздух в I ступени сжимается с 1 до 4 *ата*, а во II ступени с 4 до 16 *ата*. Во сколько раз полезный объем цилиндра II ступени меньше объема цилиндра I ступени?

$$\frac{16}{4} = 4, \text{ т. е. в 4 раза}$$

Закон Гей-Люссака гласит: при постоянном давлении изменение удельного объема газа прямо пропорционально изменению его абсолютной температуры. Обозначив абсолютные температуры газа через  $T_1$  и  $T_2$ , а соответствующие им удельные объемы через  $v_1$  и  $v_2$ , можно написать формулу закона Гей-Люссака в следующем простом виде:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Например, температура газа изменилась с 273 до 274°K, т. е. газ нагрелся на 1°. Если при этом давление газа оставалось постоянным, то, по закону Гей-Люссака, следует, что объем газа увеличился до величины

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot 274}{273} = v_1 \cdot \frac{1}{273} \cdot v_1$$

Другими словами, при изменении температуры газа на 1° при постоянном давлении его удельный объем изменяется в ту же сторону на  $\frac{1}{273}$  часть первоначального объема. Эта величина называется объемным коэффициентом расширения газа, и она одинакова для всех газов.



*Примеры.* 1. При 0 и 1 *атм* 1 кг кислорода имеет объем, равный 0,7 м<sup>3</sup>. При нагревании до 20° объем этого же количества кислорода увеличится и станет равным:

$$v_2 = 0,7 \cdot \frac{273 + 20}{273} = 0,752 \text{ м}^3$$

2. Баллон емкостью 40 л был наполнен кислородом до давления 155 *атм* при 30°. Какое давление будет в баллоне при понижении температуры до - 10°? Ответ будем искать следующим путем.

Сначала представим себе, что газ в баллоне охладился при постоянном давлении  $P_1 = 155 \text{ атм}$  с температуры  $T_1 = 273 + 30 = 303^\circ \text{ К}$  до  $T_2 = 273 - 10 = 263^\circ \text{ К}$ . В этом случае по закону Гей-Люссака объем газа должен был бы уменьшиться до величины:

$$v' = v_1 \frac{T_2}{T_1} = v_1 \frac{263}{303} = 0,866 v_1$$

Затем допустим, что газ снова расширился, заняв весь первоначальный объем баллона  $v_1$ , но уже при постоянной температуре  $T_2 = 263^\circ \text{ К}$ . В этом случае по закону Бойля-Мариотта давление газа должно понизиться во столько раз, во сколько увеличился его объем. Следовательно, искомое давление  $P_2$ , соответствующее температуре  $T_2$ , будет равно:

$$P_2 = P_1 \frac{0,866 v_1}{v_1} = 155 \cdot 0,866 = 134,2 \text{ атм}$$

**Теплоемкость.** Количество теплоты измеряется в тепловых единицах—калориях. В технике принята *килограмм-калория (ккал)*, представляющая собой количество тепла, потребное для нагревания 1 кг воды на 1°, а именно с 14,5 до 15,5°C.

Теплоемкостью называется количество тепла, требующееся для нагревания данного вещества на 1°. Следовательно, теплоемкость воды будет равна единице, или 1 *ккал/кг °С*. Теплоемкость меди, например, равна 0,094 *ккал/кг °С*, латуни 0,092 *ккал/кг °С*, стали 0,114 *ккал/кг °С*.

Теплоемкость газов несколько выше, чем металлов. Например, при 1 *атм* она равна: для воздуха 0,241 *ккал/кг °С*, для азота 0,249 *ккал/кг °С*, для кислорода 0,218 *ккал/кг °С*.

Теплоемкость газов в значительной степени зависит от температуры и давления газов. Поэтому при различных расчетах пользуются специальными графиками для нахождения теплоемкости газов при данных условиях. В частности, теплоемкость газообразного воздуха заметно повышается с повышением давления и понижением температуры.

*Примеры.* 1. Воздух в холодильнике охладился с 100 до 20°. Теплоемкость воздуха равна 0,241 *ккал/кг °С*.

Количество тепла, переданное от воздуха воде, составит:

$$0,241 (100 - 20) = 19,28 \text{ ккал/кг}$$

2. Кислород в теплообменнике нагрелся с температуры -190° до +10°.

Количество тепла, переданного в теплообменнике от воздуха 1 кг кислорода, составит:

$$0,218 \cdot (190 - 10) = 43,6 \text{ ккал/кг кислорода}$$

## 2. СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ

Если понижать температуру газа, т. е. охлаждать его, то всякий газ может быть превращен в жидкое состояние. Схема сжижения газа показана на рис. 1. Сначала при охлаждении газа от него отнимается теплота перегрева и газ превращается в сухой насыщенный пар. При дальнейшем охлаждении отнимается дополнительное количество тепла (теплота конденсации), и сухой насыщенный пар начинает превращаться в пар влажный, в котором содержатся капельки жидкости. Когда теплота конденсации будет полностью отнята, весь влажный пар превратится

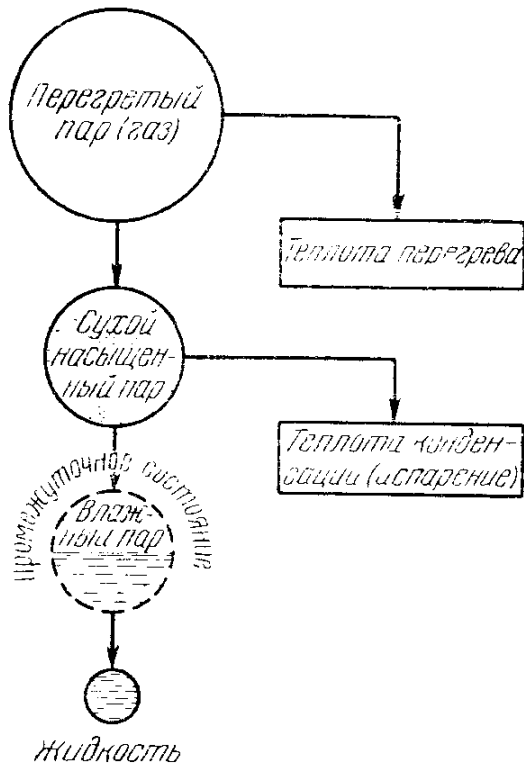


Рис. 1. Схема сжижения газа.

в жидкость. Если теперь начать нагревать полученную жидкость, то она снова превратится в газ; пройдя при этом те же промежуточные состояния влажного и сухого насыщенного пара. Чтобы вся жидкость испарилась, к ней нужно подвести количество тепла, равное теплоте испарения, которая будет в точности равна теплоте конденсации.

Таким образом сжижение газа и испарение полученной при этом жидкости являются обратимыми процессами.

Температура сжижения газа зависит от давления. Чем меньше давление газа, тем ниже будет температура его сжижения. С повышением давления температура сжижения газа также повышается. Однако для каждого газа существует определенная

температура, выше которой этот газ нельзя превратить в жидкость ни при каком, даже очень высоком, давлении. Эта температура называется *критической температурой* газа, а соответствующее ей давление, при котором происходит сжижение газа,—*критическим давлением*.

В табл. 1 приведены температуры сжижения некоторых газов при атмосферном давлении, а также критические температуры и критические давления для них.

Как видно из данных таблицы, наиболее легко из всех указанных газов сжижается аммиак, так как его критическая температура имеет наиболее высокое значение. Довольно легко превращается в жидкость и углекислота. Наиболее трудно сжижаются водород и гелий, которые обладают очень низкой критической температурой.

Температура сжижения при атмосферном давлении, критическая температура и критическое давление для различных газов

Название газа	Температура сжижения при атмосферном давлении °С	Критическая температура °С	Критическое давление <i>ата</i>
Аммиак . . . . .	-33,4	-132,4	115,8
Углекислота . . . . .	-78,5	-31,0	75,3
Ксенон . . . . .	-109,1	-116,6	60,1
Криптон . . . . .	-151,7	-2,5	56,1
Метан . . . . .	-161,4	-82,5	47,2
Кислород . . . . .	-182,95	-118,8	51,55
Аргон . . . . .	-185,7	-122,4	49,6
Воздух . . . . .	От -192 до -194,4	-140,6	38,4
Азот . . . . .	-195,8	-147,1	31,6
Неон . . . . .	-245,9	-228,7	27,8
Водород . . . . .	-252,74	-239,9	13,2
Гелий . . . . .	-268,88	-267,9	2,34

Сжижение воздуха при атмосферном давлении начинается при  $-192^{\circ}\text{C}$  и заканчивается при  $-194,4^{\circ}\text{C}$ , так как он представляет собой смесь азота и кислорода, имеющих разные температуры сжижения.

В начале сжижения воздуха кислород конденсируется в больших количествах, чем азот, так как имеет более высокую температуру сжижения. Поэтому температура сжижения воздуха в начале процесса будет несколько более высокой. К концу сжижения начинается конденсация в основном азота, имеющего более низкую температуру сжижения, и поэтому температура сжижения воздуха также понижается.

Из табл. 1 видно, что, например, для сжижения воздуха при атмосферном давлении его нужно охладить до температуры от  $-192$  до  $-194,4^{\circ}\text{C}$ . Если же воздух находится при критическом давлении, т. е. при  $38,4 \text{ ата}$ , то сжижение воздуха начнется уже при  $-140,6^{\circ}\text{C}$ . При давлении ниже критического, но выше атмосферного воздух будет сжиматься при температуре, лежащей в пределах от  $-140,6^{\circ}$  и до  $-192^{\circ}\text{C}$ . При температуре выше критической, т. е. выше  $-140,6^{\circ}\text{C}$ , воздух нельзя превратить в жидкое состояние, ни при каком, даже очень высоком давлении.

### 3. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Понятие о холодильном цикле.** Из предыдущего параграфа следует, что сжижение воздуха с целью извлечения из него кислорода неразрывно связано с охлаждением воздуха до очень низкой температуры. Охлаждение является процессом, обратным нагреванию, и состоит в отнятии тепла от охлаждаемого тела другим веществом, имеющим более низкую температуру. В процессе охлаждения происходит передача тепла от более нагретого тела (охлаждаемого) к менее нагретому телу (охлаждающему). Поскольку при этом от охлаждаемого тела отнимается часть тепловой энергии, то его температура понижается.

Отнятие тепла от охлаждаемого вещества и передача его другому веществу осуществляют посредством *хладоагента*, в качестве которого можно применить любой газ. В кислородном производстве для этой цели используют аммиак, метан, этилен, азот и, наконец, воздух.

Для того чтобы хладоагент мог выполнять свое назначение, его температуру искусственно понижают ниже температуры охлаждаемого вещества, вследствие чего происходит передача тепла от охлаждаемого тела к хладоагенту. При этом температура последнего вновь повышается, и с целью ее понижения хладоагент приводят в соприкосновение с другим, менее нагретым веществом, например охлаждающей водой. Таким образом с помощью хладоагента тепло как бы переносится с более холодного тела (охлаждаемый газ) на более нагретое (вода).

Этот процесс переноса тепла подобен перекачиванию воды насосом с более низкого уровня на более высокий. Так же, как и подача воды насосом, описанный выше процесс переноса тепла возможен лишь при затрате соответствующего количества энергии (работы).

Процесс охлаждения, осуществляемый с помощью какого-либо хладоагента и сопровождающийся затратой работы, называется *холодильным процессом* или *холодильным циклом*.

Каким же путем осуществляется понижение температуры самого хладоагента в холодильном цикле? Для этой цели используются процессы расширения газа, применяемого в качестве хладоагента. Предварительно газ сжимается в компрессоре, на что расходуется работа, затрачиваемая в холодильном цикле.

В кислородном производстве в качестве хладоагента для охлаждения и сжижения воздуха наиболее часто применяется тот же воздух. При расширении воздух заметно охлаждается. Это можно проверить следующим простым опытом. Возьмем колбу, наполненную на  $\frac{1}{3}$  водой (рис. 2) и закрытую пробкой, через которую пропущена трубка от резиновой груши. Сдавив грушу, мы сожмем воздух в колбе, так как передадим туда воздух, находившийся в груше. Спустя некоторое время после того, как установится равновесие между парами воды (насыщающими воз-

дух в колбе) и жидкостью, быстро ослабим грушу. Благодаря этому воздух в колбе расширится, и произойдет его охлаждение. Внешне это будет заметно по туману, который образуется в колбе вследствие конденсации паров воды, находящихся в охлажденном воздухе.

С целью получения очень низкой температуры, необходимой для сжижения воздуха, в холодильный цикл дополнительно включают теплообменник. Теплообменник служит для охлаждения сжатого воздуха перед его расширением. Это охлаждение в теплообменнике осуществляется обратным потоком более холодного газа, уже охлажденного в процессе расширения.

Теплообменник сам по себе не производит холода. Он только накапливает и сохраняет холод в кислородном аппарате, являясь своеобразным «барьером», препятствующим уносу холода обратными потоками газов из аппарата.

Без теплообменника было бы невозможно охладить воздух до той температуры, которая требуется для его сжижения.

Расширение сжатого воздуха можно осуществлять двумя путями:

- 1) пропусканием через узкую щель специального расширительного вентиля. Такой процесс называется *дресселированием*;
- 2) расширением воздуха в цилиндре или на лопатках рабочего колеса специальной машины—детандера, с производством внешней работы.

Соответственно этому в технике глубокого охлаждения применяются два основных холодильных цикла: 1) цикл с дресселированием воздуха и 2) цикл с расширением воздуха в детандере и производством внешней работы.

Оба эти цикла могут применяться при получении холода, необходимого для поддержания воздухоразделительного аппарата в охлажденном рабочем состоянии, а также для получения кислорода в жидком виде.

Рассмотрим эти циклы более подробно.

**Цикл с дресселированием.** На рис. 3 изображена схема холодильного цикла с дресселированием. Воздух сжимается компрессором 1 и проходит холодильник 2, где охлаждается проточной водой. Затем сжатый воздух направляется в трубки змеевика теплообменника 3, в котором подвергается дальнейшему охлаж-

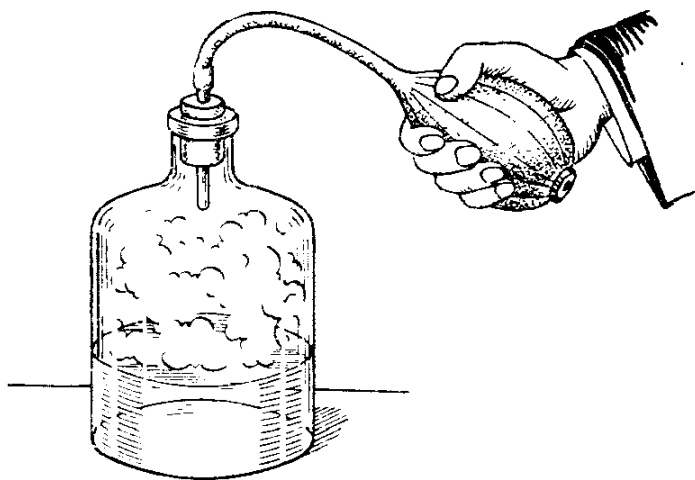


Рис. 2. Опыт с охлаждением воздуха при расширении его в колбе.

дению обратным потоком холодных паров, идущих от ожижителя 4. Охлажденный сжатый воздух подвергается расширению в расширительном (дрессельном) вентиле 5. При этом воздух сильно охлаждается и частично сжижается, собираясь в ожижителе 4. Остальная часть воздуха, оставшаяся в газообразном виде, но имеющая очень низкую температуру, равную температуре жидкости в сосуде 4, уходит между трубками теплообменника 3, охлаждая при этом поступающий по трубкам сжатый воздух.

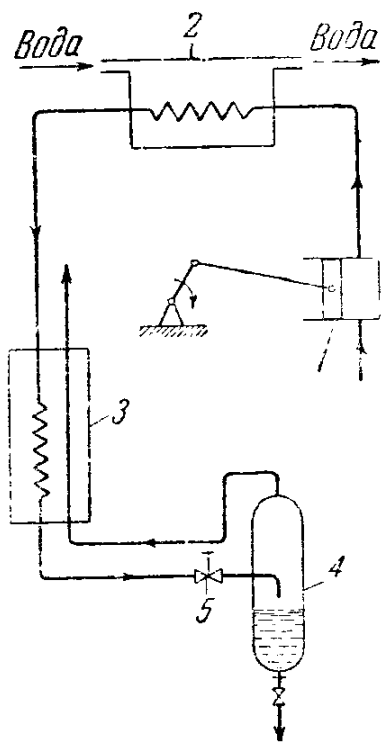


Рис. 3. Схема холодильного цикла с дросселированием:

1—компрессор; 2—холодильник; 3—теплообменник; 4—ожижитель; 5—расширительный вентиль.

Охлаждение воздуха до температуры, соответствующей началу его сжижения, происходит в холодильном цикле не сразу, а постепенно при помощи теплообменника. Первые порции воздуха после расширения его в расширительном вентиле имеют еще не столь низкую температуру. Но, поступая затем в теплообменник, холодный расширившийся воздух понижает температуру следующих порций сжатого воздуха, подводимого к расширительному вентилю. Последующее расширение этого предварительно охлажденного воздуха еще более снижает его температуру после вентиля, что в свою очередь вызывает дальнейшее охлаждение сжатого воздуха. Так происходит до тех пор, пока воздух после расширительного вентиля не будет охлажден до температуры, достаточной для его сжижения при данном давлении.

Охлаждение сжатого воздуха при его дросселировании посредством пропускания через вентиль объясняется следующим физическим явлением. Как известно, газы обладают очень большой сжимаемостью. Одно и то же весовое количество газа может занимать или очень малый объем при очень высоком давлении, или большой объем при малом давлении. Зависимость между объемом и давлением газа выражается законом Бойля-Мариотта.

Объем газа зависит также и от его температуры. При нагревании газа, находящегося под постоянным давлением, объем его будет увеличиваться, а при охлаждении—уменьшаться. Зависимость между объемом и температурой газа выражается законом Гей-Люссака.

Законы Бойля-Мариотта и Гей-Люссака действительны только для «идеальных» газов, которых не существует в природе. Действительные же «реальные» газы, с которыми нам приходится повседневно иметь дело, несколько отступают от этих законов. Так, например, при более высоких давлениях реальный газ спо-

собен сжиматься в большей степени, чем это следует по закону Бойля-Мариотта. Чем ниже температура реального газа, тем больше он отступает от закона Гей-Люссака.

Воздух не является идеальным газом, и поэтому он не подчиняется точно закону Бойля-Мариотта. При сжатии воздух способен уменьшать свой объем в несколько большей степени, чем это следует по закону Бойля-Мариотта. При этом молекулы сжатого воздуха сближаются и между ними начинают действовать дополнительные силы взаимного притяжения. Когда же сжатый воздух проходит через отверстие вентиля (дросселируется), то он расширяется до объема, соответствующего давлению после расширительного вентиля. При этом воздух должен производить работу преодоления указанных выше дополнительных сил взаимного притяжения молекул. На эту работу расходуется внутренняя энергия воздуха, что внешне и выражается в понижении температуры воздуха после расширительного вентиля, т. е. в охлаждении воздуха.

Способ дросселирования дает незначительное понижение температуры воздуха при его расширении. Приблизительно можно считать, что уменьшение давления на 1 *ата* дает понижение температуры воздуха примерно на  $\frac{1}{4}^{\circ}$ .

*Пример.* Давление воздуха, расширяющегося в вентиле, уменьшается с 200 до 10 *ата*. Температура перед вентилем 10°C. Понижение температуры составит:

$$\frac{1}{4} \cdot 190 = 47,5$$

Следовательно, после вентиля температура воздуха будет равна:

$$10 - 47,5 = -37,5$$

Более точно температуру воздуха после дросселирования можно определить по следующей формуле:

$$t_2 = t_1 - 0,29 (P_1 - P_2) \left( \frac{273}{273 - t_1} \right)^2$$

где  $t_2$  — температура после дросселирования в °C;

$t_1$  — температура до дросселирования в °C;

$P_1$  — давление до дросселирования в *ата*;

$P_2$  — давление после дросселирования в *ата*.

*Пример.* Имеем условия:  $P_1 = 200$  *ата*;  $P_2 = 10$  *ата*;  $t_1 = 10^{\circ}$ . Подставляя эти значения в формулу, получим:

$$\begin{aligned} t_2 &= 10 - 0,29 (200 - 10) \left( \frac{273}{273 - 10} \right)^2 = 10 - 0,29 \cdot 190 \cdot 0,93 = \\ &= 10 - 51,24 = -41,24^{\circ} \end{aligned}$$

Из приведенных примеров следует, что степень охлаждения будет тем больше, чем больше разность давления  $P_1 - P_2$  и чем ниже температура воздуха ( $t_1$ ) перед дросселированием. Поэтому

теплообменник, устанавливаемый перед расширительным вентиляем и понижающий температуру воздуха перед дросселированием, дает возможность получить довольно быстро очень низкую температуру воздуха, необходимую для частичного превращения его в жидкое состояние.

С помощью описанного холодильного цикла с дросселированием можно практически получить показатели, приведенные в табл. 2

Таблица 2

Показатели для цикла с дросселированием

Показатель	Давление сжатого воздуха <i>ата</i>			
	60	100	150	200
Количество холода на 1 кг воздуха, <i>ккал</i> . . . . .	3,0	5,0	6,7	8,1
Отношение жидкого воздуха к общему количеству воздуха, пропущенному через расширительный вентиль, % . . . . .	0,25	2,25	3,95	5,35
Расход энергии на 1 кг жидкого воздуха, <i>квт-ч</i> . . . . .	70,0	8,4	5,2	4,1

Из табл. 2 видно, что цикл с дросселированием обладает малой холодопроизводительностью, так как при этом получается лишь небольшое количество холода на 1 кг воздуха, пропущенного через расширительный вентиль. Количество жидкого воздуха также невелико и не превышает 5,35% при начальном давлении 200 *ата*. Расход энергии на получение 1 кг жидкого воздуха этим способом также довольно высок.

Из табл. 2 следует, что энергетические показатели данного цикла улучшаются по мере повышения давления сжатия воздуха. Применять давления свыше 200 *ата* в данном цикле нецелесообразно, так как при дальнейшем повышении давления перед расширительным вентиляем величина понижения температуры воздуха при дросселировании будет уже уменьшаться. При дросселировании же воздуха с давлением свыше 310 *ата* он не только не понижает, но даже повышает свою температуру при расширении.

Достоинством цикла с дросселированием является его относительная простота, а недостатком—необходимость применения воздуха высокого давления, что удорожает компрессорное оборудование.

Поэтому данный холодильный цикл применяется только в установках малой и средней производительности для получения газообразного кислорода. В этих установках холодильный цикл с дросселированием служит для покрытия потерь холода в кислородном аппарате.



Для повышения холодопроизводительности и экономичности цикла с дросселированием применяют предварительное аммиачное охлаждение сжатого воздуха перед теплообменником. Это примерно в 2 раза улучшает показатели холодильного цикла.

**Цикл с расширением воздуха в детандере и производством внешней работы.** Этот цикл основан на явлении сильного охлаждения сжатого газа, которое происходит в случае расширения его с одновременным производством внешней работы. Такой процесс имеет место при расширении сжатого воздуха в цилиндре поршневого двигателя (детандера) или на лопатках ротора воздушной турбины (турбодетандера).

При расширении газ производит внешнюю работу за счет содержащейся в нем внутренней тепловой энергии, вследствие чего он сам сильно охлаждается. Охлаждение будет тем больше, чем больше степень расширения, т. е. разность между начальным и конечным давлениями газа, другими словами, чем больше будет работа, производимая газом при расширении.

Этот способ охлаждения газа очень эффективен и позволяет даже при небольшом давлении быстро охлаждать воздух до очень низкой температуры, при которой он превращается в жидкость.

В табл. 3 приведена температура воздуха в конце расширения его в детандере с различного начального давления до конечного давления в 1 *ата* и при начальной температуре 30°.

Таблица 3

Теоретическая и действительная температура воздуха в конце расширения в детандере при различном начальном давлении

Начальное давление <i>ата</i>	Конечная температура, °С		Начальное давление <i>ата</i>	Конечная температура, °С	
	теоретическая	действительная		теоретическая	действительная
10	-123	-83	40	-175	-118
20	-153	-102	50	-182	-122
30	-168	-112	60	-187	-124

Действительная температура в конце расширения всегда будет выше теоретической вследствие несовершенства работы детандера по сравнению с теоретическим процессом расширения воздуха в нем.

Схема холодильного цикла среднего давления с детандером изображена на рис. 4. Воздух сжимается в компрессоре 1 до давления 20—40 *ата* и, пройдя змеевик водяного холодильника 2, поступает в теплообменники 3 и 4. После теплообменника 3

часть воздуха в количестве 70—80% отводится в цилиндр поршневого детандера 5. Сжатый и охлажденный в предварительном теплообменнике 3 воздух, расширяясь до давления в 1 *ата*, толкает поршень детандера 5, производя тем самым внешнюю работу, а сам при этом сильно охлаждается.

Расширившийся и охладившийся в детандере воздух отводится затем наружу через теплообменники 4 и 3, отдавая свой холод поступающему сжатому воздуху. Остающиеся 20—30%

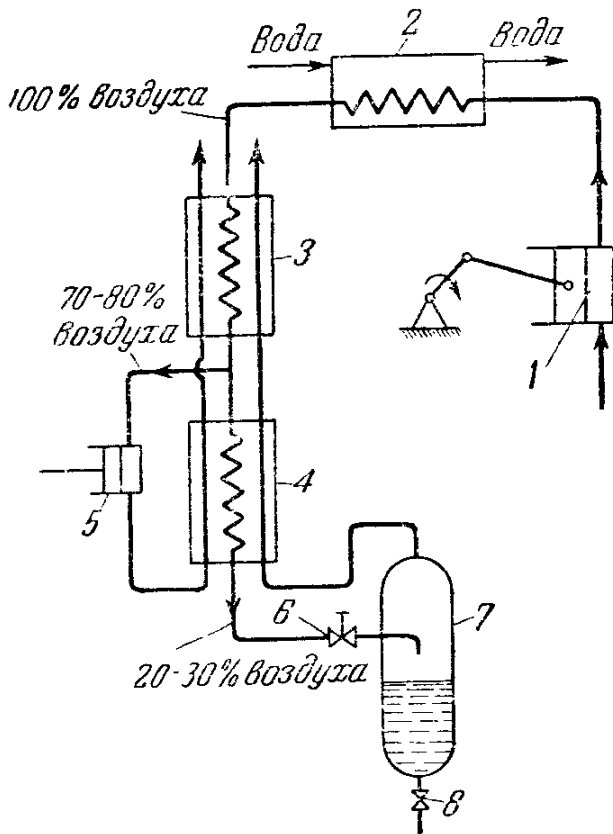


Рис. 4. Схема холодильного цикла среднего давления с детандером:

- 1 — компрессор; 2 — холодильный контур;
- 3, 4 — теплообменники; 5 — детандер;
- 6, 8 — расширительные вентили;
- 7 — сборник.

низкой температуры, порядка от  $-160^{\circ}$  до  $-170^{\circ}\text{C}$ . В этом случае вместо поршневого детандера применяется турбодетандер, в котором расширение воздуха происходит на лопатках быстро вращающегося рабочего колеса (ротора). Такой холодильный цикл с применением турбодетандера и воздуха низкого давления впервые был разработан в СССР в 1939 г. академиком П. Л. Капица.

Схема холодильного цикла низкого давления с турбодетандером дана на рис. 5. Воздух сжимается в турбокомпрессоре 1 до давления 6—7 *ата*, проходит водяной холодильный контур 2 и направляется в теплообменник 3, где охлаждается до  $-160^{\circ}\text{C}$ . Затем почти весь воздух (около 95% общего количества) идет в турбодетандер 4, где расширяется до 1 *ата* и при этом охлаждается

Остающиеся 20—30% сжатого воздуха, не прошедшие через детандер, идут к расширительному вентилю 6 и, сжижаясь после дросселирования, собираются в сборнике 7, откуда сливаются через вентиль 8. Испарившаяся в сосуде часть жидкого воздуха направляется обратно в теплообменники 4 и 3, отдавая свой холод сжатому воздуху.

Количество холода, получаемого в цикле с детандером, зависит от давления, температуры и количества воздуха, направляемого в детандер.

Чем ниже давление, тем более низкую температуру должен иметь воздух перед детандером и тем большее количество воздуха должно направляться в детандер.

При очень низком давлении воздуха, порядка 6—7 *ата*, в детандер приходится направлять очень большое количество воздуха, охлажденного предварительно в теплообменнике до очень

почти до температуры сжижения. Выйдя из детандера, расширившийся воздух попадает в трубки охладителя (конденсатора) 5, где передает свой холод остальным 5% сжатого воздуха, направленным в межтрубное пространство охладителя. Затем расширившийся воздух отводится через теплообменник 3, охлаждая воздух, поступающий из турбокомпрессора.

Воздух в межтрубном пространстве конденсатора 5 сжижается, находясь под давлением 6—7 *ата*, а затем через расширительный вентиль 6 перепускается в нижнюю часть конденсатора, расширяясь при этом до 1 *ата*. Слив жидкого воздуха из конденсатора производится через вентиль 7.

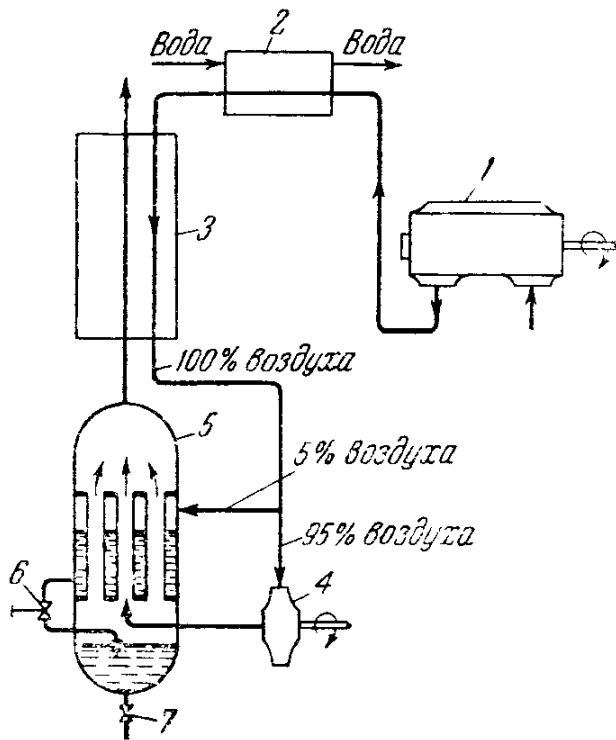


Рис. 5. Схема холодильного цикла низкого давления с турбодетандером:

— турбокомпрессор; 2 — холодильный; — теплообменник; 4 — турбодетандер; 5 — охладитель; 6, 7 — расширительные вентили.

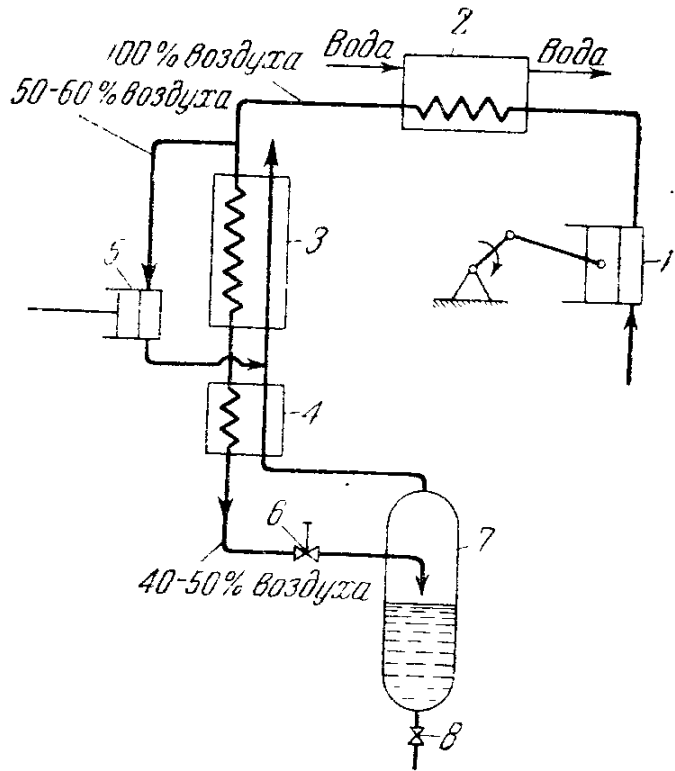


Рис. 6. Схема холодильного цикла высокого давления с детандером:

1 — компрессор; 2 — холодильный; 3, 4 — теплообменники; 5 — детандер; 6, 7 — расширительные вентили; 7 — сборник.

Если в холодильном цикле с детандером применять воздух с давлением до 200 *ата*, то в этом случае температура воздуха перед детандером может быть даже выше 0°C. Предварительное охлаждение воздуха в теплообменнике перед детандером в этом случае может не производиться, а количество воздуха, направляемого в детандер, может быть уменьшено до 50—60% от всего количества воздуха, подаваемого компрессором.

Схема такого холодильного цикла высокого давления с детандером изображена на рис. 6. Сравнивая схему этого цикла со схемой цикла, показанного на рис. 4, мы видим их отличие только в том, что в схеме рис. 6 воздух отводится в детандер 5 до поступ-

ления в теплообменник 3. После расширения в детандере эта часть воздуха направляется обратно в теплообменник 3, охлаждая поступающий в него сжатый воздух.

Холодильный цикл высокого давления с детандером дает наибольшее количество холода на 1 кг сжатого воздуха и поэтому применяется в основном в тех случаях, когда требуется повышенное количество холода для получения кислорода в жидком виде.

В табл. 4 даны показатели различных холодильных циклов с детандером.

Таблица 4

Показатели для циклов с детандером

Показатель	Давление сжатого воздуха атм			
	6 (рис. 5)	20 (рис. 4)	40	200 (рис. 6)
Количество холода, ккал/кг . . . . .	5	2,5	13,5	24,5
Отношение жидкого воздуха к общему количеству сжатого воздуха, %.	4	2,5	10	21
Расход энергии на 1 кг жидкого воздуха, квт-ч .	1,5	4,6	1,5	1,0

Приведенные в табл. 4 показатели для холодильного цикла низкого давления (6 атм) могут быть получены лишь в случае применения для сжатия и расширения воздуха турбокомпрессора и турбодетандера, имеющих высокий коэффициент полезного действия.

**Использование холодильных циклов в кислородных установках.**  
В процессе получения кислорода из атмосферного воздуха вводимый в кислородный аппарат холод снова теряется вследствие притока тепла из окружающей среды. Эти потери холода необходимо все время пополнять, для чего используются описанные выше холодильные циклы.

В кислородном аппарате при получении газообразного кислорода имеют место следующие основные виды холодопотерь:

1) потери холода через изоляцию аппарата, которые называют *потерями через изоляцию*;

2) потери холода с отходящими из аппарата кислородом и азотом вследствие неполной теплопередачи в теплообменник; эти потери обычно называются *потерями от недорекуперации*.

Потери холода от недорекуперации в теплообменнике обусловлены следующим явлением. Представим себе прямой и обратный потоки газов, проходящих через теплообменник (рис. 7). Сжатый воздух поступает в теплый конец теплообменника с температурой 30°C, а уходит из его холодного конца с температурой -125°C.

Охлаждение воздуха в теплообменнике осуществляется, например, холодным азотом, идущим навстречу потоку сжатого воздуха. Допустим, что азот поступает в теплообменник с температурой  $-190^{\circ}$ , нагревается в нем за счет тепла, получаемого от сжатого воздуха, и покидает теплообменник с температурой  $25^{\circ}$ . На правой стороне рис. 7 изображен график изменения температуры воздуха и азота по длине теплообменника. Мы видим, что на протяжении всего теплообменника имеется разность температур между воздухом и азотом, которая на графике заштрихована. Эта разность температур обуславливает переход тепла от воздуха к азоту. Чем меньше разность температур, тем меньше тепла передается через данный участок теплообменника. Следовательно,

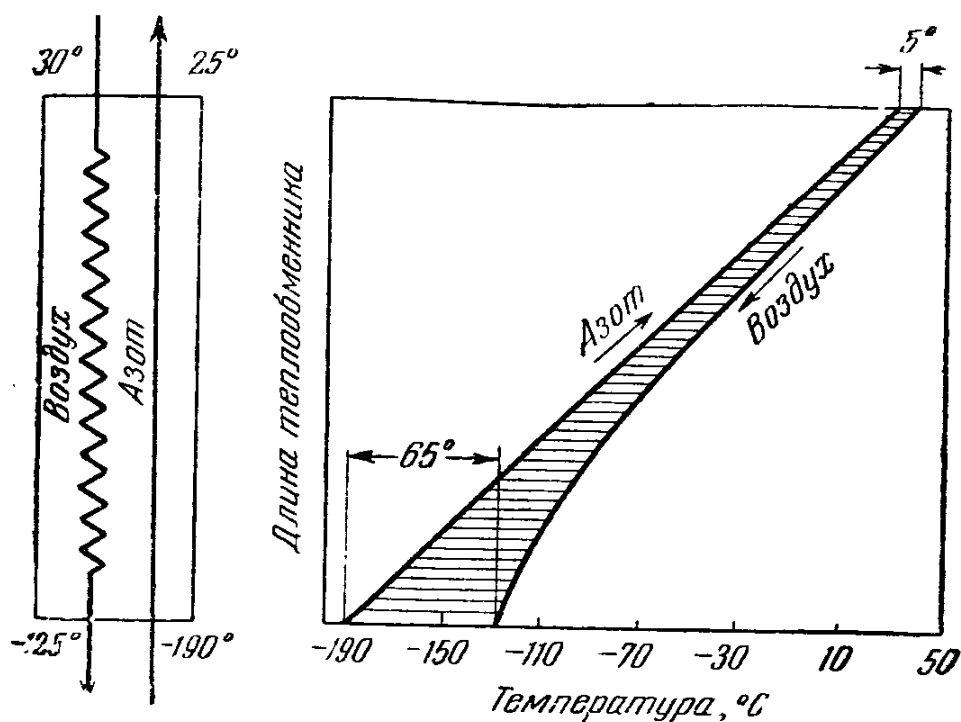


Рис. 7. Схема распределения температур в теплообменнике.

тем длиннее должен быть теплообменник на этом участке, чтобы обеспечить поверхность, необходимую для передачи тепла. Однако делать очень длинный теплообменник практически нецелесообразно. Поэтому приходится мириться с тем, что на теплом конце теплообменника уходящий азот всегда будет иметь более низкую температуру, чем поступающий воздух. Таким образом не весь холод отходящего азота может передаваться поступающему сжатому воздуху, т. е. рекуперироваться. Часть холода азот будет уносить с собой из теплообменника. Эта величина и составляет «потери холода от недорекуперации» в теплообменнике. Ее можно подсчитать, зная теплоемкость отходящего газа и разность температур на теплом конце теплообменника.

*Пример.* Разность температур воздуха и азота на теплом конце теплообменника равна 5; теплоемкость азота составляет 0,249 ккал/кг°С. Потеря холода от недорекуперации будет равна:

$$0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ ккал/кг отходящего азота}$$

Теперь возвратимся вновь к графику на рис. 7. Из него видно, что разность температур воздуха и азота, равная 5°С, увеличивается по мере удаления от теплого конца теплообменника и при приближения к холодному концу, где она в рассматриваемом примере достигает уже —65°С. Это объясняется тем, что по мере охлаждения сжатого воздуха в теплообменнике теплоемкость воздуха увеличивается, а теплоемкость азота остается почти постоянной. Поэтому воздух будет охлаждаться потоком холодного азота в меньшей степени, чем это имеет место в тех участках теплообменника, которые расположены ближе к теплomu концу.

Для аппаратов средней величины оба вида отмеченных выше потерь холода составляют в сумме 2,5—3,5 ккал на 1 м<sup>3</sup> перерабатываемого воздуха.

При получении жидкого кислорода значительное количество холода дополнительно отводится из аппарата вместе с получаемым продуктом—жидким кислородом. Эта величина очень велика, приблизительно составляет 100 ккал на 1 кг жидкого кислорода. Поэтому в установках, получающих жидкий кислород, к указанным двум видам потерь холода—через изоляцию и на недорекуперацию—прибавляется еще значительная потеря холода с отводимым из аппарата жидким кислородом. Вследствие этого установка для получения жидкого кислорода требует более эффективного холодильного цикла, который давал бы возможность получить необходимое количество дополнительного холода.

Таким холодильным циклом, как мы видели выше, является цикл высокого давления с детандером, который и применяется обычно для получения жидкого кислорода. Кроме того, особенно в крупных установках, для получения жидкого кислорода можно также использовать холодильный цикл низкого давления с турбодетандером, обладающим высоким коэффициентом полезного действия.

Получение холода связано, как мы видели выше, с затратой энергии. Поэтому снижение потерь холода в кислородном аппарате снижает и расход энергии на получение основного продукта—кислорода.

Следовательно, аппаратчик, обслуживающий кислородный аппарат, всегда должен стремиться к тому, чтобы холодопотери были наименьшими. Для этого надо следить за тем, чтобы изоляция аппарата была сухой и хорошо уплотненной, а разность температур между поступающим воздухом и отходящим кислородом и азотом на теплом конце теплообменника подерживалась возможно меньшей.

Во время пуска аппарата, когда он еще недостаточно охлажден, потери холода особенно велики, поэтому процесс «замораживания» аппарата всегда приходится вести при наиболее высоком давлении сжатого воздуха. В дальнейшем это давление снижают по мере охлаждения кислородного аппарата и накопления в нем жидкого воздуха и кислорода.

#### 4. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СОСТАВАМИ ЖИДКОСТИ И ПАРА

**Зависимость между составами жидкости и пара.** Чтобы понять процессы, происходящие при разделении жидкого воздуха на кислород и азот, рассмотрим сначала зависимость между составом жидкости и пара над нею.

Если жидкость состоит только из одного вещества, то и пар над нею будет содержать только это вещество, например пары над водой, над спиртом, над жидким кислородом и т. п.

Явление усложняется, когда жидкость состоит из двух и более веществ, способных растворяться одно в другом и обладающих различными температурами испарения. В этом случае в парах будут содержаться те же вещества, что и в жидкости, однако состав пара будет отличаться от состава жидкости. Возьмем, например, смесь из воды и спирта. Спирт более летуч и испаряется при более низкой температуре, чем вода. Поэтому при нагревании раствора спирт будет скорее улетучиваться и в парах над жидкостью будет содержаться больше спирта, чем в жидкости.

Опыты показывают, что при заданном давлении и температуре состав пара над жидкостью является совершенно определенным и зависит только от состава жидкости. В этом случае говорят, что пар и жидкость находятся в *равновесном состоянии*. Всякое нарушение этого равновесия сейчас же вызывает соответствующие изменения в составах жидкой и паровой фаз, которые всегда стремятся к равновесному состоянию.

Совершенно аналогичное явление происходит при разделении жидкого воздуха на кислород и азот. Жидкий воздух представляет собой не что иное, как смесь, состоящую в основном из жидкого кислорода и жидкого азота, находящихся в определенном соотношении: 79% азота и 21% кислорода (по объему). Как известно, азот испаряется при более низкой температуре, чем кислород.

При нагревании жидкого воздуха без отвода паров из него в первую очередь будет испаряться азот, который составляет более летучую часть жидкого воздуха. Наряду с азотом из жидкого воздуха будет, конечно, испаряться и кислород, но в меньшей степени. Поэтому в жидкости всегда будет содержаться больше кислорода, чем в парах, а в парах больше азота, чем в жидкости. Другими словами, азот, как более летучая часть, в большем количестве переходит в пары, а кислород, как

менее летучая часть, остается преимущественно в жидкости. Такой процесс перехода азота в пары и кислорода в жидкость будет происходить до тех пор, пока не будет достигнуто то равновесное состояние между составами жидкой и паровой фаз, которое соответствует имеющимся в данный момент температуре и давлению.

На рис. 8 изображен график, показывающий зависимость между содержанием кислорода в жидкости и паре над нею при

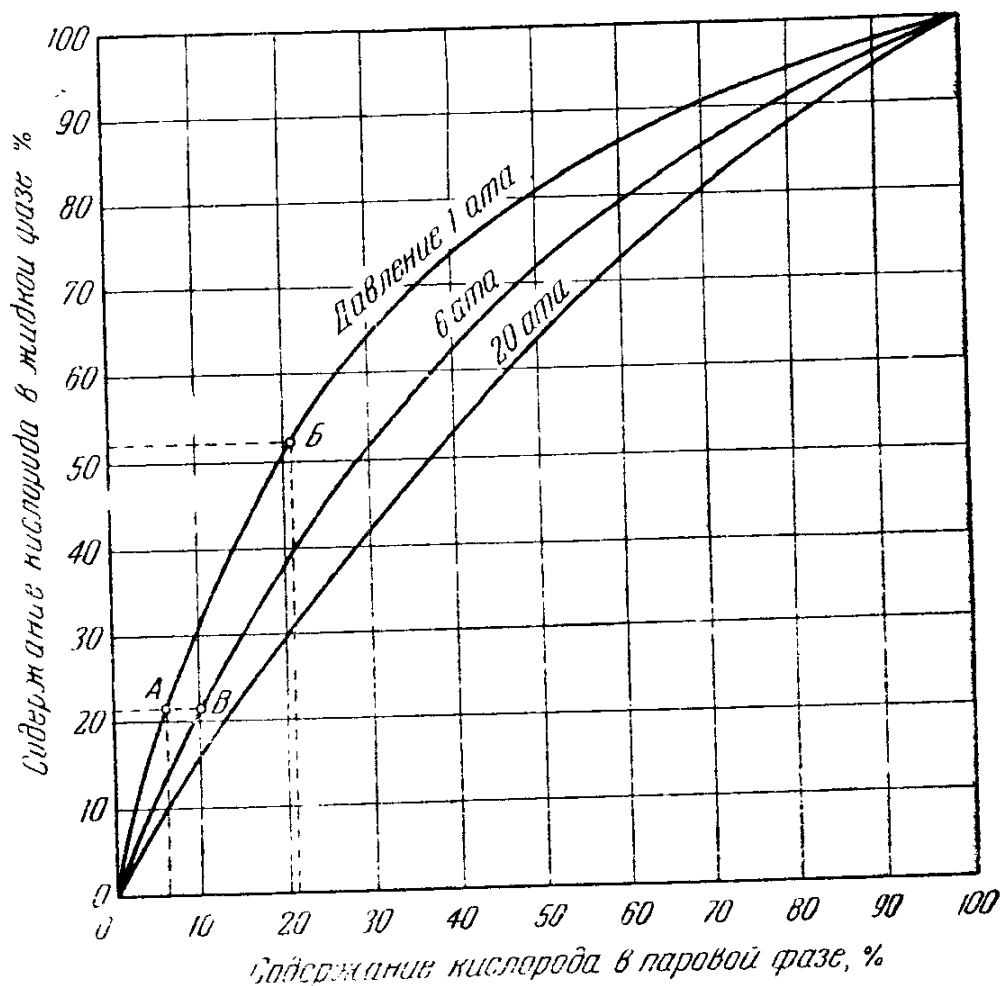


Рис.8. График зависимости между содержанием кислорода в жидкости и паре при различных давлениях.

различных давлениях. Из графика видно, что при давлении, например, в 1 ата пары над жидким воздухом, содержащим 21% кислорода, будут иметь только 6,3% кислорода (точка А на кривой). Чтобы повысить содержание кислорода в парах до его обычного содержания в атмосферном воздухе, т. е. 21%, необходимо иметь жидкость, содержащую уже около 52% кислорода (точка Б на кривой). С повышением давления, при котором кипит жидкость, количество кислорода в парах увеличивается. Так, например, при давлении 6 ата пары над жидким воздухом будут содержать уже 10% кислорода (точка В).



**Испарение и конденсация.** Испаряя жидкий воздух, можно осуществить частичное разделение его на кислород и азот. Однако этот способ непригоден для практического применения и при его использовании нельзя получить чистый кислород, так как повышение содержания кислорода в жидкости происходит в малой степени и только лишь к концу испарения. Опыт показывает, что при испарении, например, 60% жидкого воздуха содержание кислорода в остатках жидкости составит всего 35%, а в парах 11,5%. Когда же вся жидкость превратится в газообразный воздух, то содержание кислорода в нем составит 21%. Этому будет соответствовать 52%-ное содержание кислорода в последней капле испаряющейся жидкости (рис. 8).

Таким образом процесс испарения не дает возможности осуществить разделение воздуха на кислород и азот. Этим способом можно достичь лишь незначительного обогащения кислородом испаряемой жидкости.

Несколько лучшие результаты дает испарение жидкости с одновременным отводом образующихся паров из парового пространства. В этом случае, испарив  $\frac{9}{10}$  всей жидкости, можно в оставшейся  $\frac{1}{10}$  части ее получить 86%-ное содержание кислорода, имея при этом пар, содержащий 60% кислорода. Однако данный процесс, как это понятно из сказанного, является очень невыгодным, и поэтому не может получить промышленного применения.

При конденсации воздуха также осуществляется его разделение на кислород и азот. Изменение состава пара и жидкости происходит при этом подобно тому, как это имело место в процессе испарения, но в обратном порядке. Если в начале конденсации газообразный воздух имел 21% кислорода, то первая капля жидкости будет содержать 52% кислорода. В дальнейшем содержание кислорода в жидкости и паре начинает уменьшаться. В конце конденсации жидкость содержит 21% кислорода, а пары **ид** нею 6,3% кислорода.

## 5. РЕКТИФИКАЦИЯ ВОЗДУХА

Для более полного разделения жидкого воздуха на жидкий кислород и газообразный азот приходится применять многократное, последовательное испарение жидкости с последующей конденсацией ее паров стекающей сверху жидкостью (флегмой). Такой процесс называется *ректификацией*. Познакомимся с сущностью этого процесса.

**Сущность процесса ректификации.** Выше мы уже говорили о том, что испарение и конденсация—это обратные друг другу процессы. При испарении 1 кг жидкости затрачивается тепло в виде скрытой теплоты испарения. При конденсации 1 кг полученного пара, при условии отсутствия потерь тепла в окружающую среду, это тепло вновь выделяется в виде скрытой теплоты конденсации. Если пропустить кислород через слой жидкости,

состоящей из смеси азота и кислорода, то кислород сконденсируется. Это произойдет потому, что такая смесь будет иметь более низкую температуру, чем температура сжижения паров кислорода, так как в смеси имеется еще и жидкий азот. При конденсации кислорода выделяется скрытая теплота конденсации. Так как скрытая теплота конденсации кислорода и скрытая теплота испарения азота примерно одинаковы, то из жидкости испарится количество азота, равное количеству сконденсировавшегося кислорода. Чтобы подтвердить это, можно проделать следующий простой опыт. Наполним сосуд жидким воздухом и пропустим через него по трубочке газообразный кислород. Поднимающиеся в жидкости пузырьки пара будут состоять из чистого азота. В этом легко убедиться, поднеся к ним пламя спички, которое быстро погаснет. ✓

Описанное явление конденсации кислорода в жидкости с одновременным испарением из нее азота используется в процессе ректификации. Сущность процесса ректификации и состоит в том, что образующуюся при испарении жидкого воздуха парообразную смесь из азота и кислорода пропускают через жидкость с меньшим содержанием кислорода. Поскольку эта жидкость содержит меньше кислорода и больше азота, она имеет более низкую температуру, чем проходящий через нее пар. Это вызывает конденсацию кислорода из пара, обогащение кислородом жидкости и испарение из нее азота, т. е. обогащение азотом паров над жидкостью.

Данный процесс испарения жидкости и конденсации пара производится путем непосредственного соприкосновения пара и жидкости. Он повторяется много раз до тех пор, пока не получится газ, состоящий почти из одного азота, и жидкость, содержащая почти чистый кислород.

Рассмотрим упрощенную схему процесса многократного испарения и конденсации жидкого воздуха (рис. 9), воспользовавшись при этом графиком рис. 8. Пусть у нас имеется несколько сосудов *I*, *II*, *III* и т. д., в верхний из которых подается жидкий воздух, содержащий 21% кислорода. Стекая через эти сосуды вниз, жидкий воздух будет постепенно обогащаться кислородом и поэтому температура жидкости будет повышаться.

Примем для примера, что в сосуде *II* будет находиться жидкость, содержащая 30% кислорода, в сосуде *III*—40%, в сосуде *IV*—50% и в сосуде *V*—60%. Начнем испарять жидкость в сосуде *V*. Как легко определить по графику рис. 8, над жидкостью в сосуде *V*, содержащей 60% кислорода, будет находиться равновесный по составу пар, содержащий 26,5% кислорода и имеющий температуру, равную температуре жидкости в этом сосуде. Подведем этот пар в сосуд *IV*, где жидкость содержит только 50% кислорода и поэтому является более холодной. По графику рис. 8 имеем, что над жидкостью с 50% кислорода пар может содержать лишь 19% кислорода и только в этом случае его температура

будет равна температуре жидкости в сосуде. Следовательно, пар, подводимый в сосуд *IV* из сосуда *V* и содержащий 26,5% кислорода, имеет более высокую температуру, чем жидкость в сосуде *IV*; поэтому пар начнет конденсироваться, оставляя часть своего кислорода в жидкости сосуда *IV* и испаряя из нее часть азота. В результате этого жидкость в сосуде *IV* обогатится кислородом, а пары над ней—азотом. Из сосуда *IV* пар с 19%

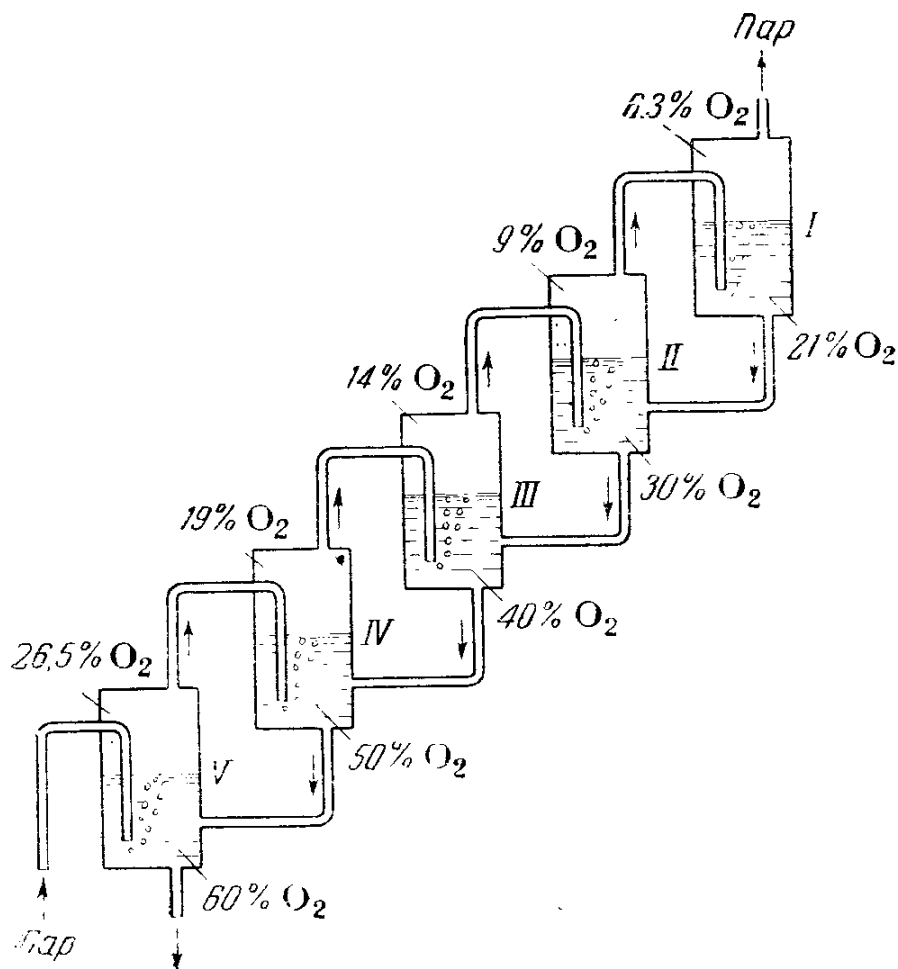


Рис. 9. Схема процесса многократного испарения и конденсации жидкого воздуха.

кислорода отводится в сосуд *III*, где жидкость имеет 40% кислорода и более низкую температуру, а пар над ней должен содержать 14% кислорода (по графику рис. 8). Следовательно, пар из сосуда *IV* также будет конденсироваться в жидкости сосуда *III*, оставляя в ней часть своего кислорода и испаряя из нее азот.

Те же самые рассуждения мы можем сделать и для следующих сосудов. Сливаясь из верхних сосудов в нижние, жидкость постепенно обогащается кислородом, который она удерживает из поднимающихся вверх паров, отдавая им азот.

Продолжая этот процесс вправо и вверх по схеме рис. 9, мы могли бы получить в конце концов пар, состоящий почти из чи-

стого азота, а идя влево и вниз—жидкость в виде чистого кислорода. В действительности этот процесс происходит несколько более сложно, чем мы его сейчас описали. Тем не менее приведенная упрощенная схема дает основное представление о сущности процесса ректификации и способе его осуществления.

Из описания схемы процесса ректификации следует, что этот процесс может происходить только в том случае, если в парах содержится кислорода больше, чем должно содержаться по равновесному состоянию пара над жидкостью данного состава. Тогда стекающая вниз жидкость встречает пары, содержание кислорода в которых превосходит его содержание при равновесном состоянии. Это вызывает конденсацию части кислорода из паров и обогащение кислородом жидкости.

**Принцип действия ректификационной тарелки.** Процесс ректификации осуществляется обычно в аппаратах, называемых *ректификационными колоннами*.

Ректификационная колонна представляет собой вертикальную цилиндрическую трубу, заполненную внутри насадкой\* или снабженную горизонтальными перегородками (тарелками) специального устройства. Жидкая смесь из азота и кислорода по насадке или по тарелкам стекает вниз. Навстречу ей поднимаются пары, состоящие из смеси азота и кислорода. Пары, соприкасаясь на поверхности насадки или на тарелках с жидкостью, отдают ей свой кислород, а сами обогащаются азотом, испаряемым из жидкости конденсирующимся в ней кислородом. В результате этого процесса наверху колонны собираются пары, состоящие из почти чистого азота, а внизу—жидкость, содержащая почти чистый кислород.

Ректификационные тарелки делаются сетчатыми (рис. 10) или колпачковыми (рис. 11). Сетчатая тарелка состоит из латунного листа 1 толщиной 0,8—1 мм, в котором в шахматном порядке на расстоянии 3,25 мм друг от друга пробиты отверстия диаметром 0,8—0,9 мм. На 1 м<sup>2</sup> уместается 110 000 шт. таких отверстий. Поднимающиеся пары легко проходят через эти отверстия и находящийся на тарелке слой жидкости, вспенивая его. Жидкость вследствие имеющегося в отверстиях подпора газа не проникает через них. Сток жидкости с одной тарелки на другую осуществляется при помощи переливных стаканов 2. На тарелках имеются перегородки, высота кромок которых над уровнем тарелок определяет толщину слоя жидкости на тарелках.

В колпачковых тарелках, кроме переливных стаканов 2, имеются еще отверстия, покрытые колпачками 3. Пары проходят пространство под колпачками и пробулькивают через слой жидкости, находящийся на тарелке. Мелкие отверстия в сетках и колпачки в тарелках предназначены для того, чтобы разбить

---

\* Насадка делается из отрезков латунных трубок, длина которых равна диаметру.

поток паров на мелкие струйки для лучшего контакта пара с жидкостью.

Когда пузырек пара проскакивает через жидкость, то часть содержащегося в нем кислорода конденсируется, оставаясь в жидкости на тарелке; взамен этого из жидкости испаряется часть содержащегося в ней азота, который уходит с парами к лежащей выше тарелке. Каждая тарелка обогащает кислородом поступающую на нее жидкость и понижает в ней содержание азота.

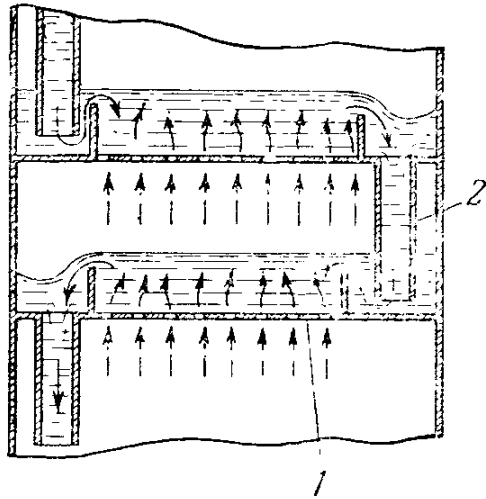


Рис. 10. Схема ректификационной тарелки сетчатого типа:  
1—сетка; 2—переливные стаканы.

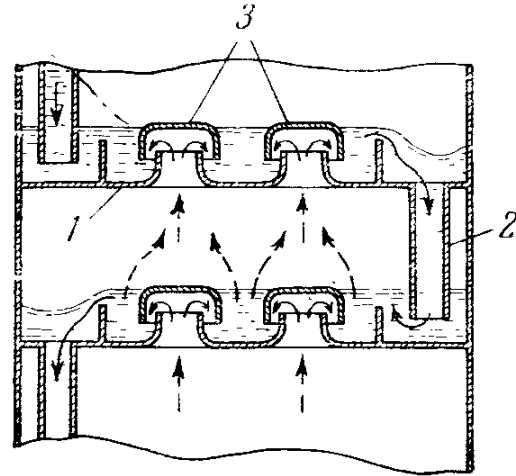


Рис. 11. Схема ректификационной тарелки колпачкового типа:  
1—тарелка; 2—переливные стаканы;  
3—колпачки.

На тарелках, находящихся в верхней части колонны, располагаются жидкость и пары, содержащие больше количество азота. Наоборот, на тарелках нижней части колонны находятся жидкость и пары, содержащие больше кислорода, но меньше азота. Таким образом колонна ректификационного аппарата с помощью имеющихся в ней тарелок осуществляет процесс разделения воздуха на азот, выводимый сверху колонны, и кислород, собирающийся в ее нижней части.

Чем совершеннее конструкция тарелки, тем лучше она работает и тем более состав пара над ней приближается к теоретическому равновесному составу пара над жидкостью данного состава. Другими словами, такая тарелка дает более высокий коэффициент обогащения. Чем выше коэффициент обогащения каждой тарелки, тем меньшее число тарелок нужно иметь в колонне для того, чтобы достичь требуемой степени разделения воздуха на кислород и азот.

**Однократная ректификация.** Схема кислородного аппарата однократной ректификации изображена на рис. 12. Сжатый воздух из компрессора поступает в теплообменник (на схеме не показан), где он охлаждается выходящими из аппарата по трубе 1 кислородом и по трубе 2—азотом. Предварительно охлажденный в тепло-

обменнике воздух по трубе 3 идет в змеевик 4 испарителя 5, заполненного жидким кислородом. В этом змеевике сжатый воздух конденсируется, испаряя соответствующее количество кислорода. Образовавшийся в змеевике 4 жидкий воздух поступает под давлением к расширительному вентилю 6, где его давление снижается до 0,2—0,3 *атм*, и по трубе 7 подается на верх ректификационной колонны 8. Часть воздуха при этом испаряется, а большая часть стекает вниз по тарелкам 9 колонны.

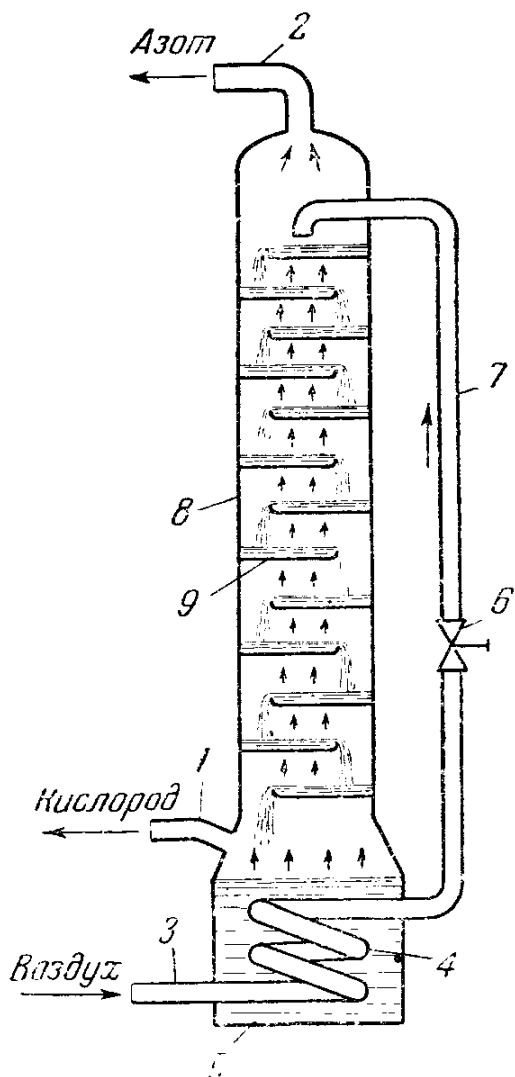


Рис. 12. Схема аппарата однократной ректификации:

1 и 2—трубы для отвода кислорода и азота; 3—воздушная труба; 4—змеевик; 5—испаритель; 6—расширительный вентиль; 7—труба для подачи жидкого воздуха; 8—колонна; 9—тарелки.

Этот воздух обогащается кислородом, вступая на тарелках в тесный контакт с поднимающимися вверх парами. В результате в испарителе собирается жидкий кислород, часть паров которого отводится через трубу 1 в качестве продукта. Поднимающиеся из испарителя вверх по колонне пары обогащаются азотом, и наверху колонны газ содержит 92—93% азота и около 7% кислорода. Эта смесь по трубе 2 выбрасывается в атмосферу, предварительно пройдя через теплообменник, в котором она охлаждает поступающий сжатый воздух.

Такой аппарат однократной ректификации неэкономичен, так как выбрасываемый в атмосферу азот содержит до 7—8% кислорода, что составляет примерно  $\frac{1}{3}$  содержания кислорода в перерабатываемом воздухе. Это вызвано тем, что верхняя тарелка орошается жидким воздухом, над которым равновесный ему по составу пар всегда будет содержать около 7% кислорода. Чтобы уменьшить потери кислорода с отходящим азотом, нужно верхнюю тарелку орошать не жидким воздухом, а жидким азотом, для чего необходимо применять аппараты уже не однократной, а двукратной ректификации.

**Двукратная ректификация.** Схема аппарата двукратной ректификации показана на рис. 13. Он состоит из двух ректификационных колонн: нижней А и верхней Б. В нижней колонне происходит предварительное разделение воздуха на чистый жид-

кий азот и обогащенную кислородом смесь азота и кислорода. Эти жидкости служат для орошения верхней колонны, в которой происходит уже окончательное разделение воздуха на кислород и азот.

Сжатый компрессором и охлажденный в теплообменнике воздух (этот теплообменник на схеме не показан) по трубе 1 идет в змеевик 2 испарителя 3. В сосуде последнего находится жидкая смесь, состоящая из 40—55% кислорода и 60—45% азота. В змеевике 2 воздух конденсируется и через расширительный вентиль 4 подается на середину колонны А. Стекая по тарелкам этой колонны, жидкий воздух встречается с поднимающимися парами, вследствие чего осуществляется процесс ректификации жидкого воздуха. Эти пары образуются при испарении жидкости в сосуде 3 за счет тепла выделяющегося при конденсации воздуха в змеевике 2.

Между верхней и нижней колоннами находится трубчатый конденсатор В. Он состоит из большого числа вертикальных трубок 5, впаянных в две горизонтальные трубные решетки 6. Пространство внутри трубок конденсатора сообщается с нижней колонной А, работающей под давлением 5—6 *ати*. В свою очередь межтрубное пространство сообщается с верхней колонной Б, давление в которой не превышает 0,5 *ати*. Межтрубное пространство конденсатора заполнено жидким кислородом, а в трубки конденсатора снизу поступает газообразный азот из нижней колон-

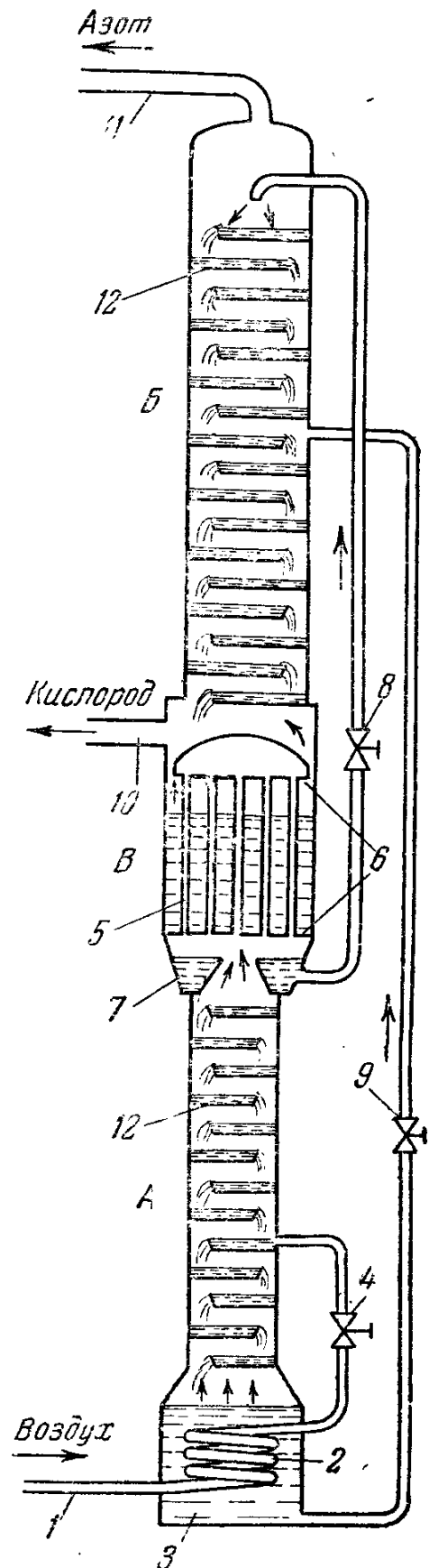


Рис. 13. Схема аппарата двукратной ректификации:

А — нижняя колонна; Б — верхняя колонна; В — конденсатор; 1 — воздушная труба; 2 — змеевик; 3 — испаритель; 4 — воздушный расширительный вентиль; 5 — вертикальные трубки; 6 — трубные решетки; 7 — карманы конденсатора; 8 и 9 — азотный и кислородный расширительные вентили; 10 и 11 — трубы для отвода кислорода из азота; 12 — тарелки.

ны А. Так как азот находится под давлением 5—6 *атм*, то температура его сжижения будет выше температуры жидкого кислорода, кипящего в межтрубном пространстве конденсатора при давлении всего 0,5 *атм*. Вследствие этого азот конденсируется в трубках и частично стекает обратно в нижнюю колонну А. Ожиженный азот орошает ту часть тарелок колонны, которая лежит выше места ввода жидкого воздуха из испарителя, что улучшает процесс ректификации на этих тарелках. Остальная часть жидкого азота, имеющего чистоту 94—97%, собирается в карманах 7 конденсатора, откуда через азотный расширительный вентиль 8 подается на орошение самой верхней тарелки колонны Б. В эту же колонну, примерно на  $\frac{2}{3}$  ее высоты, через кислородный расширительный вентиль 9 подается жидкая кислородно-азотная смесь из испарителя 3. В результате процесса ректификации в пространстве между трубками конденсатора собирается жидкий кислород чистоты 99—99,8%. Этот кислород кипит и испаряется за счет выделяющегося тепла конденсации азота, которая происходит в трубках. Образующийся при этом газообразный кислород частично поднимается вверх и идет на ректификацию в верхнюю колонну, а частично, в качестве готового продукта, содержащего 99—99,5% кислорода, отводится по трубе 10 в теплообменники. Газ, содержащий 97—98% азота, собирается наверху колонны Б и удаляется из нее через трубу 11 в теплообменник, а затем — в атмосферу.

В аппарате двукратной ректификации, ввиду того что верх колонны орошается почти чистым азотом, отходящий газ содержит не более 2—3% кислорода и 97—98% азота. Поэтому потери кислорода с отходящим азотом значительно меньше, чем в аппаратах однократной ректификации, и процесс разделения воздуха происходит более полно. Следовательно, аппараты двукратной ректификации более экономичны в эксплуатации, чем аппараты однократной ректификации.

**Материальный баланс кислородного аппарата.** Степень извлечения кислорода из перерабатываемого воздуха, другими словами, количество кислорода, получаемое из 1  $m^3$  воздуха, можно подсчитать по следующей формуле материального баланса кислородного аппарата:

$$K = \frac{A - 79,1}{A - A_k}$$

где  $K$  — количество кислорода в  $m^3$ , получаемого из 1  $m^3$  воздуха, поступающего в кислородный аппарат;

$A$  — чистота отходящего азота в %;

79,1 — содержание азота в воздухе в %;

$A_k$  — содержание азота в полученном кислороде в %.

*Примеры.* 1. Имеем аппарат однократной ректификации. Чистота получаемого кислорода 99%, чистота отходящего азота  $A = 92\%$ . Следовательно

$$A_k = 100 - 99 = 1\%$$



откуда

$$K = \frac{92-79,1}{92-1} = 0,142 \text{ м}^3$$

Расход воздуха на получение 1 м<sup>3</sup> кислорода составляет:

$$B = \frac{1}{K} = \frac{1}{0,142} = 7,1 \text{ м}^3$$

2. Имеем аппарат двукратной ректификации. Чистота получаемого кислорода 99%, чистота отходящего азота  $A=97\%$ .

В этом случае:

$$K = \frac{97-79,1}{97-1} = 0,187 \text{ м}^3$$

Расход воздуха на получение 1 м<sup>3</sup> кислорода составляет:

$$B = \frac{1}{K} = \frac{1}{0,187} = 5,4 \text{ м}^3$$

Из этих примеров видно, что повышение чистоты отходящего азота с 92 до 97% увеличивает выход кислорода с 0,142 до 0,187 м<sup>3</sup> из каждого кубического метра переработанного воздуха, т. е. на

$$\frac{0,187-0,142}{0,142} \cdot 100 = 32\%$$

Соответственно сокращается и расход воздуха на 1 м<sup>3</sup> получаемого кислорода.

Вот почему каждый аппаратчик должен стремиться к тому, чтобы поддерживать во время работы кислородного аппарата наивысшую чистоту отходящего азота. При этом уменьшаются потери кислорода с отходящим азотом, происходит более полное разделение воздуха на кислород и азот, и следовательно, повышается экономичность и производительность кислородного аппарата.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Каковы основные законы для газов?
2. Какова схема сжижения газа?
3. Какая связь существует между температурой и давлением сжижения газа?
4. Что такое критическая температура и критическое давление?
5. Каково назначение холодильного цикла?
6. В чем сущность цикла с дросселированием и каковы его показатели?
7. Какую роль играет теплообменник в холодильных циклах глубокого охлаждения?
8. В чем сущность цикла с детандером?
9. От чего зависят показатели цикла с детандером?
10. Какие виды холодопотерь имеют место в кислородных аппаратах для получения газообразного и жидкого кислорода?
11. Как распределяется температура для прямого и обратного потока газов в теплообменнике?
12. Что такое равновесный состав жидкости и пара?
13. Какого вещества больше содержится в парах и какого—в жидкости?
14. Как влияет давление на содержание кислорода в парах?
15. Можно ли произвести разделение воздуха на кислород и азот, пользуясь только процессом испарения или конденсации?
16. В чем сущность процесса ректификации воздуха?
17. Какое основное условие необходимо для того, чтобы осуществить процесс ректификации воздуха?

18. Как устроены ректификационные тарелки?
19. В чем принцип работы ректификационных тарелок?
20. Как работает аппарат однократной ректификации?
21. Как работает аппарат двукратной ректификации?
22. Каковы преимущества аппарата двукратной ректификации перед аппаратом однократной ректификации?
23. Как определить расход воздуха на получение 1 м<sup>3</sup> кислорода?
24. Как влияет чистота отходящего азота на производительность аппарата по кислороду?
25. Воздух находится под давлением 70 *ати*. Определить температуру, при которой воздух начнет превращаться в жидкость (см. табл. 1).
26. Определить температуру воздуха после дросселирования до 6 *ати*, если начальная температура равна -10°C, а начальное давление 120 *ати*.
27. Какое давление необходимо иметь перед расширительным вентиляем для того, чтобы получить в конце расширения температуру -35°C, если воздух расширяется до давления 3 *ати* при начальной температуре 5°C?
28. Какое количество воздуха необходимо пропускать в час через расширительный вентиль при начальном давлении 150 *ати* для того, чтобы получить 100 кг/час жидкого воздуха (см. табл. 2)?
29. Определить расход энергии, требующийся для получения 1500 кг жидкого воздуха при цикле с дросселированием и начальном давлении 200 *ати* (см. табл. 2).
30. Определить количество воздуха, перерабатываемого в цикле с детандером при получении 800 кг/час жидкого воздуха, а также холодопроизводительность цикла в ккал/час. Давление сжатого воздуха равно 6; 40 и 200 *ати*. Определить часовой расход энергии такой установкой при указанных давлениях сжатия воздуха (см. табл. 4).
31. Рассчитать холодопотери от недорекуперации в теплообменнике при разности температур на теплом конце в 10°.
32. Установка для газообразного кислорода перерабатывает 800 м<sup>3</sup>/час воздуха. Разность температур на теплом конце теплообменника равна 8°; потери через изоляцию составляют 1 ккал/кг воздуха. Определить потребную холодопроизводительность цикла для такой установки. Установить, пользуясь данными табл. 2 и 4, в каких пределах должно быть принято давление сжатия воздуха для покрытия холодопотерь установки: а) при цикле с дросселированием; б) при цикле с детандером.
33. Определить холодопроизводительность цикла для кислородной установки предыдущего примера при условии, что 80% всего кислорода будут отбираться из установки в жидком виде.
34. Определить равновесный состав пара над жидкостью, содержащей при давлении 1 *ати* 15%, 25%, 35%, 55% и 80% кислорода.
35. Найти равновесный состав жидкости при давлении 6 *ати*, если содержание азота в парах над нею составляет 15%, 30%, 60%, 85% и 95%.
36. Определить количество воздуха, которое нужно пропустить через кислородный аппарат для получения кислорода в количестве 45 м<sup>3</sup>/час чистотой 99,5% при чистоте отходящего азота 98%.
37. Чистота получаемого кислорода 99%. Определить степень извлечения кислорода из перерабатываемого воздуха при чистоте отходящего азота 97% и 93%.
38. Установка должна давать 130 м<sup>3</sup>/час 99%-ного газообразного кислорода при условии, что чистота отходящего азота составляет 98%. Определить расход воздуха в м<sup>3</sup>/час и приблизительный расход энергии на производство 1 м<sup>3</sup> кислорода, считая, что общие холодопотери равняются 3 ккал. м<sup>3</sup> перерабатываемого воздуха и для их покрытия применяется цикл с дросселированием.

## ГЛАВА III

### СЫРЬЕ. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ГОТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ

#### 1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДА

**Состав воздуха.** Атмосферный воздух является повсеместным, неисчерпаемым и бесплатным основным исходным сырьем для получения кислорода методом глубокого охлаждения. Кроме кислорода и азота, составляющих основную часть воздуха, в нем находятся в небольших количествах и другие газы—аргон, неон, гелий, криптон, ксенон и некоторое количество водорода.

Эти газы (кроме водорода) называются «редкими», так как количество их в воздухе ничтожно. Они не вступают в химическое соединение с другими известными нам элементами.

Средний состав атмосферного воздуха (в % объемн.) следующий:

Азот . . . . .	78,03	Гелий . . . . .	0,0005
Кислород . . . . .	20,93	Криптон . . . . .	0,0001
Аргон . . . . .	0,932	Ксенон . . . . .	0,00001
Неон . . . . .	0,0018	Водород . . . . .	0,00005

Редкие газы имеют большое значение в технике. Их используют в ряде важнейших производств, в первую очередь при изготовлении электрических ламп и других источников электрического света. Поэтому, несмотря на ничтожное содержание этих газов в атмосферном воздухе, их извлекают из воздуха попутно с получением из него кислорода или азота. Это в первую очередь относится к аргону и криптоно-ксеноновой смеси.

**Примеси в воздухе.** Атмосферный воздух всегда содержит ряд примесей, от которых его очищают перед направлением в аппарат для разделения на составные части. Чем лучше очищен воздух от примесей, тем длительнее будет работать установка и тем большее количество кислорода она сможет выработать.

К числу примесей относятся следующие вещества.

**Механические частицы**—пыль, сажа и др. В 1 м<sup>3</sup> воздуха в среднем содержится до 0,01 г этих загрязнений. Они попадают в компрессор и вызывают усиленный износ его рабочих частей: поршневых колец, стенок цилиндра, клапанов. Особенно

большое количество этих загрязнений содержится в районах, находящихся вблизи больших городов, металлургических и коксовых заводов, угольных шахт и т. д.

Для очистки от механических частиц воздух перед поступлением его в компрессор пропускается через специальные масляные фильтры, которые задерживают эти загрязнения.

**В л а г а.** Количество влаги, содержащейся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при данной температуре, выраженное в граммах, называется *абсолютной влажностью воздуха*. Содержание влаги в воздухе зависит от его температуры. С повышением температуры количество водяных паров, могущих содержаться в воздухе, увеличивается.

Наибольшее количество влаги, которое может содержаться в воздухе при различной температуре, следующее:

Температура, °С . . .	—50	—40	—20	—5	0	+20	+30
Количество влаги в воздухе, г/м <sup>3</sup> . . .	0,038	0,117	1,05	3,37	4,89	17,22	30,21

Если при данной температуре в воздухе содержится водяных паров больше указанного количества, то избыток их конденсируется и выпадает в виде капелек жидкости.

Наибольшее количество паров воды, которое может содержаться в воздухе, определяется только температурой газа. Например, при 30°C и 1 *ата* воздух содержит 30,21 г/м<sup>3</sup>.

Подвергнем  $1 \text{ м}^3$  воздуха сжатию до давления 200 *ата*, т. е. уменьшим его объем в 200 раз. При этом содержание паров воды в нем при тех же 30°C теоретически будет равно:

$$30,21 \cdot \frac{1}{200} = 0,15 \text{ г}$$

Остальная влага в количестве

$$30,21 - 0,15 = 30,06 \text{ г}$$

должна выделяться в виде конденсата в процессе сжатия воздуха.

Влага замерзает в холодных частях кислородного аппарата и вызывает нарушение его работы. Поэтому она должна тщательно удаляться из поступающего в аппарат воздуха, т. е. воздух должен подвергаться осушке. Осушку воздуха производят различными способами. К ним относятся способ вымораживания влаги из воздуха, способ поглощения влаги химическими веществами (едким натром и др.) и, наконец, способ поглощения влаги различными высокопористыми веществами — силикагелем, активным глиноземом

Углекислый газ (углекислота) является нормальной примесью воздуха, в котором его содержание составляет 0,03—0,04%

объемом: в среднем можно считать, что в  $1 \text{ м}^3$  воздуха содержится  $0,5—0,6 \text{ г/м}^3$  углекислого газа. Количество углекислоты в воздухе увеличивается в тех районах, где имеются большие заводы или котельные, выбрасывающие в атмосферу много углекислоты вместе с дымовыми и отбросными газами.

При температуре  $-60^\circ\text{C}$  и давлении  $4,2 \text{ ата}$  углекислота превращается в снегообразную массу, а при дальнейшем понижении температуры—в твердое вещество, напоминающее лед. Твердая углекислота, отлагаясь на стенках холодных частей кислородного аппарата, главным образом трубок теплообменника, забивает его и нарушает нормальную работу установки. Поэтому перерабатываемый в кислородном аппарате воздух должен быть тщательно очищен от углекислоты, для чего наиболее удобен способ поглощения углекислоты раствором едкого натра (каустиком) или способ удаления углекислоты из воздуха путем ее вымораживания в специальных теплообменных аппаратах—регенераторах.

**Органические соединения.** Кроме указанных выше механических загрязнений, влаги и углекислоты, воздух может содержать также ряд примесей в виде таких газов, как ацетилен, метан и др.

Из этих примесей наиболее опасным является *ацетилен*, который, попадая в кислородный аппарат вместе с воздухом, превращается там под влиянием низкой температуры в твердый ацетилен (сильно взрывчатое вещество), накапливающийся в конденсаторе или испарителе аппарата. Накопление твердого ацетилена в кислородном аппарате очень опасно, так как является основной причиной их взрывов.

Очистка воздуха от ацетилена производится путем фильтрации жидкого воздуха через силикагель в специальных фильтрах, называемых *адсорберами*.

## 2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кроме воздуха, при производстве кислорода необходимы некоторые вспомогательные материалы.

**Едкий натр ( $\text{NaOH}$ ).** Обычно применяют технический едкий натр, так называемую каустическую соду (каустик), выпускаемый в твердом виде или в виде 40—45%-ного водного раствора (жидкий каустик).

Для осушки воздуха употребляют только твердый каустик; для очистки воздуха от углекислоты используют раствор едкого натра в воде.

Приготовление раствора можно производить из твердого или жидкого каустика.

Твердый каустик выпускается двух сортов: сорт А, содержащий не менее 95% едкого натра, и сорт Б—не менее 92% едкого натра.

Содержание едкого натра в жидком каустике должно быть и ниже  $610 \text{ г/м}^3$ , что соответствует 42%-ному раствору каустика с удельным весом  $1,453 \text{ кг/м}^3$ .

Твердый каустик жадно поглощает влагу из воздуха и поэтому его упаковывают в герметические железные барабаны из кровельной стали весом 100—200 кг. В воде каустик растворяется с большим выделением тепла.

Жидкий каустик отпускается потребителям в стальных бочках или цистернах.

При обращении с каустиком или его растворами нужно быть очень осторожным, так как едкий натр действует сильно разъедающим образом на ткани человеческого организма.

На кислородных установках при осушке и очистке воздуха от углекислоты расходуется в среднем 10—12 г каустика на  $1 \text{ м}^3$  полученного кислорода.

**Силикагель.** Его употребляют для осушки воздуха и для поглощения ацетиленов из жидкого воздуха или кислорода. Представляет собой твердое, химически инертное, высокопористое вещество, в зернах белого или светложелтого цвета. Обычно применяют силикагель марки КСМ Воскресенского химкомбината, выпускаемый в зернах размером 3—6 мм. Необходимо, чтобы силикагель был просеян через сито с отверстиями 2,5—3 мм и обладал зернами достаточной прочности, способными выдерживать нагрузку 2—6 кг на раздавливание. Объемный вес силикагеля равен 0,45—0,6 кг/л. Поставляется в герметических барабанах.

**Активный глинозем (активная окись алюминия).** Служит для осушки воздуха и содержит 92% окиси алюминия; остальное составляют различные примеси. Активный глинозем химически инертен, неядовит, не растворяется в воде и имеет объемный вес 0,8 кг/л. Имеет вид зерен светлосерого цвета размером 3—6 мм. Поставляется и хранится в герметически закрытых барабанах.

Силикагель и активный глинозем, будучи один раз засыпаны в соответствующие аппараты, работают длительное время, периодически подвергаясь регенерации для восстановления их первоначальных свойств. Поэтому расход этих материалов незначителен. В зависимости от качества силикагеля или активного глинозема полная смена их может производиться примерно 1—2 раза в год.

**Аммиак ( $\text{NH}_3$ ).** Применяют в качестве хладоагента в аммиачно-холодильных установках. При обычной температуре и давлении аммиак является бесцветным газом с резким и сильным запахом.

Аммиак легче воздуха, его удельный вес  $0,77 \text{ кг/м}^3$ . При охлаждении до  $-33,4^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении или при сжатии свыше  $7,5 \text{ ата}$  при обычной температуре ( $15^\circ\text{C}$ ) аммиак превращается в жидкость, удельный вес которой равняется  $0,64 \text{ кг/л}$ . При испарении из 1 кг жидкого аммиака получается  $1,316 \text{ м}^3$  газа (при  $0^\circ\text{C}$  и 760 мм рт. ст.).

Аммиак доставляется потребителю в жидком виде в баллонах. Давление в баллонах в зависимости от температуры составляет 7,5—20 *ати*. Баллон емкостью 40 л вмещает около 22,5 кг аммиака. Аммиачные баллоны окрашивают в желтый цвет.

В смеси с воздухом аммиак взрывоопасен при содержании его в воздухе 16—32%. Жидкий аммиак вызывает ожоги кожи.

Аммиаком заполняют систему аммиачно-холодильной установки, периодически добавляя его для пополнения утечек через возможные неплотности в арматуре.

### 3. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В кислородном производстве используют несколько сортов смазочных материалов.

**Машинные масла.** Данный вид масла употребляют для смазки частей шатунно-кривошипного механизма компрессоров и деталей: подшипников коленчатого вала, пальцев и направляющих шатуна. Для этих целей используют машинные масла марок Л и С, имеющие следующую характеристику: удельный вес 0,886—0,926, температуру вспышки 180—190°C и вязкость 4—6,5 при 50°C.

Для смазки подшипников воздушных турбокомпрессоров применяют турбинное масло марок Л, С, УТ или Т, в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации.

Характеристика турбинных масел приведена в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика турбинных масел

	Марка			
	Л	С	УТ	Т
Удельный вес . . . . .	0,901	0,906	0,906	0,890—0,915
Вязкость при 50°C . . . . .	2,9—3,2	3,5—4,0	4,0—4,5	6,0—6,5
Температура вспышки, °C	180	180	185	190

Для установок производительностью 30—130 м<sup>3</sup>/час расход машинного масла равен 2—3 г/м<sup>3</sup> кислорода.

**Компрессорные масла.** Применяют исключительно для смазки цилиндров и сальников воздушных поршневых компрессоров высокого давления.

Для смазки компрессоров можно пользоваться компрессорными маслами марок Л, М, Т и брайсток, характеристика которых приведена в табл. 6.

Выбор той или иной марки масла зависит от конечного давления сжатия в компрессоре.

Таблица 6

## Характеристика компрессорных масел

	Марка			
	Л	М	Т	бraitсток
Удельный вес . . . . .	0,89—0,91	0,89—0,92	0,83—0,93	0,82
Вязкость при 50° С . . . . .	6,5—7	—	—	—
Вязкость при 100° С . . . . .	—	1,7—2,2	2,3—2,6	3,7
Температура вспышки, °С . . . . .	200	218	240	275
Предельное давление сжа- тия воздуха в компрес- соре, <i>ати</i> . . . . .	8	50	220	220

Масло марки Т для компрессоров 220 *ати* рекомендуется употреблять только в зимнее время. Наилучшим сортом масла для этих компрессоров является бraitсток. В установках производительностью 30—130 м<sup>3</sup>/час расход компрессорного масла составляет 3—4 г/м<sup>3</sup> кислорода.

Масла для смазки цилиндров детандера. Для этой цели используют веретенное и трансформаторное масла и масло фригус. Характеристика этих масел приведена в табл. 7.

Таблица 7

## Характеристика масел для смазки цилиндров детандеров

	Марка			
	веретенное № 2	веретенное № 3	трансформа- торное	фригус
Удельный вес . . . . .	0,876—0,896		0,895	0,876—0,895
Вязкость при 50° С . . . . .	2—2,2	2,8—3,2	1,8	2—2,3
Температура застывания, °С . . . . .	—30	—20	—45	—25

**Висциновое масло.** Применяют для смазывания колец воздушных фильтров, очищающих засасываемый компрессором воздух от пыли. Представляет собой смесь, состоящую из 60% цилиндрического масла и 40% солярового масла; имеет удельный вес 0,938, вязкость 3,5—4 при 50°С и температуру застывания —25°С. Может быть заменено маслом фригус или трансформаторным.



Все сорта масел, используемых в кислородном производстве, хранятся в отдельных баках. На каждом баке должно быть написано название сорта масла, для которого бак предназначен. Для каждого сорта масла применяют отдельную масленку. Смешивание масел различных сортов не допускается, так как это может привести к аварии компрессора.

**Дистиллированная вода.** Представляет собой чистую «мягкую» воду, не содержащую растворенных в ней солей, способных давать накипь. Эту воду применяют для смазки цилиндров кислородных компрессоров, имеющих поршни с манжетами из фибры. Дистиллированную воду получают из обычной воды путем испарения последней и конденсации полученного пара. Для этой цели в кислородных цехах применяют специальные аппараты — *дестилляторы*. Нагревание воды в дистилляторах производится электрическим током или за счет использования тепла, которое выделяется при сжатии воздуха в компрессоре кислородной установки. Дистиллированная вода должна быть тщательно профильтрована и не иметь примесей в виде твердых взвешенных частиц.

Необходимо тщательно следить за тем, чтобы дистиллированная вода не содержала даже малейшей примеси масла, так как это связано с возможностью взрыва в цилиндрах кислородного компрессора. Расход дистиллированной воды в компрессор составляет 15—20 л на каждые 100 м<sup>3</sup> кислорода.

**Мыльная щелочная эмульсия.** Употребляют для смазки цилиндров кислородных компрессоров, имеющих поршни с металлическими кольцами из специальной бронзы. Приготавливается из ядрового мыла, изготовленного на доброкачественном подсолнечном масле путем кипячения 1 кг ядрового масла в 10 л дистиллированной воды с 250 г едкого натра.

Полученный сироп растворяют в 200 л теплой дистиллированной воды до получения эмульсии. Расход эмульсии составляет 10 л на каждые 100 м<sup>3</sup> кислорода.

#### 4. ПРОЧЕ МАТЕРИАЛЫ

Кроме указанных выше основных, вспомогательных и смазочных материалов, при производстве кислорода используют еще ряд других материалов. Познакомимся кратко с основными свойствами этих материалов и предъявляемыми к ним требованиями.

**Дихлорэтан.** Жидкость, являющаяся хорошим растворителем для масел, которую применяют для обезжиривания деталей, соприкасающихся со сжатым кислородом. Обезжиривание производится путем промывки деталей в дихлорэтаноле с последующей просушкой их на воздухе. Дихлорэтаном также периодически промывают кислородные аппараты с целью удаления из их внутренних частей скоплений масла, попадающего туда из компрессора вместе со сжатым воздухом. Технический дихлорэтан пред-

ставляет собой прозрачную жидкость, удельного веса 1,249—1,260 с температурой кипения 74—79°C. Дихлорэтан перевозится в цистернах, бочках или стеклянных бутылках.

При длительном вдыхании пары дихлорэтана могут вызвать отравление организма. С кислородом дихлорэтан дает взрывчатые смеси. При хранении дихлорэтана его следует защищать от действия света и влаги.

**Шлаковая вата.** Используют для кислородных аппаратов в качестве теплоизолирующего материала. Получается из расплавленного кислого доменного шлака путем распыления его в тончайшие нити струей сжатого воздуха или пара. Выпускается трех сортов: 0, 1 и 2. Для изоляции кислородных аппаратов пригодна вата только сортов 0 и 1. Сорт 0 имеет тонкие длинные волокна и не содержит заметных простым глазом шариковых включений шлака, общее содержание которых по весу не должно превышать 8%. Сорт 1 имеет более толстые волокна и включения шариков в количестве до 18%. Цвет ваты—белый, светлозеленый или светлокоричневый. Объемный вес для сорта 0 составляет 100—140 кг/м<sup>3</sup>, а для сорта 1 —140—180 кг/м<sup>3</sup>.

Шлаковая вата поставляется упакованной в деревянные решетчатые ящики. Хранить ее следует в сухом месте, защищенном от действия атмосферных осадков, так как влажность ваты не должна превышать 3%.

На заполнение кожуха кислородного аппарата производительностью 30 м<sup>3</sup>/час требуется 1,5 т ваты, а для аппарата производительностью 100 м<sup>3</sup>/час—3 т ваты.

**Магнезия углекислая.** Применяют для изоляции сосудов с жидким кислородом—танков, газификаторов и цистерн, причем используют только белую магнезию сорта альба. По внешнему виду магнезия белый рыхлый порошок, содержащий 40—45% окиси магния. Магнезия должна иметь объемный вес 170—190 кг/м<sup>3</sup> и очень тонкий помол. Доставляется и хранится во влагонепроницаемой упаковке (плотных бумажных мешках или фанерных барабанах). Влажность магнезии не должна превышать 2,5%.

**Четырехбромистый ацетилен (тетрабромэтан)**—тяжелая жидкость, имеющая удельный вес 2,96 и температуру кипения 151°C. Применяется для наполнения указателей уровня жидкого кислорода в танках, холодных газификаторах и цистернах.

**Прокладочные материалы.** Для изготовления манжет поршней кислородных компрессоров и прокладок для кислородных вентилялей и наполнительных рам используют листовую фибру. Для манжет применяют так называемую роговую фибру толщиной 2—4 мм. Для сальниковых прокладок кислородных вентилялей употребляют фибру из 100%-ной целлюлозы толщиной 2 мм, изготовленную на Кинешемской фибровой фабрике. Для прочих прокладок можно применять обычную красную или черную полужесткую фибру в листах толщиной 1—3 мм.

Для прокладок фланцевых соединений газопроводов и аппаратов кислородной установки, работающих под давлением, применяют клингерит (паронит), в виде листов различной толщины. Это вещество является асбестовым волокном, пропитанным раствором каучука с минеральными наполнителями. В качестве прочих прокладочных материалов используют картонные, асбестовые и резиновые листы соответствующей толщины.

**Краска для баллонов.** Для окраски баллонов в условные цвета, присвоенные различным газам, и нанесения на баллонах надписей с названием газа применяют масляные или эмалевые краски.

**Реактивы.** Употребляются для производства текущих контрольных анализов продукции, вырабатываемой цехом. Необходимо иметь следующие основные реактивы:

а) для определения чистоты кислорода—хлористый аммоний и аммиачный раствор плотностью 0,93;

б) для определения чистоты азота—желтый фосфор или пирогаллол и едкое кали;

в) для определения степени использования раствора щелочи в скрубберах и декарбонизаторах—соляную кислоту, фенолфталин и метил оранжевый;

г) для определения содержания ацетилена в жидком кислороде—специальные растворы, хорошо поглощающие ацетилен.

**Обтирочный материал.** В качестве обтирочного материала используются отходы текстильных фабрик, так называемые «концы».

**Охлаждающая вода.** Необходима для охлаждения воздуха в холодильниках компрессоров. Расход воды зависит от температуры и производительности установки. Примерно требуется 20—40 м<sup>3</sup> воды на 1000 м<sup>3</sup> кислорода. Теплая вода подается в градоступню или бассейн для охлаждения, а затем вновь используется для охлаждения воздуха в компрессорах.

\* \* \*

В условиях нашей социалистической промышленности вопрос о максимальной экономии материалов, применяемых в производстве, имеет большое народнохозяйственное значение.

Бережное расходование материалов, сокращение норм их расхода, а также использование отходов производства—все это является важным фактором в деле снижения себестоимости продукции. Эти мероприятия способствуют увеличению накоплений в социалистическом производстве, выполнению и перевыполнению планов развития народного хозяйства, увеличивают мощь Советского государства. Поэтому всемерная экономия материалов при производстве кислорода является важной задачей для всего персонала, обслуживающего кислородную установку.

Для экономии едкого натра необходимо наиболее полно использовать его раствор в аппаратах для очистки воздуха от углекислоты (скрубберы и декарбонизаторы), тщательно соби-

рать его куски при дроблении, собирать и использовать продуктивную щелочь из осушительных батарей. Хранение остатков каустика следует осуществлять в герметически закрытых сосудах с целью предохранения каустика от действия влаги и углекислоты, содержащихся в окружающем воздухе.

Компрессорное масло необходимо расходовать строго по установленным нормам. Отработанное машинное масло нужно тщательно собирать и передавать для последующей регенерации (восстановления), заключающейся в отстаивании и фильтрации.

Чтобы уменьшить расход дистиллированной воды на смазку кислородных компрессоров, необходимо использовать устройство для ее улавливания при продувке влагоотделителей на кислородной линии.

Собранная вода после отстаивания и фильтрации может быть вновь использована в производстве.

#### 4. ГОТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ

Готовой продукцией кислородного цеха или кислородной станции являются следующие газы и жидкости.

**Кислород газообразный технический.** Согласно ГОСТ 5583—50 «Кислород газообразный технический и медицинский» выпускаются два сорта кислорода: сорт А, содержащий не менее 99,2% кислорода, и сорт Б—не менее 98,5% кислорода; остальные 0,8—1,5% составляют аргон и азот. Выпуск кислорода сорта Б разрешен только на кислородно-аргонных установках. По этому же ГОСТ кислород в баллонах не должен содержать влаги более чем 0,07 г/м<sup>3</sup>.

**Кислород газообразный медицинский.** Содержание кислорода должно быть таким же, как и в техническом кислороде. Кроме того, в медицинском кислороде не должно содержаться вредных для человеческого организма примесей: окиси углерода, сероводорода, углекислоты, хлористых соединений, кислот и оснований.

Кислород, употребляемый в авиации для высотных полетов, не должен содержать влаги.

Для освобождения от влаги кислород перед наполнением в баллоны подвергают осушке силикагелем или активным глиноземом.

**Азот технический.** Представляет собой газ, получаемый из кислородного аппарата в качестве отхода, содержащий 95—98% азота и 2—5% кислорода и аргона. Таким азотом наполняют баллоны и отпускают их потребителям.

**Азот чистый.** Получают в кислородном аппарате путем дополнительной очистки технического азота от кислорода в специальной ректификационной колонне. Содержит 99—99,5% азота; остальное—кислород и аргон.

**Сжатый воздух.** Является атмосферным воздухом, которым наполняют баллоны под давлением 150 *ати*.

**Неоно-гелиевая смесь.** Состоит из азота, неона и гелия. Содержит до 10% неоно-гелия, остальное—азот. Ее отбирают в качестве побочного продукта из-под крышки конденсатора кислородного аппарата двойной ректификации, где собираются неон и гелий как трудно сжижаемые газы. Неоно-гелиевая смесь находит применение в электросветительной технике при изготовлении сигнальных ламп и световых реклам.

**Жидкий кислород.** Соответствует требованиям ГОСТ на газообразный кислород сортов А и Б и медицинскому кислороду, но отпускается потребителям в жидком виде.

**Жидкий воздух и жидкий азот.** Отбирают в жидком виде из соответствующих мест кислородного аппарата и отпускают потребителю в сосудах с вакуумной изоляцией. Обычно их используют в лабораториях в качестве хладоагентов для получения очень низких температур.

**Кислород технологический.** Содержит 90—98% кислорода и применяется для интенсификации технологических процессов на заводах металлургической, химической и других областей промышленности.

Все сжатые газы: кислород технический и медицинский, азот технический и чистый, сжатый воздух, неоно-гелиевая смесь, отпускаются потребителям в баллонах, под давлением  $150 \pm 5$  атм, отнесенных к температуре  $20^\circ\text{C}$ . Баллоны для каждого из этих газов имеют условную окраску, присвоенную данному газу, с указанием наименования завода, на котором баллон был наполнен газом.

На баллонах с медицинским кислородом, кроме того, должна быть наклеена этикетка установленного образца с надписью «кислород медицинский».

Жидкий кислород отпускают потребителям в специальной таре, снабженной особой тепловой изоляцией: дюаровских сосудах, транспортных танках, транспортных железнодорожных цистернах.

Порожние и наполненные газами баллоны хранят на специально оборудованных складах, откуда наполненные баллоны выдают потребителям. Жидкий кислород отпускают в транспортные средства из стационарных резервуаров-хранилищ. Технологический кислород обычно не накачивают в баллоны, а педают при помощи компрессоров из газгольдера по трубопроводу непосредственно к месту потребления—в доменные или мартеновские печи, газогенераторы и т. д.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какие газы входят в состав атмосферного воздуха?
2. Какие примеси и загрязнения и в каких количествах имеются в воздухе?
3. Какие сорта масел применяют для смазки воздушных компрессоров?
4. Для чего применяют дистиллированную воду и мыльную эмульсию?

5. Какие требования необходимо соблюдать при пользовании различными видами смазочных масел в кислородном производстве?
  6. Какие вспомогательные материалы применяют в кислородном производстве и для каких целей?
  7. Для чего нужен дихлорэтан в кислородном производстве?
  8. Какие виды изоляционных материалов применяют в кислородном производстве и каковы предъявляемые к ним требования?
  9. Какие сорта фибры используют в кислородном производстве?
  10. Какие реактивы необходимо иметь для контроля кислородного производства?
  11. Каково значение и какие существуют пути экономии материалов в кислородном производстве?
  12. Какие виды готовой продукции выпускает кислородный цех?
  13. Каким требованиям должна отвечать продукция?
  14. Через кислородную установку проходит в сутки  $16\ 000\ м^3$  воздуха. Определить:
    - а) какое количество пыли может отложиться в фильтре воздушного компрессора за 10 дней работы установки;
    - б) какое количество влаги и углекислоты могло быть занесено в аппарат за сутки его работы, если воздух не подвергался очистке от этих примесей;
  15. Какое количество едкого натра требуется заказать на год для кислородной установки производительностью  $130\ м^3/час$ ? Какое количество барабанов каустика это составит? Какому количеству жидкого 42%-ного каустика это будет соответствовать?
  16. Какое количество силикагеля по весу войдет в осушительную батарею из двух баллонов емкостью по  $50\ л$  каждый?
  17. Какой объем имеет осушительный баллон с активным глиноземом, если в нем содержится  $80\ кг$  этого вещества?
  18. На установке производительностью  $3600\ м^3/час$  расходуется  $0,018—0,022\ кг$  жидкого аммиака на  $1000\ м^3$  кислорода. Какое количество 40-литровых баллонов с аммиаком нужно израсходовать в течение года для станции из трех таких установок, каждая из которых работает  $7500\ час.$  в год?
  19. Какое количество машинного и компрессорного масла требуется для годовой работы установки производительностью  $30\ м^3/час$ , работающей в год  $8200\ час.$ ?
  20. Какое количество дистиллированной воды в сутки проходит через кислородный компрессор производительностью  $90\ м^3/час$  кислорода?
  21. Какое количество мыльной эмульсии должно пройти в сутки через компрессор производительностью  $110\ м^3/час$  кислорода?
  22. Какое количество шлаковой ваты в тоннах требуется для заполнения кожуха блока объемом  $12\ м^3$  при плотности набивки ваты  $200\ кг/м^3$ ?
  23. Какой объем можно заполнить  $800\ кг$  магнезии при плотности засыпки  $200\ кг/м^3$ ?
  24. Какой часовой расход воды имеет станция производительностью  $240\ 000\ м^3$  кислорода в сутки?
-

## ГЛАВА IV

# ТРУБОПРОВОДЫ И АРМАТУРА КИСЛОРОДНЫХ УСТАНОВОК

### 1. ТРУБОПРОВОДЫ

Назначением трубопроводов является соединение между собой машин и аппаратов кислородной установки с целью передачи газов и жидкостей. Трубопроводы бывают внутриблочные и междублочные. Внутриблочные трубопроводы соединяют внутренние части аппаратов (теплообменники, конденсаторы, ректификационные колонны и др.) и поэтому располагаются внутри кожуха блока разделения воздуха. Междублочные трубопроводы соединяют отдельные аппараты установки и прокладываются по стенам и колоннам здания, а также в специальных каналах, закрываемых рифленным железом. При этом трубопроводы надежно укрепляются на специальных кронштейнах или подвесках во избежание их провисания или вибрации во время работы установки.

В зависимости от передаваемых по коммуникациям кислородных установок веществ трубопроводы называются воздушными, кислородными, азотными, водяными, паровыми, аммиачными, щелочными; в зависимости от давления газа—трубопроводами низкого и высокого давления. Наконец, в зависимости от рабочей температуры веществ различают трубопроводы, работающие при обычной температуре и при низкой температуре. Последняя группа трубопроводов требует применения соответствующей изоляции.

Трубопроводы для различных веществ должны быть легко отличимы друг от друга, для этого их окрашивают в условные цвета: кислородные в синий, азотные в желтый, водяные и для продувочного воздуха в черный, для сжатого воздуха в красный, аммиачные в коричневый.

Для передачи воздуха, кислорода, азота, воды, пара, аммиака и щелочи под давлением, близким к атмосферному, или под давлением в несколько атмосфер применяются обычные стальные трубы. Для воздуха и азота, подаваемых под высоким давлением в несколько десятков атмосфер, а также для кислорода низкого давления до 15 *ати* и для сжатого аммиака используются стальные бесшовные трубы. Для кислорода, подаваемого под давлением свыше 15 *ати*, для жидкого кислорода, а также для всех газов и жидкостей, имеющих низкую рабочую температуру (ниже  $-70^{\circ}\text{C}$ ), применяются трубы из красной меди или латуни.

Стальные бесшовные трубы для кислорода, подаваемого под давлением свыше 15 *ати*, можно применять только при условии прокладки их не в цехе, а снаружи помещения, в земле или непроходном канале. В этом случае наружные выходы, расположенные в здании, изготавливают из труб красной меди.

Применение для сжатого кислорода трубопроводов из красной меди обусловлено тем, что стальные трубы под действием влажного кислорода могут подвергаться коррозии. Кроме того, известны случаи загорания стальных трубопроводов при подаче через них сжатого кислорода под высоким давлением.

Применение для веществ с низкой рабочей температурой трубопроводов из красной меди или латуни объясняется тем, что этот металл не теряет своей вязкости при понижении температуры. Между тем сталь при температуре ниже  $-70^{\circ}\text{C}$  понижает свою пластичность и становится хрупкой.

Трубопроводы и арматура для щелочи и аммиака делаются из стали, так как эти вещества разрушающе действуют на медь и ее сплавы.

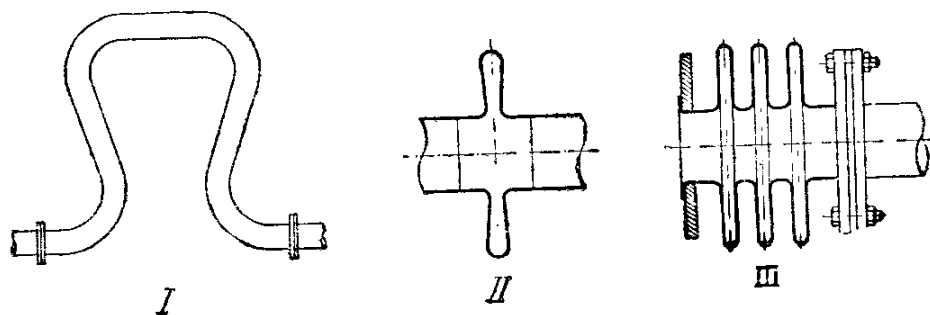


Рис. 14. Типы применяемых компенсаторов:  
I—петлеобразный; II—линзовый; III—сильфонный.

Наружные трубопроводы прокладывают в земле, ниже уровня промерзания, и снаружи покрывают несколькими слоями битума для предохранения от коррозии. Выше глубины промерзания можно прокладывать только трубы для газообразного кислорода, полученного путем испарения жидкого кислорода, так как он не содержит влаги.

Для облегчения стока конденсирующейся влаги трубопроводам придают соответствующий уклон. Длинные трубопроводы подвергаются заметному удлинению или укорочению при повышении или понижении их температуры. Поэтому их снабжают компенсаторами. Компенсаторы ставят еще и на внутриблочных трубопроводах большого диаметра, подвергающихся резким изменениям температуры.

Типы применяемых компенсаторов показаны на рис. 14. В ряде случаев, особенно для труб небольшого диаметра, установку компенсатора заменяют тем, что трубе придают соответствующие изгибы, которые позволяют ей свободно удлиняться.



Большинство трубопроводов соединяется при помощи сварки. В местах установки арматуры делают фланцевые соединения

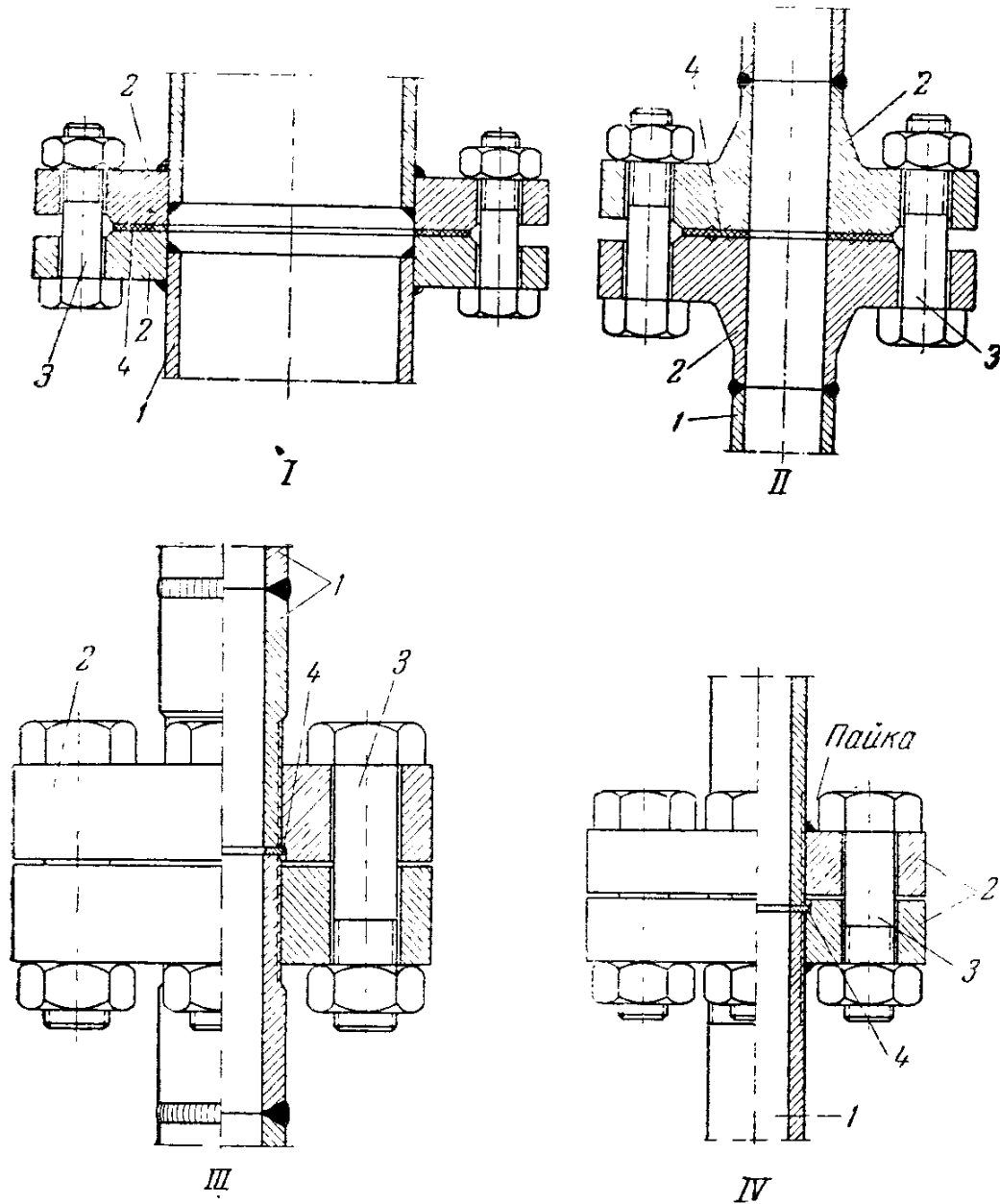


Рис. 15. Типы фланцевых соединений трубопроводов:

1—труба; 2—фланцы; 3—болты; 4—прокладка.  
 I—плоские фланцы с приваркой угловым швом для трубопроводов низкого и среднего давления; II—фланцы точеные «с усом», приваренные стыковым швом, для трубопроводов высокого давления; III—фланцы точеные с резьбой для стальных труб высокого давления; IV—фланцы точеные с резьбой, припаянные мягким припоем, для труб из красной меди или латуни.

с уплотняющими прокладками. На рис. 15 приведены основные типы фланцевых соединений трубопроводов, применяемые в кислородном производстве.

Медные трубы соединяют посредством пайки мягким (оловянисто-свинцовым) или твердым (латунным) припоем. Для кислородопроводов высокого давления применяют муфтовое соединение или соединение в раструб, с пайкой твердым припоем.

Кислородопроводы, особенно для сжатого кислорода, после монтажа должны быть обезжирены путем промывки их изнутри растворителем (четыреххлористый углерод, дихлорэтан). После промывки растворителем, особенно дихлорэтаном, трубопровод должен быть очень тщательно продут перегретым паром, горячим азотом или горячим воздухом до полного испарения и удаления остатков растворителя из всех точек трубопровода. Только после этого можно пускать кислород в трубопровод.

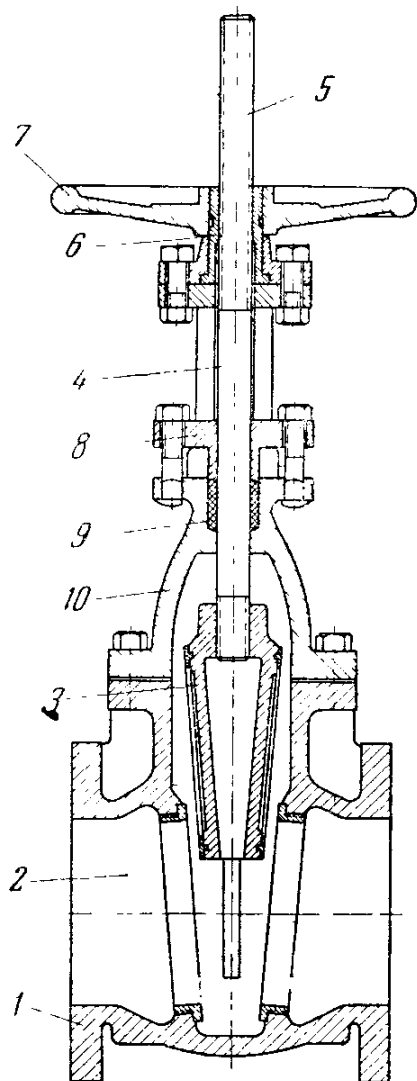


Рис. 16. Задвижка:

1—корпус; 2—отверстие; 3—клапан; 4—шпindel; 5—нарезка; 6—гайка; 7—маховичок; 8—сальник; 9—набивка сальника; 10—крышка.

щих воздух под давлением 5—6 *ати* от турбокомпрессора в блок разделения. Задвижка в разрезе изображена на рис. 16. Корпус 1 задвижки имеет отверстие 2, закрываемое клиновым клапаном 3. Подъем и опускание клапана осуществляются шпинделем 4, имеющим вверху ленточную нарезку 5. При вращении маховичка 7 вращается связанная с ним гайка 6, и клапан 3 поднимается или опускается в зависимости от направления вращения маховичка. Шпindel снабжается сальником 8 с набивкой 9, помещенным на крышке 10.

Для трубопроводов небольшого диаметра ставятся вентили, которые имеют такую же конструкцию, что и задвижки, но снабжены не клиновидными, а плоскими клапанами.

## 2. АРМАТУРА

С целью регулирования подачи по трубопроводам газов или жидкостей, а также продувки аппаратов, в кислородных установках применяют различные задвижки и вентили. Чтобы обеспечить движение газа или жидкости только в одном направлении, применяют автоматически действующие обратные клапаны. Предохранение отдельных аппаратов от повышения в них давления сверх установленного предела осуществляется посредством предохранительных клапанов. Познакомимся с устройством некоторых наиболее распространенных типов перечисленной выше арматуры.

**Задвижки.** Ставят на трубопроводах большого диаметра, предназначенных для подачи сжатого воздуха, пара или воды. Например, их используют на трубопроводах, подаю-

**Запорные вентили высокого давления.** Запорный вентиль для воздуха высокого давления (до 220 *ати*) изображен на рис. 17. Корпус 1 вентилля изготовляется из стали. Шпindelъ 2 снабжен в нижней части резьбой 3 и имеет свободно качающийся клапан 4, который самоустанавливается в отверстии седла корпуса и закрывает его. Для уплотнения шпинделя имеется сальник 5 с асбестовой набивкой. Шпindelъ и клапан изготовляются из не-

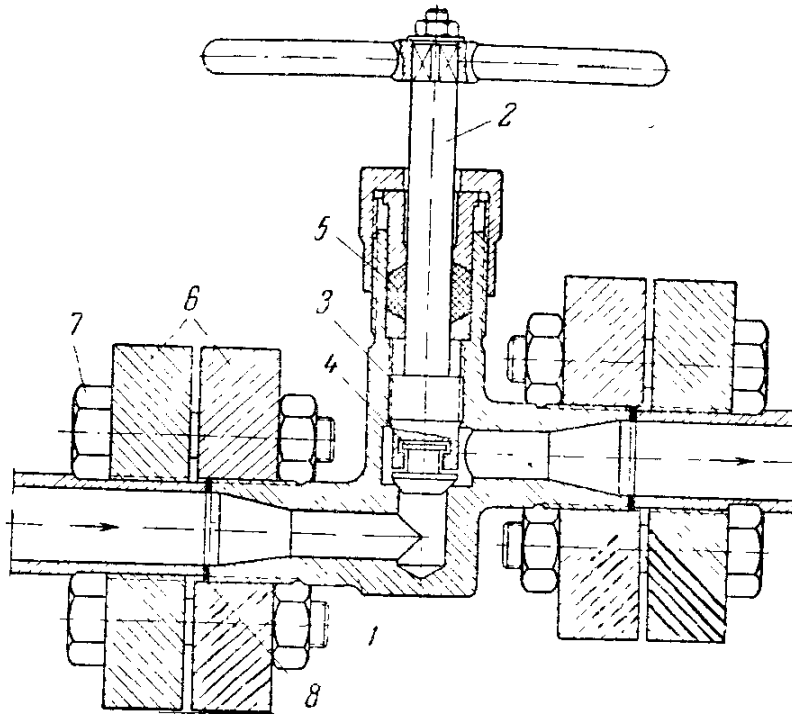


Рис. 17. Запорный вентиль высокого давления для воздуха:

1—корпус; 2—шпindelъ; 3—резьба; 4—конусный клапан; 5—сальниковая набивка; 6—фланцы; 7—болты; 8—медная прокладка.

ржавеющей стали марки ЭЖ-2 или ЭЖ-3. Вентиль в собранном виде испытывается на 330 *ати*. Присоединение вентилля к трубопроводу осуществляется с помощью фланцев 6, стягиваемых болтами 7. Для уплотнения фланцев применяется прокладка 8 из отожженной красной меди. Фланцы посредством резьбы наворачиваются на концы труб и корпус вентилля.

Запорный вентиль для кислорода высокого давления (150—165 *ати*) изображен на рис. 18. При вращении маховичка 7 вращается шпindelъ 4, передающий свое вращение клапану 2. При перемещении по резьбе клапана 2 вверх или вниз конус 3 открывает и закрывает отверстие вентилля. Корпус и клапан вентилля изготовляются из латуни, а конус клапана— из нержавеющей стали марки ЭЖ-3. Уплотнение шпинделя осуществляется фибровой шайбой. Фланцы изготовляются из стали, наворачиваются на вентиль и конец трубы на резьбе и затем пропаиваются мягким припоем. Уплотнение фланцев осуществляется фибровыми прокладками. Вентиль испытывается на 225 *ати* и перед установкой в линию обезжиривается.

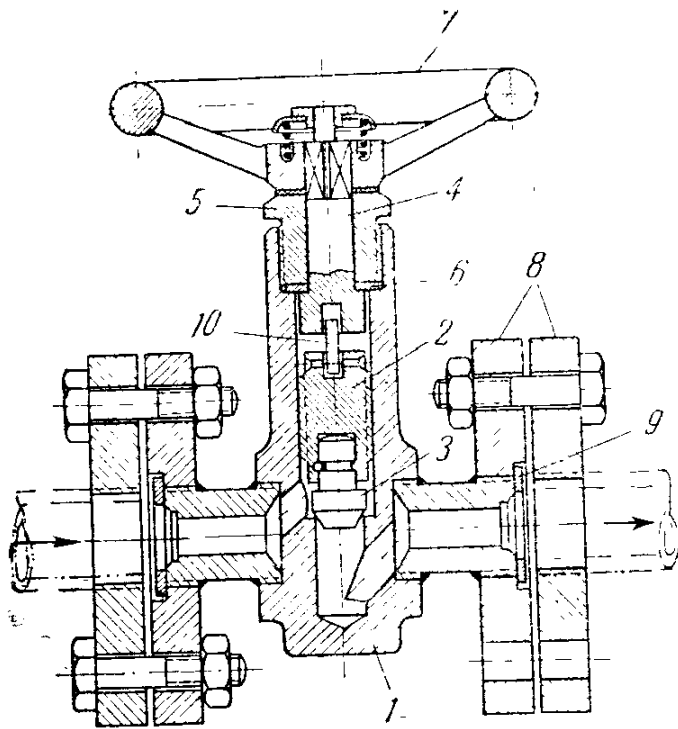


Рис. 18. Запорный вентиль высокого давления для кислорода:

1—корпус; 2—клапан; 3—конус клапана; 4—шпindel; 5—сальниковая гайка; 6—фибровая прокладка сальника; 7—маховичок; 8—фланцы; 9—фибровая прокладка фланца; 10—чека, соединяющая клапан и шпindel.

**Расширительные (дрессельные) вентили.** Служат для понижения давления сжатых газов: воздуха, кислорода и азота. Конструкция и качество изготовления расширительных вентилей имеют большое значение для бесперебойной работы кислородного аппарата. Разрез расширительного вентилей наиболее распространенной конструкции изображен на рис. 19. Сжатый газ поступает через отверстие, находящееся в корпусе 1. В отверстие входит уплотняющий конус 2 с направляющими 3. Сжатый газ, проходя через узкую щель между конусом 2 и его седлом, дросселируется и при этом охлаждается. Конус выточен на конце шпинделя 4, снабженного нарезкой 5. Корпус соединен длинной трубкой 6 с теплым\* сальником 7, выведенным за щит аппарата.

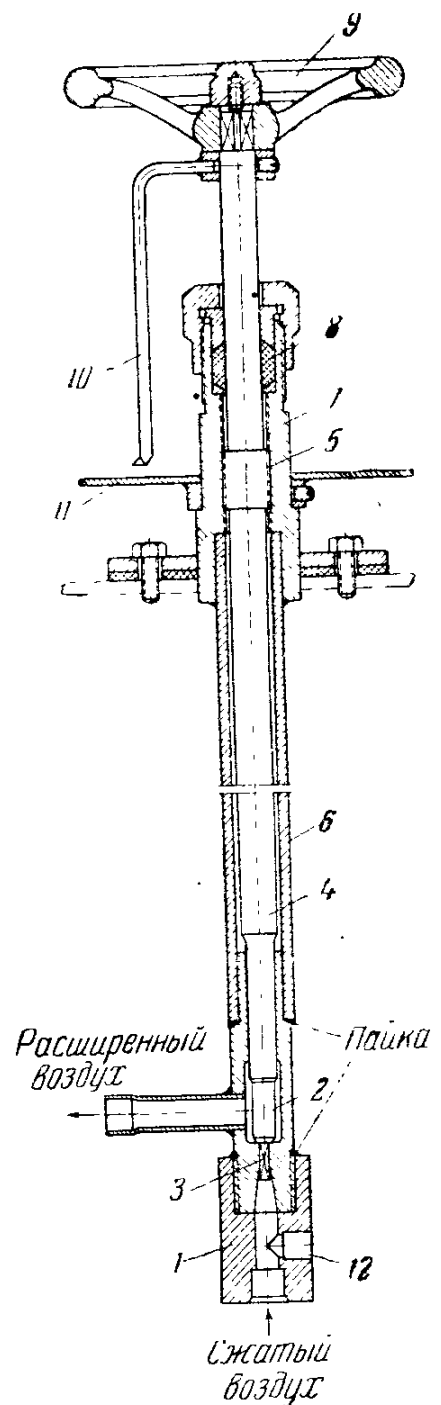
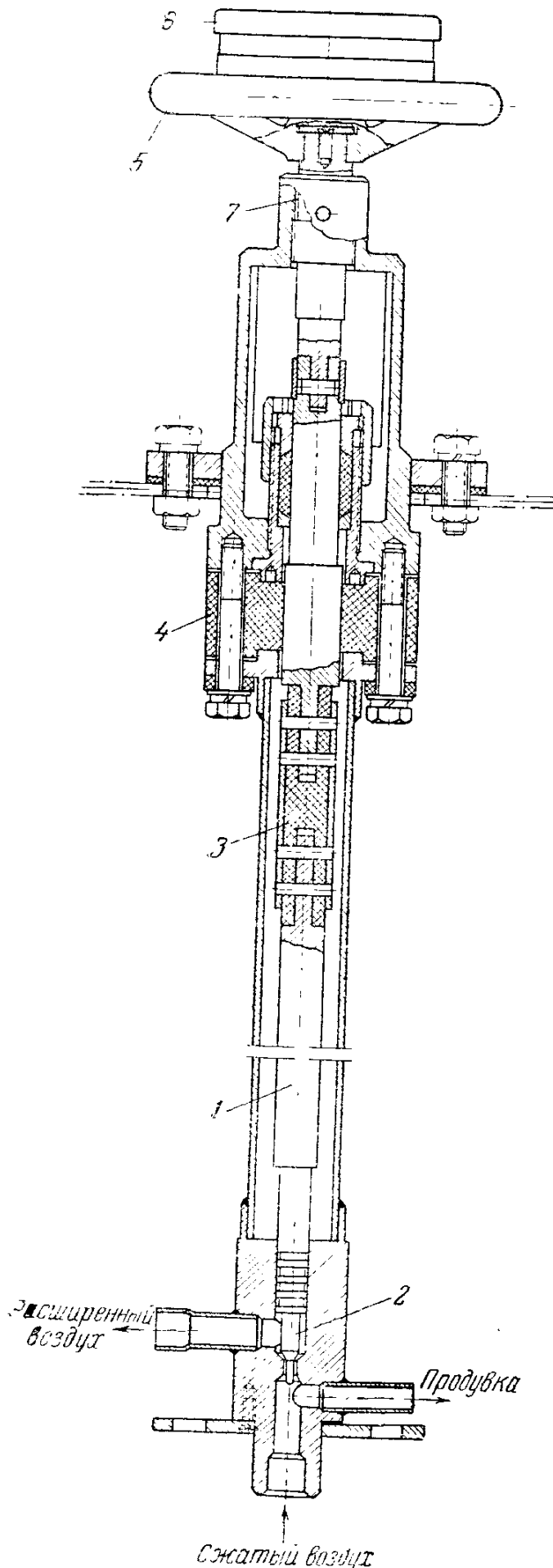


Рис. 19. Расширительный вентиль:

1—корпус; 2—конус; 3—направляющие конуса; 4—шпindel; 5—резьба шпинделя; 6—соединительная трубка; 7—корпус сальника; 8—набивка сальника; 9—маховичок; 10—стрелка-указатель; 11—шкала; 12—отверстие для продувки.

\* Теплыми называются сальники, работающие при положительной температуре.



Сальник 7 имеет асбестовую набивку 8. Корпус вентиля помещается в изоляции аппарата. С маховичком 9 соединена стрелка-указатель 10 угла поворота шпинделя, имеющая шкалу 11. В отверстии 12 корпуса впаивается трубка для продувки расширительного вентиля.

В новейших конструкциях кислородных установок применяют расширительные вентили более совершенной, но зато и более сложной конструкции. Такой вентиль изображен на рис. 20. Шпиндель 1 этого вентиля имеет тщательно обработанный конус 2, заканчивающийся иглой специального профиля, посредством которой осуществляется более точная регулировка давления воздуха после расширительного вентиля. Для уменьшения потерь холода шпиндель снабжен тепловым мостиком 3 из текстолита, который обладает хорошими теплоизоляционными свойствами. С этой же целью применяют текстолитовую прокладку 4, соединяющую между собой холодную и теплую части вентиля. Маховичок 5 снабжен специальным счетчи-

Рис. 20. Расширительный вентиль усовершенствованной конструкции:

1—шпиндель; 2—уплотнительный конус; 3—тепловой мостик из текстолита; 4—текстолитовая прокладка; 5—маховичок; 6—счетчик оборотов; 7—резьба шпинделя.

ком оборотов 6, на циферблате которого имеется стрелка, указывающая, на сколько оборотов открыт вентиль. Всего вентиль имеет 12 оборотов, что соответствует подъему конуса над седлом на 12 мм. Шпindelь снабжен резьбой 7, расположенной снаружи, в теплой части внешнего корпуса.

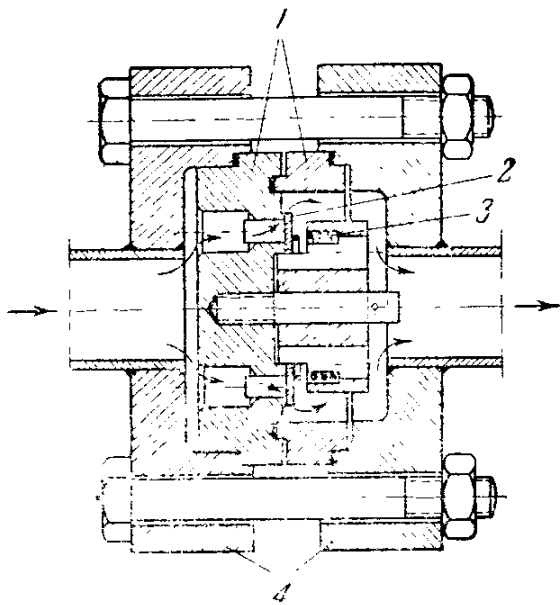


Рис. 21. Обратный клапан пластинчатый:

1—корпус клапана; 2—пластинка; 3—пружина; 4—фланцы.

Обратные клапаны. Употребляются для прпускания потока газа или жидкости только в одном направлении. Такие клапаны устанавливают, например, на воздухопроводе между декарбонизатором и I или II ступенями воздушного компрессора. В этом случае клапан предохраняет от возможности забрасывания раствора щелочи из декарбонизатора в компрессор. Обратный клапан ставится также на нагнетательной линии между кислородным компрессором и наполнительной рампой, предупреждая поступление сжатого кислорода из баллонов обратно в кислородопровод.

Конструкция обратного клапана показана на рис. 21. Клапан состоит из корпуса 1 и пластинки 2, закрываемой пружиной 3.

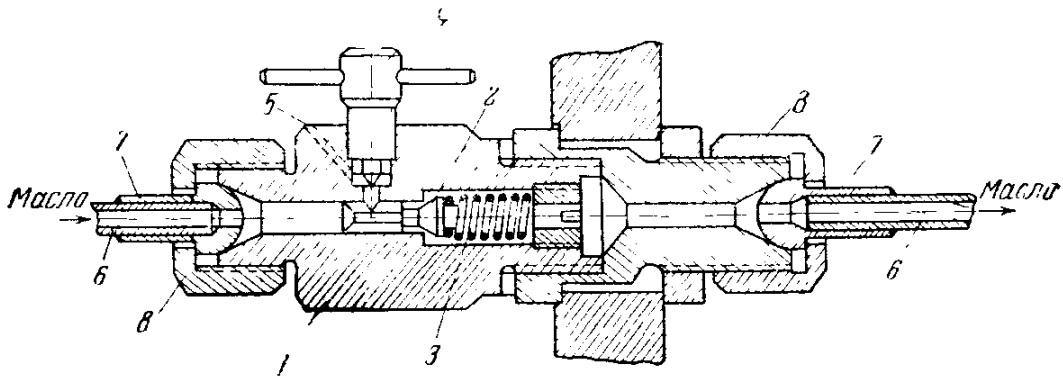


Рис. 22. Обратный клапан для маслопровода:

1—корпус; 2—клапан; 3—пружина; 4—винт контрольный; 5—отверстие контрольное; 6—шайбы; 7—шпатели; 8—накладные гайки.

Корпус клапана зажат болтами между двумя фланцами 4, которые приварены к концам трубопровода. Клапанная пластинка 2 пропускает газ или жидкость только в одном направлении. При обратном течении потока вещества пластинка 2 плотно закрывает отверстие клапана, находясь под действием пружины 3 и давления газа.

На рис. 22 показана конструкция обратного клапана, применяемого на маслопроводах, по которым подается под давлением смазка в цилиндры воздушных компрессоров. В корпус 1 вставлен конусный клапан 2, который под действием пружины 3 закрывает отверстие маслопровода. Масло поступает к клапану 2 в направлении, указанном на чертеже стрелкой, и своим давлением открывает клапан, сжимая пружину. Если давление после клапана будет выше, чем давление масла до клапана, то под действием пружины и разности давлений клапан закроется, и масло не сможет пойти в обратном направлении. Винт 4 служит для проверки наличия масла в системе, так как при вывертывании этого винта масло вытекает через контрольное отверстие 5. Трубки 6 маслопровода впаяны в нипели 7, головки которых имеют шаровую поверхность. Нипели с помощью накидных гаек 8 прижимают трубки к корпусу клапана.

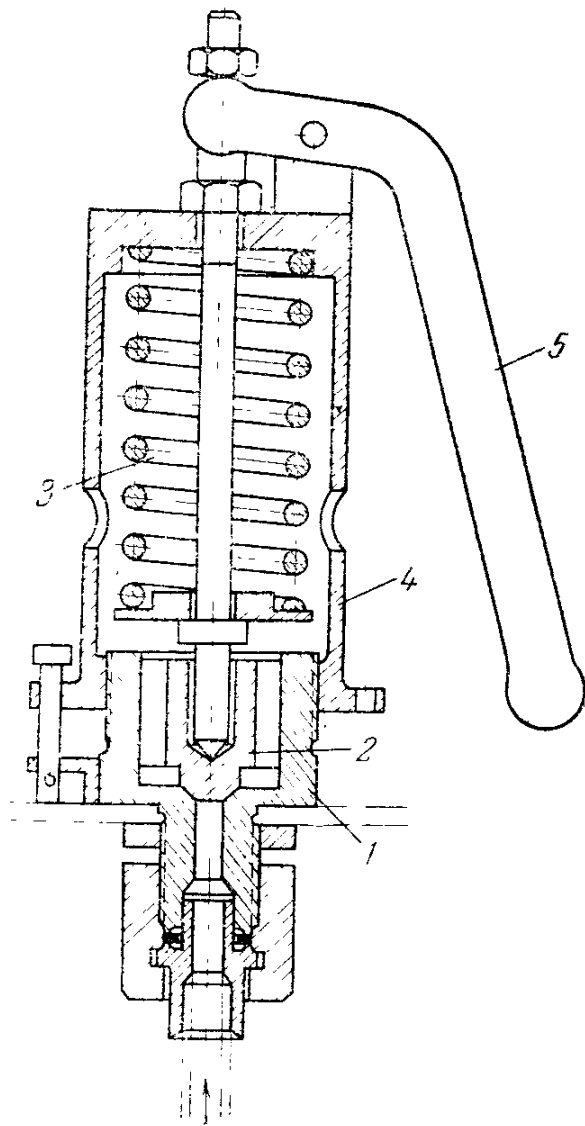


Рис. 23. Пружинный предохранительный клапан:

1—корпус; 2—клапан; 3—пружина; 4—колпачок-гайка; 5—рычаг для отжатия при продувке.

**Предохранительные клапаны.** Служат для защиты машины или аппарата от повышения в них давления выше допускаемой величины.

По своей конструкции предохранительные клапаны бывают пружинные и рычажные.

Корпус 1 пружинного клапана (рис. 23) имеет отверстие, закрываемое клапаном 2, находящимся под действием пружины 3. Сила пружины должна быть достаточной для преодоления силы давления газа, действующего на клапан снизу. Нажатие пружины регулируется с помощью колпачка-гайки 4.

Рычаг 5 служит для периодического подъема клапана с целью его продувки.

В рычажном клапане (рис. 24) вместо пружины устроен рычаг 3. Шарнирный конец 4 рычага неподвижен, а на противополож-

ном конце рычага надет груз 5, силой своего веса нажимающий на рычаг и закрывающий клапан. Передвигая груз 5 вправо или

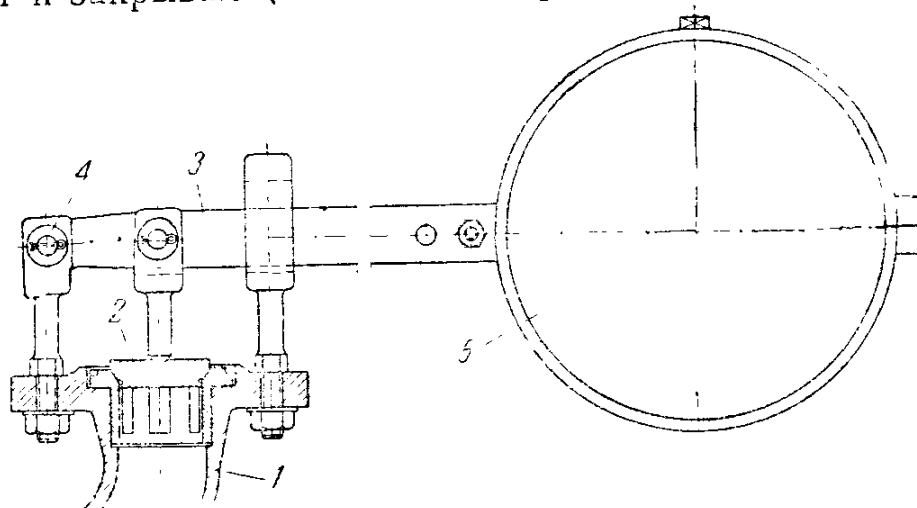


Рис. 24. Рычажный предохранительный клапан:  
1—корпус; 2—клапан; 3—рычаг; 4—неподвижный шарнир; 5—груз.

влево, можно соответственно увеличивать или уменьшать силу нажатия на клапан.

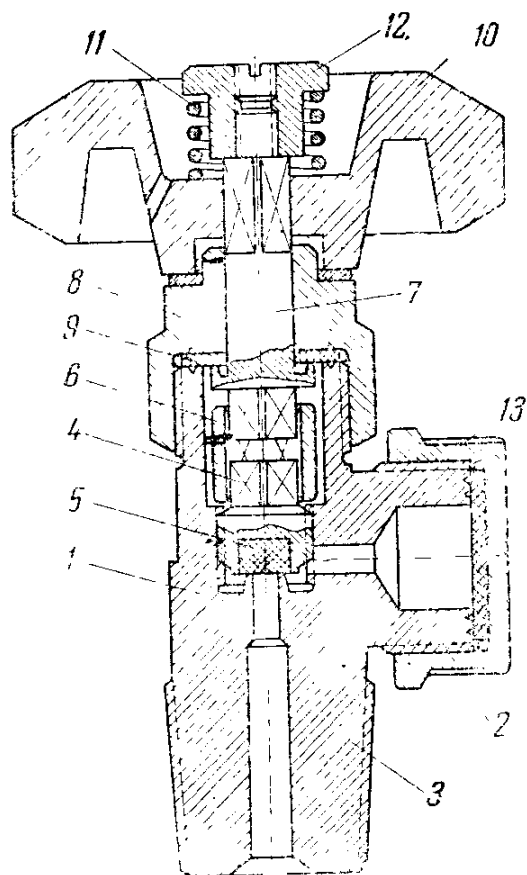


Рис. 25. Вентиль для баллонов:  
1—корпус; 2—боковой штуцер; 3—конусный хвостовик; 4—клапан; 5—уплотнитель; 6—муфта передаточная; 7—шпindel; 8—сальниковая гайка; 9—фибровая прокладка сальниковая; 10—маховичок; 11—пружина; 12—гайка маховичка; 13—заглушка.

Вентили для баллонов имеют конструкцию, изображенную на рис. 25. Корпус 1 вентиля, изготовленный из латуни, снабжается боковым резьбовым штуцером 2 и конусным хвостовиком 3. Отверстие в корпусе вентиля закрывается резьбовым клапаном 4, снабженным уплотнением 5 из отожженной красной меди. Верхний квадрат клапана входит в нижнюю часть муфты 6. В верхнюю часть этой же муфты входит квадратный конец шпинделя 7, проходящего через сальниковую гайку 8. Шпindel имеет буртик, посредством которого прижимается снизу вверх к фибровой прокладке 9, выполняющей роль сальникового уплотнения. На верхний квадрат шпинделя надет маховичок 10, закрепляемый через пружину 11 гайкой 12. Боковой штуцер закрывается заглушкой 13, изготовляемой обычно из пластмассы. Шпindel 7 изготовляется из латуни или нержавеющей стали. При повороте маховичка шпindel вращается и



через муфту 9 передаст свое вращение клапану 4. В зависимости от направления вращения шпинделя клапан 4 ввертывается или вывертывается в корпус вентиля, соответственно закрывая или открывая отверстие для прохода газа.

### 3. РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ

Ремонт трубопроводов состоит в их прочистке, продувке, покраске и устранении негерметичности. Дефектные места трубопроводов, имеющие вмятины или подвергшиеся сильной коррозии, вырезают ножовкой или кислородным резаком и на их место сваривают новый отрезок трубы соответствующего диаметра. Трещины на трубах заваривают при помощи газовой или электродуговой сварки. Пропуски во фланцевых соединениях устраняют путем смены фланцевой прокладки.

Подвергшийся ремонту участок трубопровода должен быть испытан гидравлически на давление, в 1,5 раза превышающее рабочее давление. Всякий ремонт можно производить только тогда, когда трубопровод отключен от установки и полностью освобожден от находящегося в нем газа или жидкости.

Ремонт арматуры заключается в устранении пропусков в клапанах запорных и расширительных вентилях, в сальниках штоков вентилях, во фланцевых и муфтовых соединениях и т. д. Ремонт клапанов осуществляют путем зачистки рабочей поверхности седла и клапана с последующей притиркой клапана к седлу при помощи мелкозернистого стекла. Пропуски в сальниках устраняют посредством подтягивания их грядбуксы или заменой сальниковой набивки.

Негерметичность трубопроводов и арматуры ведет к потере сжатого воздуха или кислорода. Поэтому она должна устраняться при первой возможности. Особенно нежелательны пропуски холодного газа в вентилях и различных соединениях, так как такие утечки ведут к обмерзанию арматуры и к доводительным потерям холода из аппарата.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды трубопроводов применяют в кислородных установках?
2. Как производится прокладка трубопроводов для воздуха и кислорода?
3. Для чего служат компенсаторы?
4. Какие виды фланцевых соединений используют в трубопроводах кислородных установок?
5. Как устроена задвижка и для чего ее употребляют?
6. Какова конструкция запорных вентилях высокого давления для воздуха и для кислорода?
7. Как устроен расширительный вентиль?
8. Какова конструкция обратных и предохранительных клапанов?
9. Как устроен вентиль для баллона?
10. В чем заключается ремонт трубопроводов и арматуры?

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КИСЛОРОДНЫХ УСТАНОВОК

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОРОДА

Для осуществления процесса получения кислорода из атмосферного воздуха на предприятии сооружается специальный цех, называемый *кислородным цехом*. Продукцией кислородного цеха обычно обеспечивают потребность того предприятия, в состав которого входит цех. Если же кислород отпускают другим потребителям и он является основной товарной продукцией, то в этом случае организуют самостоятельное предприятие, являющееся *кислородным заводом*.

В зависимости от требований потребителей и условий производства кислород можно получать в газообразном или в жидком виде.

Жидкий кислород обычно производят на районных кислородных заводах, продукцией которых удовлетворяют потребность ряда других предприятий данного района. Газообразный кислород вырабатывают или как товарную продукцию, отпуская его потребителю в баллонах, или для собственного потребления данного предприятия. Если кислород используется на данном предприятии для целей сварки и резки металла, то его подают в сварочный цех по трубопроводу или в баллонах. В том случае, когда продукцию кислородной станции поставляют на действующие агрегаты других производств—доменные, мартеновые, газогенераторные и пр. подачу кислорода производят по трубопроводам под требуемым давлением.

В соответствии с общим технологическим процессом производства кислородный цех имеет обычно следующие отделения:

- 1) машинный зал, в котором располагаются воздушные и кислородные компрессоры и аммиачные холодильные установки;
- 2) аппаратное отделение, где расположены воздухоразделительные аппараты с детандерами;
- 3) щелочное отделение, где устанавливается аппаратура для очистки воздуха от углекислоты и его осушки, а также соответствующие устройства для приготовления раствора щелочи;
- 4) газгольдерное отделение или отдельный газгольдер, устанавливаемый вне здания кислородного цеха;
- 5) насосное отделение с градирней или брызгальным бассейном для охлаждения воды, подаваемой в холодильники компрессоров;

6) наполнительное отделение с устройствами для наполнения баллонов кислородом;

7) склад наполненных и порожних баллонов с мастерской для их испытания и ремонта. При кислородном цехе для получения жидкого кислорода имеется также отделение цистерн, служащих для хранения запасов жидкого кислорода.

Кроме того, при кислородном цехе должно иметься помещение для небольшой ремонтно-механической мастерской, складское и конторское помещения, комната для лаборатории и бытовые устройства.

В зависимости от размера цеха и производительности установленных в нем кислородных агрегатов перечисленные выше отделения могут располагаться в различных помещениях или объединяться в одном общем помещении или здании. Обычно машинный зал, аппаратное отделение, щелочное отделение и др. располагают в одном здании, являющемся главным корпусом кислородного цеха. Наполнительное же отделение и склад баллонов с ремонтной мастерской для них располагают в другом здании, являющемся подсобным корпусом цеха. Для небольших кислородных цехов, производительностью до  $60 \text{ м}^3/\text{час}$ , наполнительное отделение и склад баллонов часто пристраивают к главному корпусу цеха, отделяя от последнего глухой стенкой — брандмауером.

Процесс производства кислорода включает следующие основные стадии:

- 1) сжатие воздуха в компрессоре;
- 2) очистка сжатого воздуха от углекислоты;
- 3) осушка сжатого воздуха;
- 4) сжижение и ректификация воздуха с целью разделения его на кислород и азот;
- 5) накопление полученного газообразного кислорода в газгольдере или жидкого кислорода в цистерне;
- 6) наполнение газообразным сжатым кислородом баллонов или подача сжатого кислорода потребителю по газопроводу или слив жидкого кислорода из стационарных танков и цистерн в транспортные танки и цистерны.

Для осуществления всех перечисленных стадий процесса получения кислорода из атмосферного воздуха пользуются в качестве производственного агрегата *кислородной установкой*, включающей в себя необходимое компрессорное оборудование, аппараты для очистки воздуха, аппаратуру для охлаждения, сжижения и ректификации воздуха и устройства для наполнения баллонов кислородом.

Существует много различных технологических схем кислородных установок, используемых в промышленности. Одни из них являются более простыми, но менее экономичными; другие более сложны, но зато дают лучшие эксплуатационные показатели.

Технологические схемы определяются назначением установки и отличаются:

- а) способом получения холода, т. е. холодильным циклом;
- б) способами очистки воздуха от углекислоты и влаги;
- в) схемой ректификации.

Ознакомимся с современными типовыми технологическими схемами кислородных установок, получившими применение в отечественной промышленности.

## 2. УСТАНОВКИ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДВУКРАТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Для стационарных установок средней мощности часто применяют холодильный цикл высокого давления и двукратную ректификацию.

Схема такой установки типа С-30 и типа С-130, выпускавшейся ряд лет отечественными заводами, показана на рис. 26. Эта установка работает на получение газообразного кислорода. Если же в схеме холодильного цикла такой установки предусмотреть поршневой детандер высокого давления, то она может давать до 80% кислорода в жидком виде.

Установка газообразного кислорода по этой схеме работает следующим образом. Воздух засасывается через фильтр 1 компрессором 2, проходя через холодильники 3, включенные между отдельными ступенями компрессора. Между II и III ступенями компрессора включен декарбонизатор 4, в котором воздух очищается от углекислоты. Сжатый воздух из последней ступени компрессора 2 поступает в осушительную батарею 5, которая наполнена кусками едкого натра. Осушенный воздух через теплообменник 6 поступает в кислородный аппарат 7 двукратной ректификации. Полученный кислород отводится из аппарата 7 в газгольдер 8, а азот выбрасывается в атмосферу.

Из газгольдера кислород засасывается кислородным компрессором 9 и накачивается через наполнительную рампу 10 в баллоны 11.

Видоизменение схемы установки при ее работе на получение жидкого кислорода состоит в том, что в установку включается детандер, через который пропускается примерно 50% сжатого воздуха, подаваемого компрессором. Охлажденный воздух, расширившийся в детандере до 6 *атм*, подается в детандерную ветвь теплообменника, откуда идет в испаритель кислородного аппарата двукратной ректификации. Остальные 50% воздуха, как и в установке для газообразного кислорода, идут по трубкам основного теплообменника, поступая затем в змеевик испарителя и в воздушный расширительный вентиль нижней колонны. Полученный жидкий кислород сливается из конденсатора кислородного аппарата в стационарный танк, откуда периодически переливается в транспортные танки для развозки его потребителям. Установка этого типа производительностью 130  $m^3$  час газообразного кислорода расходует электроэнергии 1,25—1,4 *квт-ч*  $m^3$  кислорода. С учетом

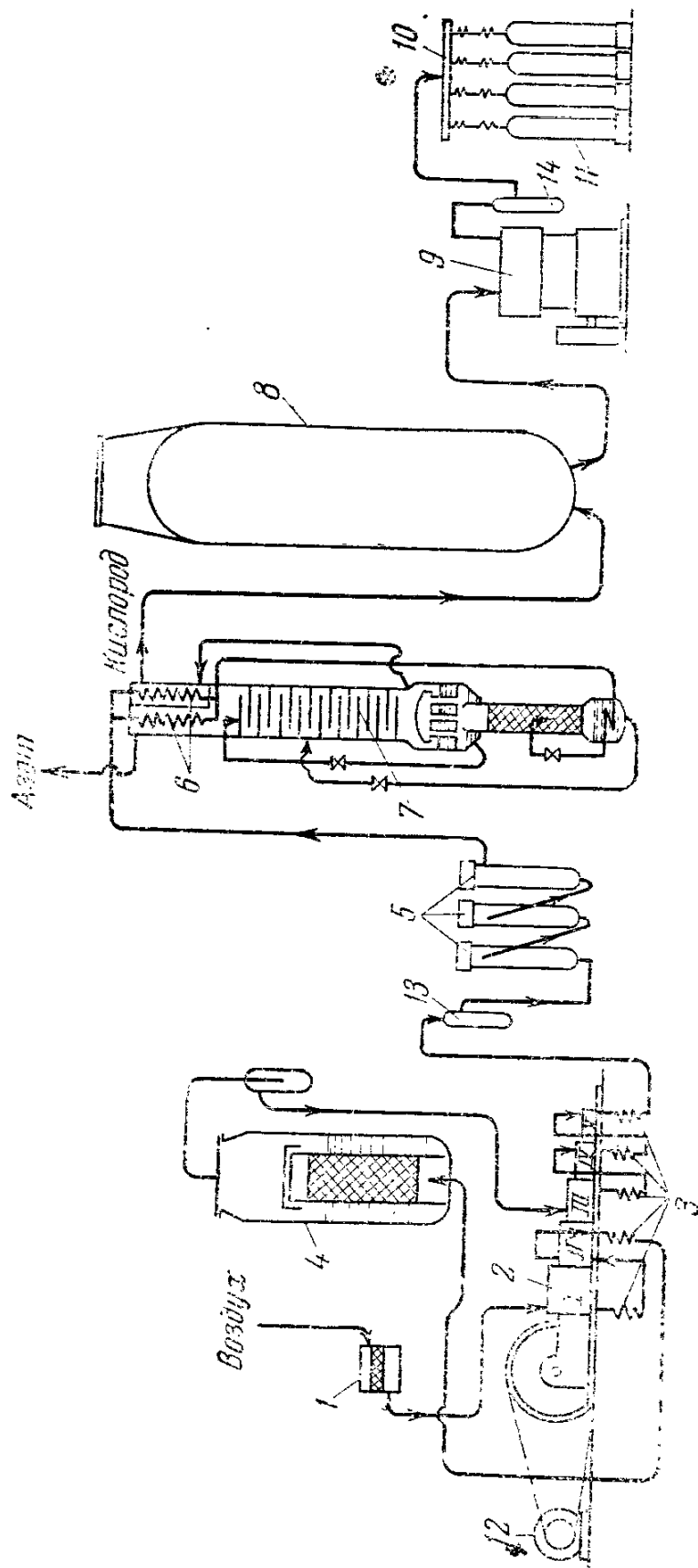


Рис. 26. Схема установки высокого давления:

1—воздушный фильтр; 2—воздушный компрессор; 3—холодильник; 4—декарбонизатор; 5—осушительная батарея; 6—теплообменник; 7—кислородный аппарат двукратной ректификации; 8—газодельер; 9—кислородный компрессор; 10—наполнительная рама; 11—электромотор; 12, 14—водостделители.

расхода электроэнергии на наполнение баллонов кислородом, а также остановок кислородного аппарата на отогревание и пусковых периодов установки, средний расход электроэнергии на получение кислорода составит  $1,8-2,0 \text{ кВт-ч/м}^3$ . При получении жидкого кислорода расходуется электроэнергии  $1,5-1,8 \text{ кВт-ч/кг}$ .

На рис. 27 показана схема отечественной установки высокого давления типа КГН-30 производительностью  $30 \text{ м}^3/\text{час}$ , в которой кислородный компрессор заменен насосом для жидкого кислорода. Как обычно, воздух сначала проходит через фильтр 1

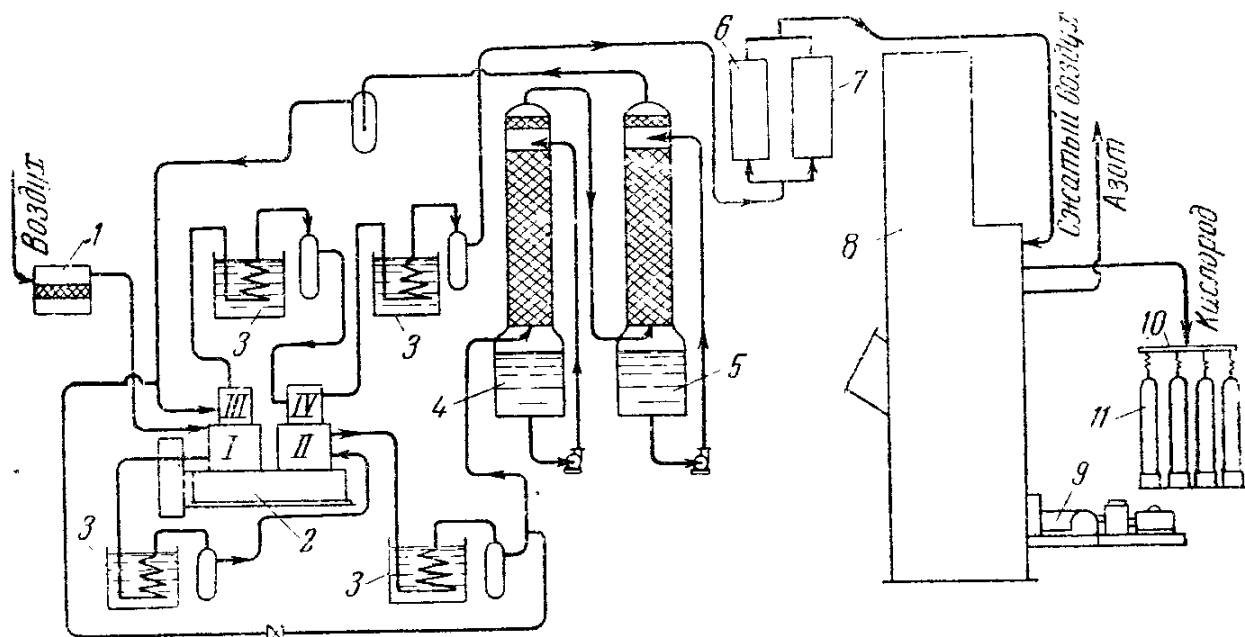


Рис. 27. Схема установки высокого давления с кислородным насосом:

1—воздушный фильтр; 2—воздушный компрессор; 3—холодильники компрессора; 4, 5—щелочные скрубберы; 6, 7—осушители с активной окисью алюминия; 8—кислородный аппарат (блок разделения); 9—кислородный насос; 10—наполнительная рама; 11—баллоны.

для очистки от механических примесей, после чего сжимается в компрессоре 2, снабженном промежуточными холодильниками 3.

Очистка воздуха от углекислоты в этой установке производится под давлением  $3 \text{ атм}$  в двух щелочных скрубберах 4 и 5, включенных последовательно после I степени воздушного компрессора. Сжатый в компрессоре воздух подвергается осушке в двух, попеременно работающих осушителях (адсорберах) 6 и 7, заполненных активным глиноземом. Применение двух щелочных скрубберов и активного глинозема значительно улучшает степень очистки воздуха от углекислоты и осушки его от влаги, что весьма благоприятно отражается на работе установки, удлиняя ее рабочий период и улучшая технико-экономические показатели. После осушителей воздух попадает в кислородный аппарат 8 двойной ректификации, где разделяется на кислород и азот. Жидкий кислород из конденсатора аппарата перекачивается специальным

кислородным насосом 9 в теплообменник, где он испаряется под давлением до 150—165 *ати*. Полученным газом через рампу 10 наполняют баллоны 11.

Таким образом данная установка не требует отдельного кислородного компрессора и газгольдера. Это делает установку весьма компактной и сокращает необходимую для нее производственную площадь. Кислород, получаемый на данной установке, совершенно не содержит влаги и поэтому не нуждается в дополнительной осушке. Сухой кислород не вызывает коррозию баллонов и исключает возможность замерзания кислородных редукторов. Рабочее давление воздуха при запуске установки составляет 200—220 *ати*, а при установившейся работе 120 *ати*.

Более подробная схема кислородного аппарата (блока разделения) такой установки изображена на рис. 28.

Сжатый воздух из компрессора и блок осушки поступает в змеевик теплообменника 1, где охлаждается отходящим азотом и жидким кислородом, а затем через змеевик испарителя 2 идет в среднюю нижнюю колонны 3, пройдя расширительный вентиль А, где редуцируется до давления 6 *ати*. Жидкий обогащенный кислородом воздух из испарителя 2 направляется в адсорбер 4, наполненный силикагелем, удерживающим растворенный в жидком воздухе ацетилен. Очищенный от ацетилена жидкий воздух поступает на орошение верхней колонны 5 через расширительный вентиль Б, где давление воздуха понижается до 0,6 *ати*. В труб-

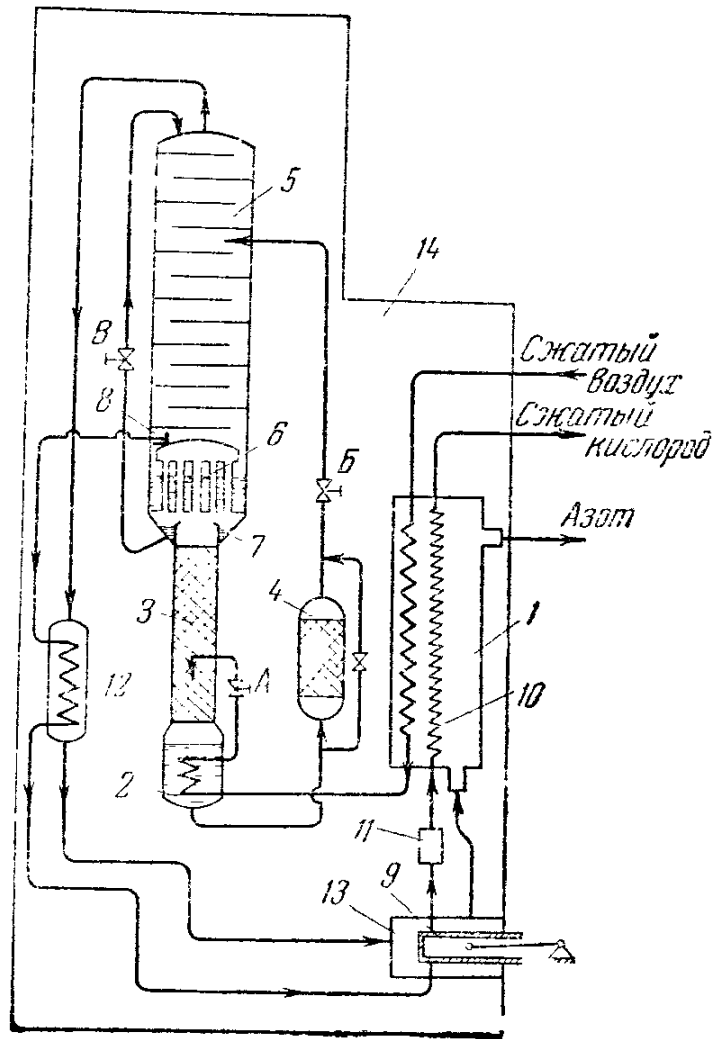


Рис. 28. Схема кислородного аппарата с кислородным насосом:

А, Б. 1—расширительные вентили; 1—теплообменник; 2—испаритель нижней колонны; 3—нижняя колонна; 4—адсорбер ацетилена; 5—верхняя колонна; 6—конденсатор колонны; 7—карманы конденсатора; 8—карман для сбора жидкого кислорода, отводимого в насос; 9—кислородный насос; 10—змеевик кислородной секции теплообменника; 11—фильтр азотородного насоса; 12—переохладитель кислорода; 13—рубашка кислородного насоса; 14—рукав блока.

ках конденсатора 6 сжижаются пары азота, поднимающиеся из колонны 3. Часть образующейся при этом жидкости, богатой азотом, стекает вниз по насадке колонны, вследствие чего происходит первичная ректификация воздуха. Вторая часть жидкого азота собирается в карманах 7 конденсатора 6, дросселируется до давления 0,6 *ати* вентилем В и подается на орошение верхней тарелки верхней колонны 5. Жидкий кислород из сливного кармана 8 нижней тарелки проходит через переохладитель 12 и поступает в кислородный насос 9, который подает его в змеевик 10 теплообменника 1. Здесь жидкий кислород испаряется за счет тепла поступающего сжатого воздуха и в виде газа под давлением 150—165 *ати* направляется в баллоны. Фильтр 11 служит для очистки сжатого кислорода от механических примесей, могущих попасть в него вследствие истирания графитового уплотнения поршня насоса. Азот из колонны 5 проходит через переохладитель 12, где охлаждает подаваемый в насос жидкий кислород. Затем азот поступает в рубашку 13 кислородного насоса и через теплообменник 1 уходит в атмосферу. Переохладитель 12 и рубашка 13 служат для переохлаждения жидкого кислорода ниже температуры его кипения при данном давлении. Этим уменьшается испарение жидкого кислорода при поступлении в насос, что улучшает работу насоса и повышает его производительность. Весь блок заключен в кожух 14, заполненный изоляционным материалом.

На этой установке можно получать кислород повышенной чистоты. Это обусловлено тем, что в ней отсутствует подсос в кислородную линию атмосферного воздуха (неизбежный при пользовании газгольдером и кислородным компрессором), который понижает чистоту кислорода, накачиваемого в баллоны.

Удельный расход электроэнергии в этой установке, с учетом наполнения кислорода в баллоны, равен 1,5—1,7 *квт-ч м<sup>3</sup>*.

### 3. УСТАНОВКИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ С ДЕТАНДЕРОМ

В таких установках используется более экономичный холодильный цикл среднего давления с поршневым детандером. Поэтому расход энергии на получение в них кислорода ниже, чем в установках высокого давления. Однако это достигается за счет некоторого усложнения установки, так как вызывает необходимость применения в ней дополнительной машины—детандера.

В качестве примера такой кислородной установки может служить отечественная установка типа КГС-130-1, работающая по циклу среднего давления с поршневым детандером. Эта установка предназначена для получения газообразного кислорода в количестве до 130 *м<sup>3</sup>/час*. Схема установки изображена на рис. 29. Атмосферный воздух через фильтр 1 засасывается вертикальным воздушным компрессором 2 производительностью 720 *м<sup>3</sup>/час* и сжимается до давления 50—60 *ати* при пуске и до 30 *ати* при установившемся режиме. Компрессор имеет три степени сжатия



и соответственно этому снабжен тремя холодильниками. Для I и II ступеней используются вертикальные трубчатые холодильники 3 и 4, а для III ступени — холодильник 5 типа «труба в трубе». Между I и II ступенями воздух проходит два последовательно включенных вертикальных декарбонизатора 6 и 7. В декарбонизаторах воздух с помощью раствора едкого натра очищается от углекислого газа. Декарбонизаторы работают под давлением

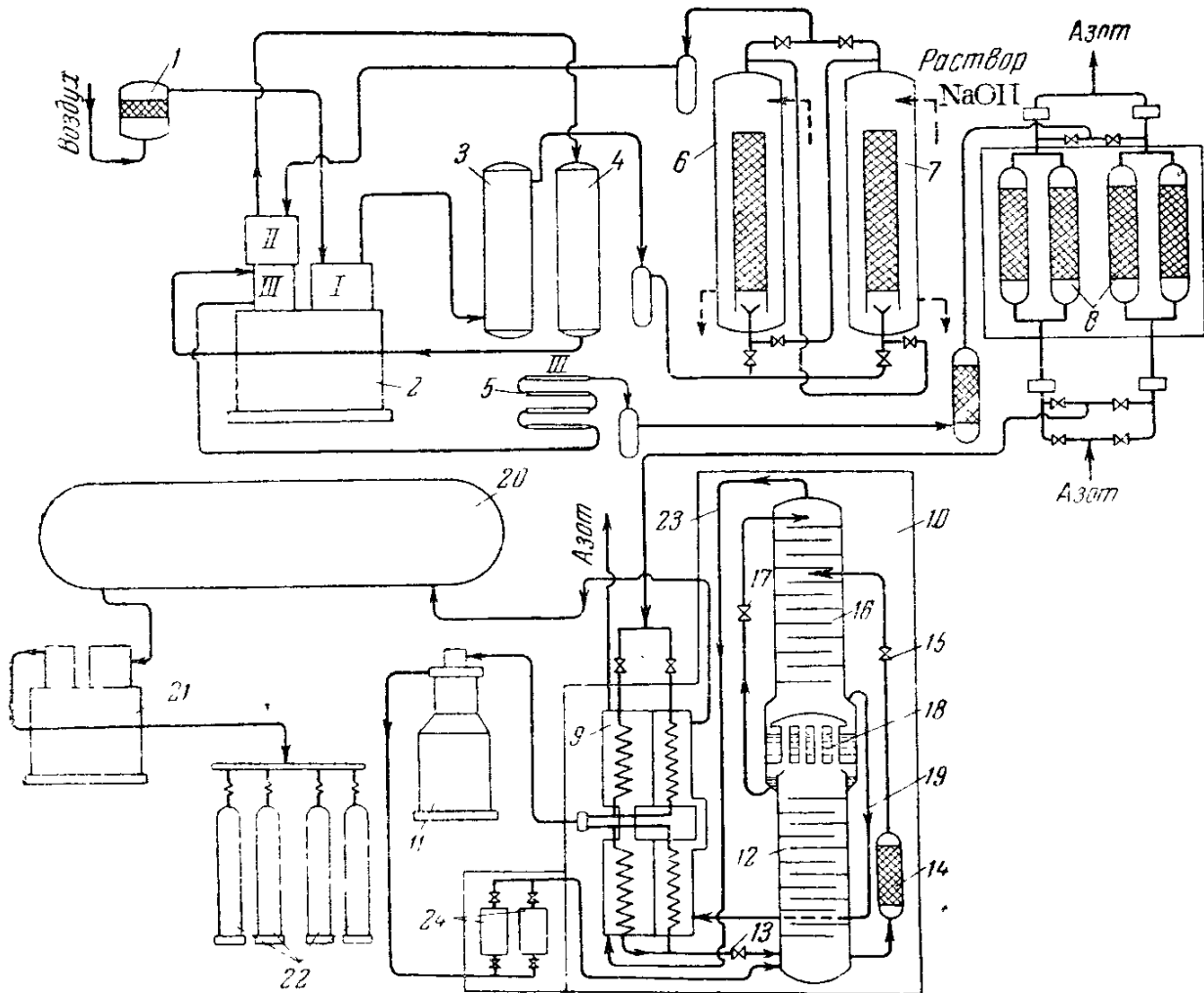


Рис. 29. Схема установки среднего давления с поршневым детандером:

1—воздушный фильтр; 2—компрессор; 3, 4, 5—холодильники; 6, 7—декарбонизаторы; 8—блок осушки; 9—теплообменник; 10—разделительный аппарат; 11—детандер; 12—нижняя колонна; 13—воздушный расширительный вентиль; 14—адсорбер ацетилена; 15—кислородный расширительный вентиль; 16—верхняя колонна; 17—азотный расширительный вентиль; 18—конденсатор; 19—труба для отвода кислорода; 20—газгольдер; 21—кислородный компрессор; 22—кислородные баллоны; 23—труба для отвода азота; 24—детандерные фильтры.

3—3,5 *ати*. После III ступени компрессора сжатый воздух направляется в блок осушки 8, где из него удаляется влага, поглощаемая активным глиноземом. Осушенный воздух идет далее в теплообменник 9 разделительного аппарата 10. Теплообменник имеет две части—верхнюю и нижнюю. После верхней части около 25—26% сжатого воздуха, охладившегося до  $-50^{\circ}\text{C}$ , отводят в поршневой детандер 11. В детандере эта часть воздуха расширяется с 30 до 5 *ати*, охлаждается и поступает в куб нижней

колонны 12. Остальной сжатый воздух в количестве 74—75% проходит вторую (нижнюю) часть теплообменника 9, где охлаждается до  $-145^{\circ}\text{C}$ . Затем этот воздух через расширительный вентиль 13, в котором его давление снижается до 5 *атм*, также поступает в куб нижней колонны.

В дальнейшем процесс разделения воздуха идет, как обычно. Обогащенная кислородом жидкость из куба нижней колонны через адсорбер ацетилена 14 и расширительный вентиль 15 подается в верхнюю колонну 16. В адсорбере жидкий обогащенный воздух очищается от ацетилена, который поглощается находящимся в адсорбере силикагелем или активным глиноземом. В вентиле 15 происходит понижение давления воздуха с 5 до 0,2 *атм*. Через третий расширительный вентиль 17 в верхнюю колонну из карманов конденсатора 18 подается жидкий азот. Газообразный кислород по трубе 19 через кислородную секцию теплообменника отводится из конденсатора в газгольдер 20. Затем с помощью кислородного компрессора 21 этим кислородом наполняют баллоны 22 под давлением 150—165 *атм*. Газообразный азот по трубе 23 поступает из верхней колонны в азотную секцию теплообменника и затем выбрасывается в атмосферу. Часть азота периодически отбирается для восстановления (регенерации) активного глинозема в блоке осушки. Фильтры 24 служат для очистки воздуха, поступающего в колонну из детандера, от частиц масла, которым смазывают цилиндр детандера. Эти фильтры работают попеременно, отогреваясь по мере забивки их маслом.

Установка типа КГС-130-1 дает кислород чистотой 99,5% при расходе энергии 0,95—1,1 *квт-ч м<sup>3</sup>* кислорода. С учетом расхода энергии на наполнение баллонов и вспомогательные нужды общий расход составляет 1,3—1,4 *квт-ч м<sup>3</sup>* кислорода.

Период пуска установки продолжается около 10 час. С целью увеличения холодопроизводительности рабочее давление в компрессоре во время пуска поддерживается равным 50—60 *атм*, причем в детандер подается до 50% общего количества воздуха. Этот же режим можно использовать и в том случае, когда одновременно с газообразным кислородом необходимо получать некоторое количество жидкого кислорода или азота.

Конструкция установки типа КГС-130-1 разработана советскими специалистами. Эта установка является более совершенной, чем установка типа С-130, так как имеет более длительный рабочий период и расходует меньшие количества электроэнергии и едкого натра.

#### 4. УСТАНОВКИ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ С ПОРШНЕВЫМ ДЕТАНДЕРОМ И РЕГЕНЕРАТОРАМИ

Необходимость сделать установку наиболее экономичной в эксплуатации вызывает стремление снизить удельный расход электроэнергии на получение кислорода. Электроэнергия в установке расходуется в основном на сжатие воздуха в компрессорах.

Чем выше рабочее давление воздуха в установке, тем больше требуется затрачивать энергии на его сжатие.

Как нам уже известно, сжимая в компрессоре воздух, мы покрываем те холодопотери, которые имеются в кислородном аппарате. Увеличивая производительность кислородного аппарата и применяя в нем более совершенные типы теплообменников, можно добиться уменьшения удельной потери холода на  $1 \text{ м}^3$  перерабатываемого воздуха. Поэтому в крупных установках можно сжимать до высокого давления не весь перерабатываемый воздух, а только часть его. Если при этом часть сжатого воздуха расширить в детандере, то получится достаточное количество холода для покрытия холодопотерь в кислородном аппарате. При этом удельный расход энергии на получение кислорода значительно уменьшится.

По этому принципу построена схема новейшей кислородной установки типа КГ-300-2Д, изображенная на рис. 30. Установка выпускается отечественными заводами и имеет производительность  $280-330 \text{ м}^3/\text{час}$ . В этой установке основное количество воздуха, равное  $1200 \text{ м}^3/\text{час}$ , засасывается через фильтр 1 поршневым компрессором низкого давления 2 и сжимается до  $5,2 \text{ атм}$ . Пройдя холодильник 3 и очистку от паров масла в фильтрах 4, воздух низкого давления поступает в регенераторы (теплообменники) 5, где охлаждается отходящим азотом, и затем направляется в испаритель 6 нижней колонны 7. Регенераторы представляют собой цилиндрические теплообменные аппараты, заполненные внутри специальной насадкой из тонкой алюминиевой ленты. В установке имеется два регенератора, работающих попеременно. Некоторый период времени через первый регенератор идет холодный азот из кислородного аппарата, охлаждая насадку. Затем поток азота автоматически переключается на второй регенератор, а через охлаждающую насадку первого регенератора идет воздух низкого давления от компрессора 2. Спустя 3 мин. поток холодного азота вновь переключается на первый регенератор, а поток охлаждаемого воздуха направляется через насадку второго регенератора. Каждые 3 мин. переключение регенераторов повторяется вновь. В регенераторах воздух не только охлаждается, но и очищается от углекислоты и влаги, которые вымерзают на насадке регенераторов. При прохождении потока азота через регенераторы углекислота и влага вновь испаряются и удаляются в атмосферу вместе с отходящим азотом. Таким образом эта часть воздуха не нуждается в специальной очистке от углекислоты и осушке от влаги.

Другая часть воздуха в количестве  $320-370 \text{ м}^3/\text{час}$  засасывается через фильтр 1 вторым воздушным компрессором 8 высокого давления, сжимающим воздух до  $90-100 \text{ атм}$  (при пуске до  $200 \text{ атм}$ ). После I ступени компрессора этот воздух проходит два последовательно включенных скруббера 9, где очищается от углекислоты раствором едкого натра, и затем вновь поступает

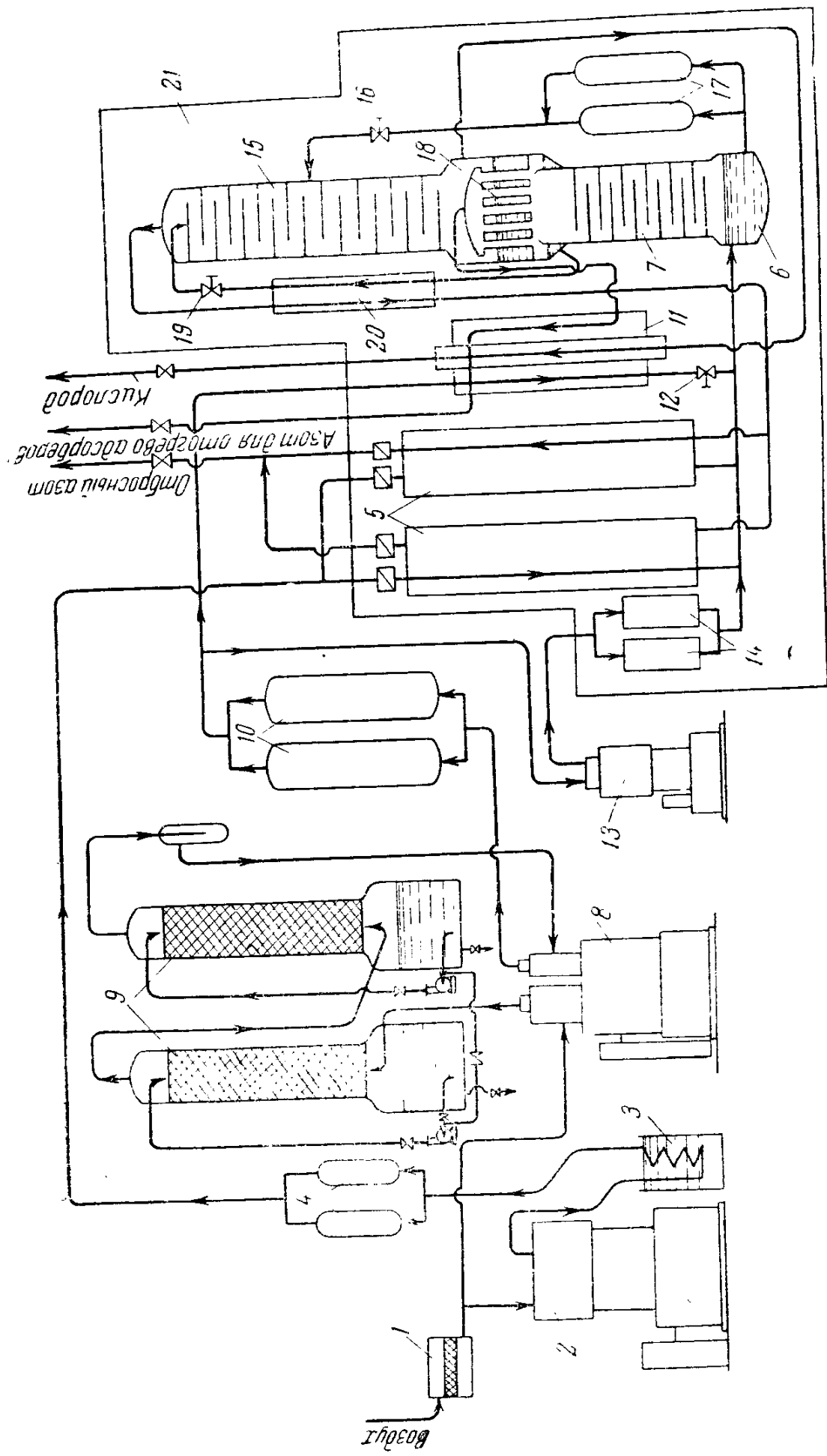


Рис. 30. Схема установки типа КГ-300-2/1

1—воздушный фильтр; 2—воздушный компрессор низкого давления; 3—холодный компрессор высокого давления; 4—фильтр для улавливания паров масла; 5—азотные регенераторы; 6—испаритель; 7—пильная колонна; 8—воздушный компрессор высокого давления; 9—скрубберы с раствором щелочи; 10—осушитель с активной окисью алюминия; 11—теплообменник; 12—воздушный расширительный вентиль; 13—поршневой детандер; 14—маслоулавливающий фильтр; 15—верхняя колонна; 16—кислородный расширительный вентиль; 17—фильтры-адсорберы; 18—конденсатор; 19—азотный расширительный вентиль; 20—переходный азота; 21—кожух блока разделения.

в компрессор. Сжатый до 90—100 *ати* воздух из компрессора идет в осушитель 10, заполненный активным глиноземом. Очищенный от углекислоты и влаги воздух высокого давления делится затем на два потока. Примерно  $\frac{2}{3}$  части воздуха идет в теплообменник 11, где охлаждается отходящим кислородом, и через расширительный вентиль 12 подается под давлением 5 *ати* в нижнюю колонну. Остальная  $\frac{1}{3}$  часть воздуха высокого давления направляется в поршневой детандер 13. В детандере воздух расширяется до 5 *ати*, охлаждаясь при этом, и через маслоулавливающие фильтры 14 поступает в основной поток воздуха высокого давления, идущего в испаритель нижней колонны из азотных регенераторов. Обогащенный кислородом воздух из испарителя 6 подается на середину верхней колонны 15 через расширительный вентиль 16, в котором давление воздуха снижается до 0,4 *ати*. При этом жидкий воздух проходит фильтр-адсорберы 17, снабженные керамиковыми фильтрами и наполненные силикагелем. В фильтр-адсорберах удерживается твердая углекислота и ацетилен, содержащиеся в жидком воздухе.

Жидкий азот из карманов конденсатора 18 подается на орошение верхней колонны через азотный расширительный вентиль 19. Предварительно азот проходит переохладитель 20, где переохлаждается газообразным азотом, поступающим из верхней колонны в азотные регенераторы 4. Вследствие этого уменьшается испарение жидкого азота при дросселировании его вентилем 19; количество жидкого азота, подаваемого на орошение верхней колонны, увеличивается, и, следовательно, процесс ректификации улучшается. Трубки кислородного теплообменника 4 используются для нагревания небольшого количества азота, отводимого из-под крышки конденсатора. Это мероприятие облегчает наладку процесса ректификации во время пуска установки, так как использование азота позволяет уменьшить количество кислорода, отводимого в теплообменник. При установившейся работе эта секция теплообменника используется для подогрева азота, идущего на регенерацию адсорберов.

Все аппараты установки, работающие при низкой температуре, заключены в теплоизолирующий кожух 21 и образуют так называемый блок разделения воздуха. Газообразный кислород чистотой 99,1—99,6% отбирается из верхней части конденсатора 18, проходит теплообменник 11, в котором отдает свой холод поступающему воздуху высокого давления. Из теплообменника кислород отводится в газгольдер, откуда накачивается кислородным компрессором в баллоны. Отходящий азот имеет чистоту 98%.

Данная установка обладает рядом преимуществ перед установками, схемы которых были описаны ранее. Она требует меньше каустика, расход которого составляет 2,5—3 *г/м<sup>3</sup>* кислорода, и имеет более длительный рабочий период. Расход электроэнергии в данной установке невелик и составляет 0,75—0,8 *квт-ч/м<sup>3</sup>* кислорода в газгольдере или 1,0—1,1 *квт-ч/м<sup>3</sup>* кислорода в баллонах.

По схеме двух давлений работает также установка типа КТ-1000, сконструированная советскими специалистами и применяемая для получения 1000—1200 м<sup>3</sup>/час газообразного кислорода чистотой 98—98,5%. Схема этой установки изображена на рис. 31. Основное количество (4800 м<sup>3</sup>/час) воздуха проходит фильтр 1, сжимается в турбокомпрессоре 2 до давления 4,2—4,8 *ати* и через холодильник 3 по трубопроводу 4 подается в азотные и кислородные регенераторы 5 и 6, где охлаждается выходящими из аппарата азотом и кислородом. Установка имеет четыре регенератора—два азотных и два кислородных. В каждой паре регенераторы работают попеременно—через один идет поток сжатого воздуха, а через второй—обратный поток азота или кислорода.

Охлаждаясь в регенераторах, воздух одновременно очищается от влаги и углекислого газа, которые в твердом виде оседают на насадке регенераторов. Переключение потока воздуха в регенераторах происходит автоматически через каждые 3 мин. с помощью клапанов 7. Из регенераторов очищенный и охлажденный до температуры минус 160—175°С воздух подается в нижнюю колонну 8.

Меньшая часть воздуха в количестве около 800 м<sup>3</sup>/час сжимается в поршневом многоступенчатом компрессоре 9 до давления 110—120 *ати*. Эта часть воздуха проходит очистку от углекислоты раствором едкого натра в двух скрубберах 10 и 11, включенных между I и II ступенями компрессора и работающих под давлением 3 *ати*. По выходе из последней ступени компрессора воздух высокого давления подвергается осушке от влаги в осушительной установке 12, заполненной активным глиноземом. Затем сжатый воздух разделяется на два потока. Около 500 м<sup>3</sup>/час воздуха проходит через теплообменник 13, где охлаждается отходящим азотом до —125—130°С, расширяется в вентиле 14 до 5 *ати* и поступает в нижнюю колонну. Остальная часть воздуха высокого давления направляется в поршневой детандер 15, где расширяется до 5 *ати* и при этом охлаждается до —125—130°. После детандера эта часть воздуха, пройдя маслоулавливающие фильтры 16, подается в куб нижней колонны 8.

В нижней колонне 8 происходит предварительная ректификация воздуха. В кубе нижней колонны собирается жидкость, содержащая 35% кислорода. В верхней части колонны собирается азот, который сжижается в трубках конденсатора 17. Часть жидкого азота стекает вниз на тарелки нижней колонны, а другая часть собирается в карманах 18 конденсатора. В верхнюю колонну 19 жидкий азот подается через расширительный вентиль 20, а обогащенная кислородом жидкость—через вентиль 21. Эта жидкость предварительно проходит адсорберы 22, заполненные силикагелем, где очищается от ацетилена.

Газообразный кислород в качестве готового продукта отводится из конденсатора через кислородные регенераторы 6 в газ-

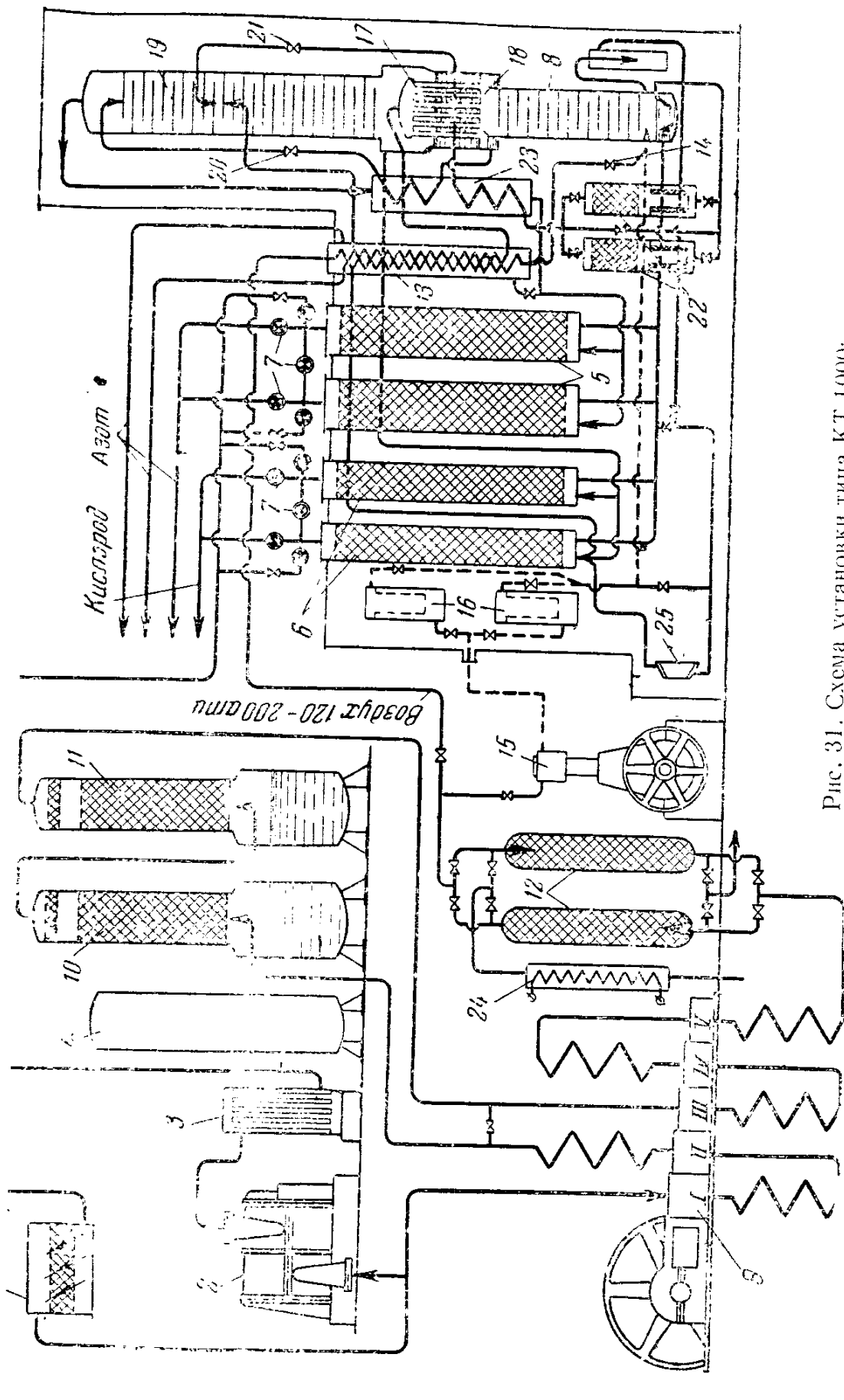


Рис. 31. Схема установки типа КТ-1000:

1—фильтр; 2—турбокомпрессор; 3—холодильник; 4—трубопровод; 5, 6—азотные и кислородные регенераторы; 7—клапаны; 8—нижняя колонна; 9—горячий компрессор; 10, 11—центробежные скрубберы; 12—осушительная установка; 13—теплообменники; 14, 20, 21—воздушный, азотный и кислородный расширительные вентили; 15—дегандер; 16—маслоулавливающие фильтры; 17—конденсатор; 18—карманы конденсатора; 19—верхняя колонна; 22—ацетиленовые адсорберы; 23—переходный охладитель; 24—электронный нагреватель; 25—турбодегандер.

гольдер. Кислородные регенераторы имеют специальные продувочные клапаны, через которые воздух, оставшийся в регенераторе от предыдущего периода воздушного дутья, выбрасывается наружу. Это сделано для того, чтобы уменьшить загрязнение получаемого кислорода азотом, содержащимся в остатках воздуха.

Газообразный азот из верхней колонны проходит переохладитель 23, где дополнительно охлаждает жидкий азот и кубовую жидкость, подаваемые в верхнюю колонну. После этого азот через теплообменник 13 и регенератор 5 выбрасывается в атмосферу. Часть сухого азота, отходящего из теплообменника 13, подогревается в электроподогревателе 24 и используется для восстановления активного глинозема в воздухоосушительной установке 12.

С целью увеличения холодопроизводительности в пусковой период, а также возможности получения части кислорода в жидком виде установка снабжена турбодетандером 25. В турбодетандере подается воздух из регенераторов (с примесью более теплого воздуха из поршневого детандера) под давлением 5 *ати* и при температуре  $-155^{\circ}\text{C}$ . В турбодетандере воздух расширяется до 0,3 *ати* и в состоянии, близком к насыщению, подается на середину верхней колонны 19.

При выходе 99—99,5%-ного кислорода производительность установки составляет 950—1050  $\text{м}^3/\text{час}$ . Удельный расход энергии (без учета расхода на вспомогательные нужды и на сжатие кислорода) равняется 0,62  $\text{квт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  кислорода.

## 5. УСТАНОВКИ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ С ТУРБОДЕТАНДЕРОМ И РЕГЕНЕРАТОРАМИ

С повышением производительности установки удельные холодопотери в кислородном аппарате на 1  $\text{м}^3$  перерабатываемого воздуха уменьшаются. Поэтому, как мы уже упоминали, в крупных установках можно значительно уменьшить количество воздуха, сжимаемого до высокого давления, или осуществить холодильный цикл только на одном низком давлении.

На рис. 32 изображена схема современной отечественной установки производительностью 3600  $\text{м}^3/\text{час}$  кислорода. В этой установке основное количество воздуха (95—96%) сжимается только до давления 6 *ати*, которое необходимо для процесса разделения воздуха в колонне двукратной ректификации. Только 4—5% воздуха сжимаются до 140—160 *ати* с целью получения холода. Остальное количество холода, требуемое для работы установки, получается в расширительной машине—турбодетандере, в котором расширению подвергается сжатый газообразный азот. Ввиду того что установка перерабатывает большое количество воздуха низкого давления, для сжатия этого воздуха применяются турбокомпрессоры.

Засасываемый через фильтр 1 турбокомпрессором 2 воздух проходит через холодильник 3 и направляется в регенераторы



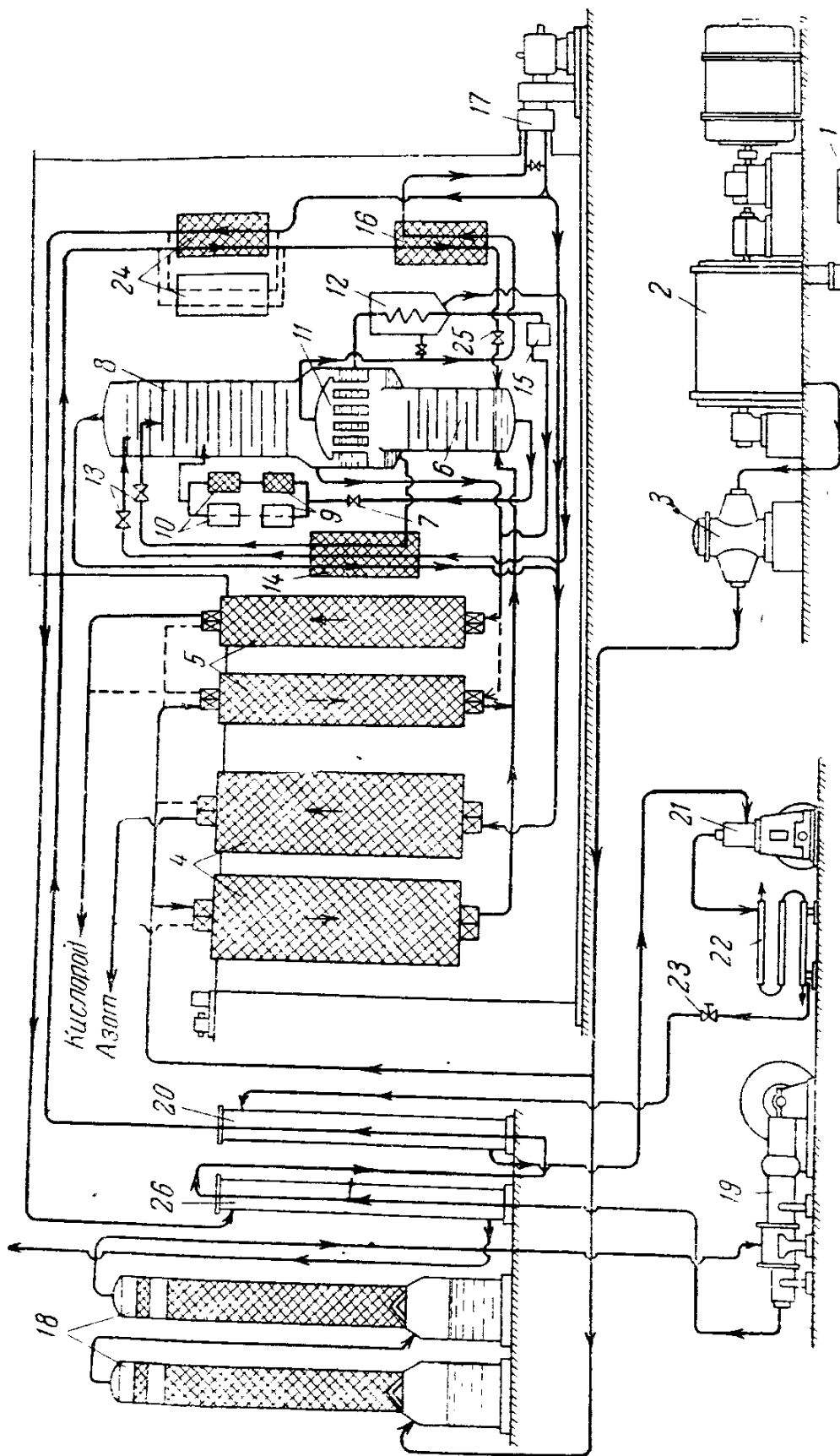


Рис. 32. Схема установки двух давлений с турбодетандером и регенераторами:

1—воздушный фильтр; 2—турбокомпрессор; 3—холодильник; 4—азотные регенераторы; 5—кислородные регенераторы; 6—шишки колошны; 7—расширительный вентиль; 8—верхний конденсатор; 9—сильнокислотные адсорберы; 10—керамиковые углекислотные фильтры; 11—основной конденсатор; 12—добавочный конденсатор; 13—азотный расширительный вентиль; 14—персохладитель азота; 15—отделитель ацетилена; 16—детандерный теплообменник; 17—турбодетандер; 18—срубберы щелочной очистки; 19—дожимающий компрессор; 20—аммиачный холодильник; 21—аммиачный компрессор; 22—охладитель аммиака; 23—аммиачный расширительный вентиль; 24—основные азотные теплообменники для воздуха высокого давления; 25—воздушный расширительный вентиль; 26—азотный теплообменник предварительного охлаждения воздуха.

блока разделения. Установка имеет четыре регенератора, из которых два азотных 4 и два кислородных 5. В этих регенераторах воздух охлаждается отходящими из установки азотом и кислородом, после чего поступает в испаритель нижней колонны 6. Из испарителя обогащенный кислородом воздух через расширительный вентиль 7 подается в верхнюю колонну 8. Предварительно воздух проходит силикагелевые адсорберы 9, для очистки его от ацетилена, и керамиковые фильтры 10, для удаления из воздуха остатков твердой углекислоты.

Жидкий азот из карманов основного конденсатора 11 и из добавочного конденсатора 12 подается на орошение верхней колонны через расширительный вентиль 13 и переохладитель 14, где предварительно охлаждается азотом, направляемым из верхней колонны в азотные регенераторы. Жидкий кислород из основного конденсатора 11 перепускается в добавочный конденсатор 12, где испаряется в трубках, и затем через отделитель ацетилена 15 в газообразном виде поступает в кислородные регенераторы и далее в газгольдер. Часть азота при давлении 5,5—6 *ати* отбирается из конденсатора 11, подогревается в теплообменнике 16 сжатым воздухом высокого давления и подается в рабочее колесо турбодетандера 17. В турбодетандере азот расширяется, сильно охлаждаясь при этом, и направляется в азотные регенераторы, отдавая свой холод наполняющей их насадке. Остальная часть сжатого в турбокомпрессоре воздуха в количестве 4—5% проходит скрубберы 18, где очищается от углекислоты раствором едкого натра, и поступает в дожимающий поршневой компрессор 19. Из дожимающего компрессора воздух под давлением 140—160 *ати* идет в азотный теплообменник 26 предварительного охлаждения и в аммиачные холодильники 20.

Аммиачные холодильники делаются парными и работают попеременно (на схеме для простоты показан только один аммиачный холодильник). В этих холодильниках циркулирует аммиак, который сжимается аммиачным компрессором 21, сжижается в ожижителе 22, а затем дросселируется вентилем 23, охлаждаясь при этом и передавая свой холод воздуху, поступающему в холодильник 20.

Воздух в холодильнике 20 охлаждается до  $-40$ — $-45^{\circ}\text{C}$ , при этом из него вымерзает почти полностью влага. Дальше воздух идет в основные азотные теплообменники 24, где дополнительно охлаждается отходящим азотом, и затем поступает в нижнюю колонну через воздушный расширительный вентиль 25.

Данная установка предназначена для получения кислорода пониженной чистоты, а именно 95—98%. Такой кислород употребляют для интенсификации различных технологических процессов — доменного, мартеновского, бессемеровского, газификации топлив и поэтому его называют технологическим кислородом. Вследствие применения воздуха низкого давления и использования регенераторов, аммиачного охлаждения и турбо-

детандера удельный расход электроэнергии в этой установке очень низок и составляет всего  $0,55 \text{ кВт-ч м}^3$  кислорода. На таких установках получается достаточно дешевый кислород, что оправдывает его применение в металлургической и других отраслях промышленности, где установки этого типа находят широкое применение.

## 6. УСТАНОВКИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В установках, работающих с использованием только воздуха низкого давления, дожимающий компрессор, аммиачная установка и скрубберы отсутствуют. Принципиальная схема такой установки низкого давления изображена на рис. 33. В ней весь

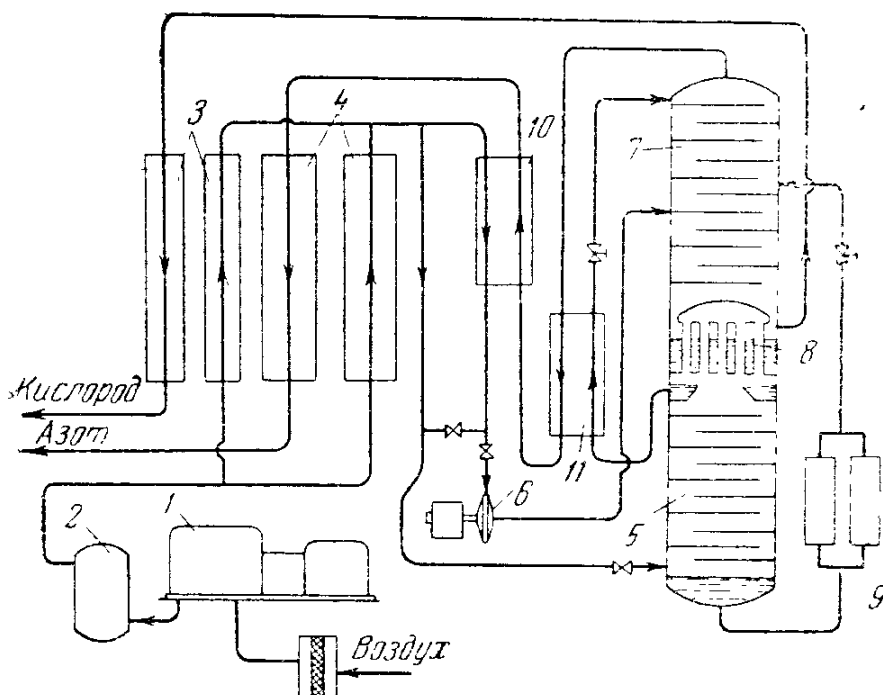


Рис. 33. Схема установки низкого давления:

1—турбокомпрессор; 2—холодильник; 3—кислородные регенераторы; 4—азотные регенераторы; 5—нижняя колонна; 6—турбодетандер; 7—верхняя колонна; 8—конденсатор; 9—силикагелевые адсорберы; 10—теплообменник; 11—переохладитель азота.

воздух, засасываемый турбокомпрессором 1, после холодильника 2 поступает под давлением  $6-7 \text{ атм}$  в регенераторы 3 и 4 блока разделения, где охлаждается отходящими из установки кислородом и азотом.

Основная часть воздуха из регенераторов поступает затем в нижнюю колонну 5. Около 20% воздуха после регенераторов отводится в турбодетандер 6 с целью получения холода, необходимого для работы установки. В турбодетандере этот воздух расширяется с  $6-7 \text{ атм}$  до  $1,5 \text{ атм}$ , охлаждается и подается непосредственно в верхнюю колонну 7. Газообразный кислород чистотой 95—97% из конденсатора 8 и газообразный азот из верхней колонны 7 отводятся в регенераторы, пройдя которые

кислород поступает в газгольдер, а азот выбрасывается в атмосферу.

Установки низкого давления отличаются простотой своей схемы, но требуют применения турбодетандера, имеющего высокий коэффициент полезного действия (к.п.д.). В данных установках холод получается за счет работы турбодетандера. Количество полученного холода зависит от к.п.д. турбодетандера и количества пропущенного через него воздуха. Расход воздуха через детандер определяется условиями процесса ректификации в верхней колонне. Чтобы не нарушать этот процесс, приходится ограничивать подачу воздуха в детандер и через него в верхнюю колонну. Поэтому детандер должен иметь высокий к.п.д. для того, чтобы можно было получать холод в количестве, достаточном для покрытия холодопотерь в установке. Удельный расход электроэнергии на получение кислорода в таких установках может составлять 0,45—0,6 *квт-ч м<sup>3</sup>* кислорода, в зависимости от величины установки, совершенства ее конструкции и качества применяемой изоляции.

## 7. КИСЛОРОДНЫЕ АППАРАТЫ С ПОПУТНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ АРГОНА

Аргон как инертный газ находит широкое применение при производстве электрических ламп и при сварке металлов. Для наполнения электрических ламп накаливания используется смесь из 85% аргона и 15% азота. Применение этой смеси, обладающей высокой плотностью и малой теплопроводностью, обуславливает более длительную работу металлической нити в лампочке. При электрической дуговой сварке нержавеющей сталей, а также сплавов алюминия и магния аргон используется как защитный газ для предохранения расплавленного металла от окисления, вызываемого воздействием на металл кислорода атмосферного воздуха.

Аргон извлекают из воздуха в воздухоразделительных аппаратах попутно с получением кислорода или азота.

Температура кипения аргона при атмосферном давлении равна  $-185,7^{\circ}\text{C}$ , т. е. находится между температурой кипения кислорода ( $-182,95^{\circ}\text{C}$ ) и азота ( $-195,8^{\circ}\text{C}$ ). Поэтому аргон при ректификации воздуха распределяется между азотом и кислородом, частично примешиваясь к каждому из них.

В кислородных аппаратах, производящих более чистый кислород, количество аргона в кислороде составляет 0,33—0,6%, а в азоте 1—1,1%. В аппаратах для получения чистого азота содержание аргона в кислороде достигает 3,6%, а в азоте—только 0,15%.

В аппаратах двукратной ректификации основное количество аргона скапливается на тарелках верхней колонны, расположенных несколько ниже места ввода в нее обогащенной кислородом жидкости из испарителя нижней колонны.

На рис. 34 показана схема кислородно-аргонного аппарата. Парообразная аргонная фракция с содержанием 10—12% аргона подается из основной колонны 1 в нижнюю часть аргонной колонны 2, имеющей в верхней части конденсатор 3. В межтрубное пространство этого конденсатора под давлением 0,5 *ати* подается обогащенная кислородом жидкость из испарителя нижней колонны через расширительный вентиль 4. Эта жидкость имеет более низкую температуру, чем пары, поступающие в конденсатор 3 из аргонной колонны. Поэтому последние частично конденсируются в трубках конденсатора, а образующаяся при этом жидкость стекает вниз, что улучшает процесс ректификации аргонной фракции в колонне 2. В результате этого процесса из верхней части аргонной колонны отводится аргоно-кислородо-азотная смесь (сырой аргон) состава: 45—49% аргона, 48—50% кислорода и 2—5% азота. Жидкость из межтрубного пространства конденсатора 3 вместе с образовавшимся над нею паром вновь подается в основную колонну на соответствующую тарелку. Жидкость, собирающаяся в нижней части аргонной колонны, освобожденная от значительной части аргона, снова стекает на ту же тарелку основной колонны.

Полученный сырой аргон отводится из аргонной колонны через теплообменник и установленный после него вентиль (на рис. не показаны), в газгольдер, а затем подвергается очистке от содержащегося в нем кислорода. С этой целью сырой аргон пропускают через специальные печи, наполненные серой. Сера сгорает за счет кислорода, образуя сернистый газ, который затем поглощается водой и щелочным раствором в промывателях и скрубберах. Остаток кислорода в аргоне поглощается в электрических печах, заполненных медной стружкой, или в адсорберах с активированным углем. После такой очистки

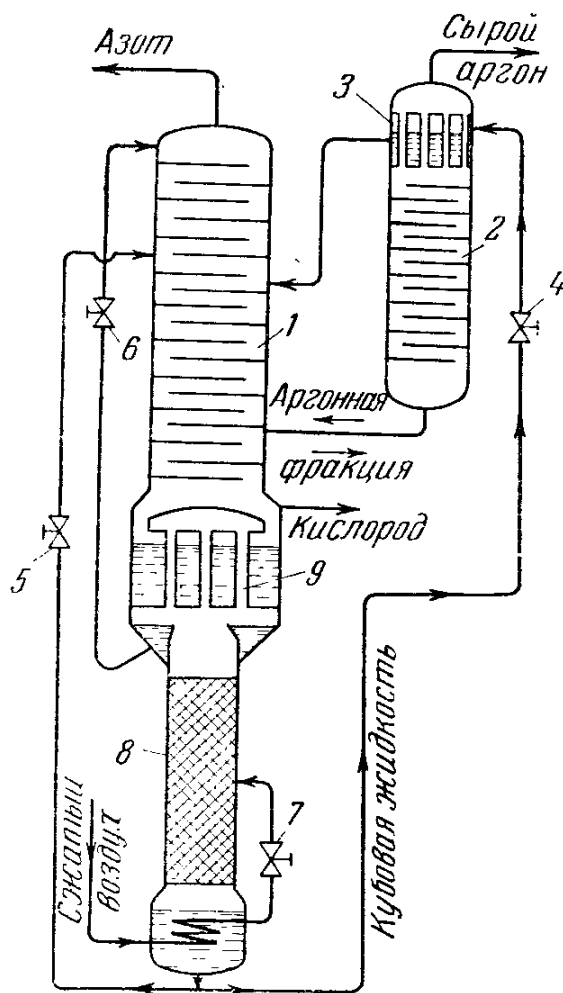


Рис. 34. Схема кислородно-аргонного аппарата:

- 1—основная колонна; 2—аргонная колонна; 3—конденсатор аргонной колонны; 4—добавочный кислородный расширительный вентиль; 5—основной кислородный расширительный вентиль; 6—азотный расширительный вентиль; 7—воздушный расширительный вентиль; 8—нижняя колонна; 9—основной конденсатор.

получается так называемый *технический* аргон, содержащий 84—86% аргона, 14—16% азота, до 0,5% кислорода и до 0,2% углекислоты. Для очистки сырого аргона от кислорода вместо серы можно пользоваться водородом. Водород, сгорая в специальной печи за счет кислорода, содержащегося в сыром аргоне, образует водяные пары, которые затем удаляют из очищаемого газа.

Технический аргон может быть подвергнут дальнейшей очистке от азота путем дополнительной ректификации.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какие основные стадии включает в себя процесс производства кислорода?
2. Как работает установка высокого давления с двукратной ректификацией при получении газообразного кислорода?
3. Какие изменения вносятся в схему установки высокого давления при необходимости получения на ней жидкого кислорода?
4. В чем состоят особенности схемы установки высокого давления с кислородным насосом?
5. Как работает установка среднего давления с детандером и кислородным насосом?
6. Как работает установка двух давлений с регенераторами?
7. Каковы особенности технологических схем установок низкого давления с турбодетандером и регенераторами и в каких случаях применяются такие установки?
8. Какова схема работы кислородного аппарата с аргонной колонной?
9. Какое количество газообразного и жидкого кислорода можно получить на установке С-130 в течение года, если установка работает 7800 час. в год?
10. Подсчитать количество энергии, которое израсходует установка С-130 за 1200 час. ее работы при получении: а) только одного газообразного кислорода; б) жидкого кислорода.
11. Определить количество энергии, которое нужно израсходовать для наполнения 5000 баллонов кислородом под давлением 150 *ати*.
12. Определить количество воздуха, которое должно проходить через детандер в установке среднего давления производительностью 100  $\text{м}^3/\text{час}$  кислорода.
13. Определить годовую экономию энергии, полученную от замены установки высокого давления производительностью 100  $\text{м}^3/\text{час}$  установкой среднего давления той же производительности и при годовом времени работы 7850 час.
14. Определить весовое количество углекислоты, удерживаемое насадкой в регенераторах и раствором едкого натра в скрубберах установки КТ 300-2Д в течение одного года, если в засасываемом воздухе содержится 0,03% объема углекислоты.
15. Определить годовой расход каустика и электроэнергии в установке КТ 300-2Д при работе 8500 час. в год.
16. Определить часовой расход воздуха высокого давления в установке 3600  $\text{м}^3/\text{час}$  кислорода, если общий удельный расход воздуха в этой установке равен 5,5  $\text{м}^3$  на 1  $\text{м}^3$  кислорода.
17. На установке, производящей 1000  $\text{м}^3/\text{час}$  кислорода, получается 40  $\text{м}^3/\text{час}$  сырого аргона, имеющего состав: 45% аргона, 50% кислорода и 5% азота. Определить степень извлечения аргона из воздуха на данной установке, если для получения 1  $\text{м}^3$  кислорода перерабатывается 5,6  $\text{м}^3$  воздуха.

## ГЛАВА VI

### АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ОСУШКИ ВОЗДУХА

Перед поступлением в разделительный аппарат воздух должен быть очищен от содержащихся в нем пыли, углекислоты и влаги. Чем тщательнее произведена очистка воздуха, тем длительнее будет рабочий период аппарата и тем большее количество кислорода он сможет вырабатывать за этот период. Поэтому обслуживающий персонал кислородной установки должен тщательно следить за состоянием и работой всей воздухоочистительной аппаратуры кислородного агрегата.

#### 1. ВОЗДУШНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Воздушные фильтры, устанавливаемые на всасывающей трубе компрессора, служат для очистки засасываемого компрессором воздуха от пыли и других механических примесей.

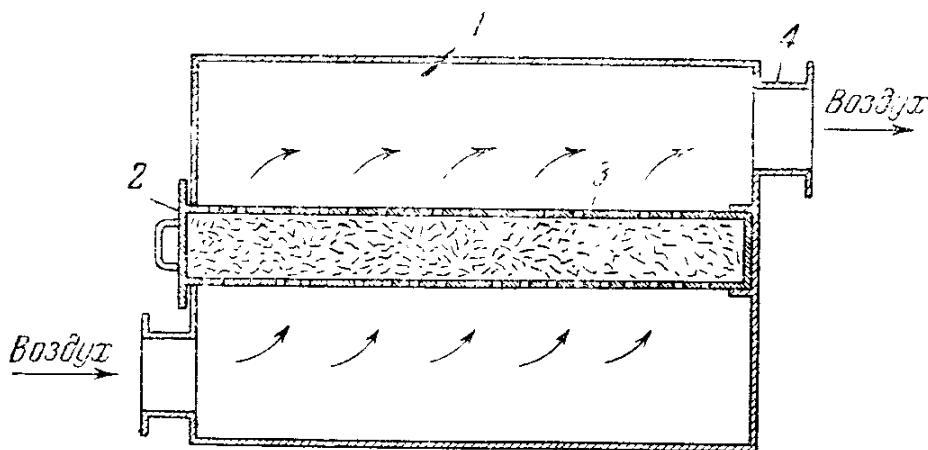


Рис. 35. Схема воздушного фильтра:

1—камера; 2—ящик-кассета; 3—сетки из проволоки;  
4—патрубок и всасывающей трубе компрессора.

Фильтр (рис. 35) представляет собой камеру 1, сделанную из листового железа, в которую вставлен ящик 2, заполненный латунными кольцами, расположенными между двумя проволочными сетками 3. Применяемые в фильтрах кольца, имеющие обычно диаметр и длину по 10 мм, предварительно смазываются висциновым или трансформаторным маслом или маслом фригус. Проходя между кольцами, воздух оставляет на слое масла частицы пыли. Кроме того, пыль оседает в камере фильтра вследствие

уменьшения скорости движения воздуха на выходе из всасывающей трубы.

В промышленности применяются различные типы воздушных фильтров, но они отличаются лишь конструктивными особенностями—принцип работы воздушных фильтров сохраняется без изменения. На крупных кислородных установках применяются специальные пыльные камеры с так называемыми ячейковыми

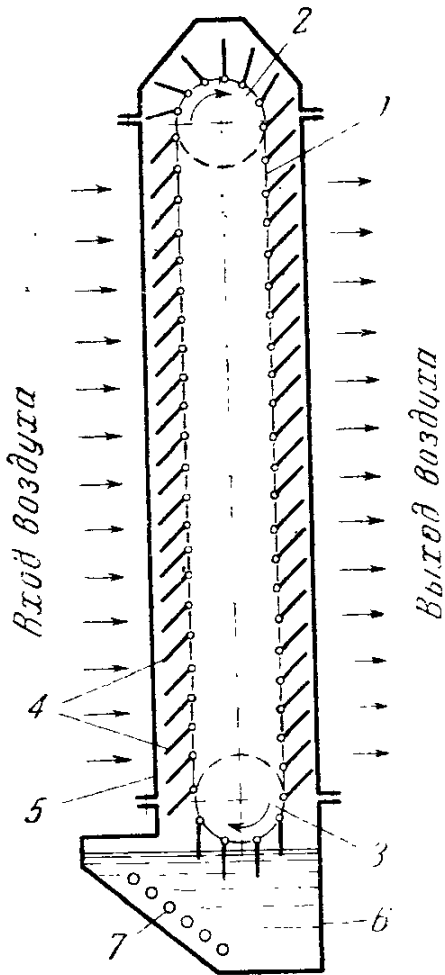


Рис. 36. Схема цепного фильтра:

1—пластинчатая цепь; 2, 3—звездочки; 4—рамки с сеткой; 5—кожух; 6—резервуар с маслом; 7—змеевик для обогрева масла паром.

фильтрами, состоящими из ряда ящиков (кассет), наполненных кольцами. В случае особо сильной запыленности воздуха, когда содержание пыли достигает  $10\text{--}20 \text{ мг. м}^{-3}$ , используют «цепные» фильтры непрерывного действия. Схема такого фильтра изображена на рис. 36. Он состоит из бесконечной пластинчатой цепи 1, которая при помощи звездочек 2 и 3 движется со скоростью  $2 \text{ мм/мин}$ . На пластинчатой цепи укреплены железные рамки 4, каждая из которых затянута мелкой сеткой с отверстиями  $1 \text{ мм}^2$ . Рамки подвешены к цепи на шарнирах. Весь фильтр заключен в кожух 5, внизу которого имеется резервуар 6 с маслом. Воздух проходит через рамки и оставляет содержащуюся в нем пыль на пленке масла, которым смочены сетки. Вследствие перемещения цепи рамки все время промываются в резервуаре 6 и покрываются новым слоем масла. Для подогрева масла паром служит змеевик 7.

Такой фильтр имеет общую поверхность, равную  $4 \text{ м}^2$ , и способен пропускать до  $4000 \text{ м}^3/\text{час}$  воздуха на  $1 \text{ м}^2$  своей поверхности. Он удерживает  $96\text{--}98\%$  пыли, содержащейся в воздухе.

Фильтр не должен создавать слишком большого сопротивления прохождению потока воздуха, так как это вызовет уменьшение подачи воздуха

в компрессор и снижение его производительности, а следовательно и уменьшение выработки кислорода.

Для поршневых компрессоров площадь фильтра должна составлять  $0,6\text{--}1 \text{ м}^2$  на каждые  $1000 \text{ м}^3/\text{час}$  воздуха. Для тур-

\*  $1 \text{ миллиграмм (мг)}$  равен  $\frac{1}{1000}$  грамма.



бокомпрессоров площадь фильтра берется равной  $0,25 \text{ м}^2$  на  $1000 \text{ м}^3 \text{ час}$  воздуха.

Перепад давления в фильтре не должен превышать  $15\text{--}20 \text{ мм}$  вод. ст. для поршневых компрессоров и  $8\text{--}10 \text{ мм}$  вод. ст. для турбокомпрессоров. Общее сопротивление всей всасывающей трубы вместе с фильтром не должно превышать  $150 \text{ мм}$  вод. ст.

Всасывающая труба должна иметь достаточное сечение и возможно меньшее число изгибов, крутых поворотов, колен и прочих мест, создающих дополнительное сопротивление прохождению потока воздуха.

Воздушные фильтры не требуют специального обслуживания. Необходимо вести регулярную очистку всасывающей трубы фильтра и отсеков пыльной камеры, не допуская скопления в них атмосферных осадков например, влаги или снега, а так же следить за сопротивлением фильтра по показаниям водяного дифманометра\*

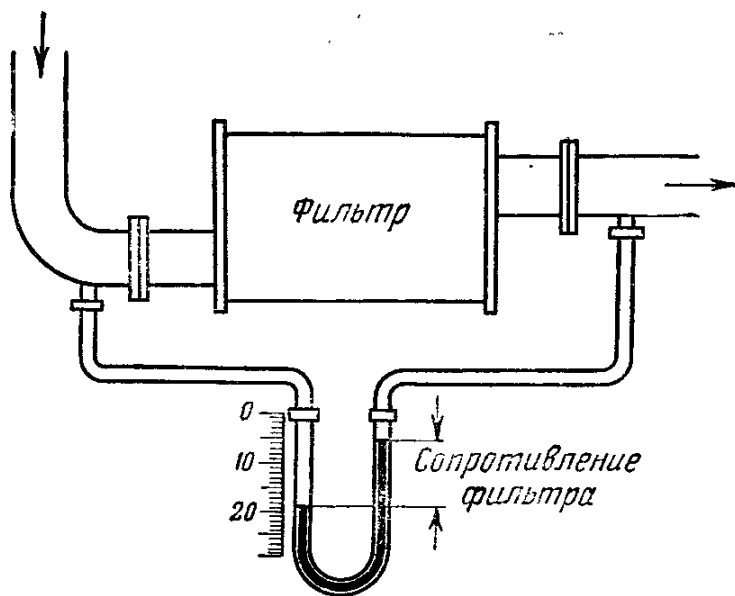


Рис. 37. Схема установки дифманометра на фильтре.

который включается согласно схеме, изображенной на рис. 37. Когда сопротивление фильтра вследствие загрязнения его пылью превысит указанные выше пределы, то кассеты фильтра подвергаются очистке, производимой обычно при остановках кислородного аппарата на отогрев, но не реже 1 раза в 3 месяца. Загрязненные кассеты промывают в слабом горячем растворе едкого натра или в керосине. Затем кассету промывают водой, просушивают и наносят на кольца слой масла с помощью кисти или погружением кассеты в сосуд с маслом. Спустя несколько часов, когда избыток масла стечет с колец кассеты, ее снова вставляют в фильтр. Вся кассета должна быть равномерно заполнена кольцами, чтобы в ней не оставалось свободного пространства, по которому воздух мог бы проходить помимо смоченных маслом колец.

Воздушный фильтр не требует сложного ремонта. Нужно лишь следить, чтобы в нем отсутствовали неплотности и проржавевшие места; чтобы уплотняющие прокладки были всегда исправны, а болты хорошо затянуты.

\* Дифманометр, т. е. дифференциальный манометр—прибор, показывающий разность давлений газа.

## 2. АППАРАТУРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ УГЛЕКИСЛОТЫ

Тщательная очистка воздуха от углекислоты имеет чрезвычайно важное значение для длительности рабочего периода кислородной установки и экономичности ее работы. Если воздух недостаточно очищен от углекислоты, то последняя в большом количестве проникает в теплообменники, испарители, на тарелки и даже в конденсаторы кислородных аппаратов, где отлагается в виде льда. Вследствие забивания трубок теплообменника твердой углекислотой увеличивается сопротивление теплообменника движению газов, что повышает рабочее давление воздуха после компрессора, ухудшается теплопередача, а следовательно возрастают потери на недорекуперацию. Все это вызывает повышение расхода энергии на выработку кислорода. Отложение углекислоты в расширительных вентилях и других частях кислородного аппарата вызывает неустойчивость его работы вскоре же после пуска аппарата; чистота кислорода понижается и установку приходится останавливать на отогревание и продувку. Такое сокращение длительности работы установки влечет за собой непроизводительные затраты электроэнергии и средств на отогрев и запуск установки, а также уменьшает общую выработку кислорода данным агрегатом.

Для очистки воздуха от углекислоты используют химический способ поглощения ее едким натром. С этой целью очищаемый воздух пропускают через водный раствор едкого натра. Содержащийся в растворе едкий натр вступает в химическую реакцию с углекислотой, образуя новое соединение—углекислый натрий. Данный способ является наиболее распространенным, особенно для установок малой и средней производительности. Существует и другой способ удаления углекислоты из воздуха—вымораживание ее в регенераторах, применяемых в качестве теплообменных аппаратов в крупных установках. На этом способе мы далее остановимся более подробно при рассмотрении принципа работы и устройства регенераторов.

Для удаления углекислоты из воздуха раствором едкого натра применяют два основных типа аппаратов: скрубберы и декарбонизаторы.

**Скрубберы.** Скруббер (рис. 38) представляет собой цилиндрическую башню 1 из листовой малоуглеродистой стали, заполненную насадкой 2 из колец диаметром 25 мм и длиной 25 мм, свернутых из стальной полоски толщиной 1 мм. Для заполнения пространства в 1 м<sup>3</sup> требуется около 33000 колец.

Диаметр скруббера рассчитывается таким образом, чтобы средняя скорость воздуха, отнесенная ко всему сечению шахты скруббера, составляла 0,06—0,2 м/сек. Сверху насадка орошается раствором едкого натра, подаваемого насосом 3. Насос рассчитан на подачу раствора в количестве 10—20 м<sup>3</sup>/час на каждый кв. метр площади поперечного сечения шахты скруббера. Снизу,

навстречу стекающему раствору, проходит поток воздуха, поступающего по трубе 4. Насадка из колец служит для увеличения поверхности соприкосновения между воздухом и раствором, что улучшает процесс поглощения углекислоты. После скруббера установлена ловушка 5 для улавливания частиц раствора, уносимых из скруббера потоком воздуха. Скруббер устанавливается или на всасывающей трубе компрессора или между I и II ступенями компрессора. В первом случае скруббер работает под атмосферным давлением, а во втором—под давлением выше атмосферного.

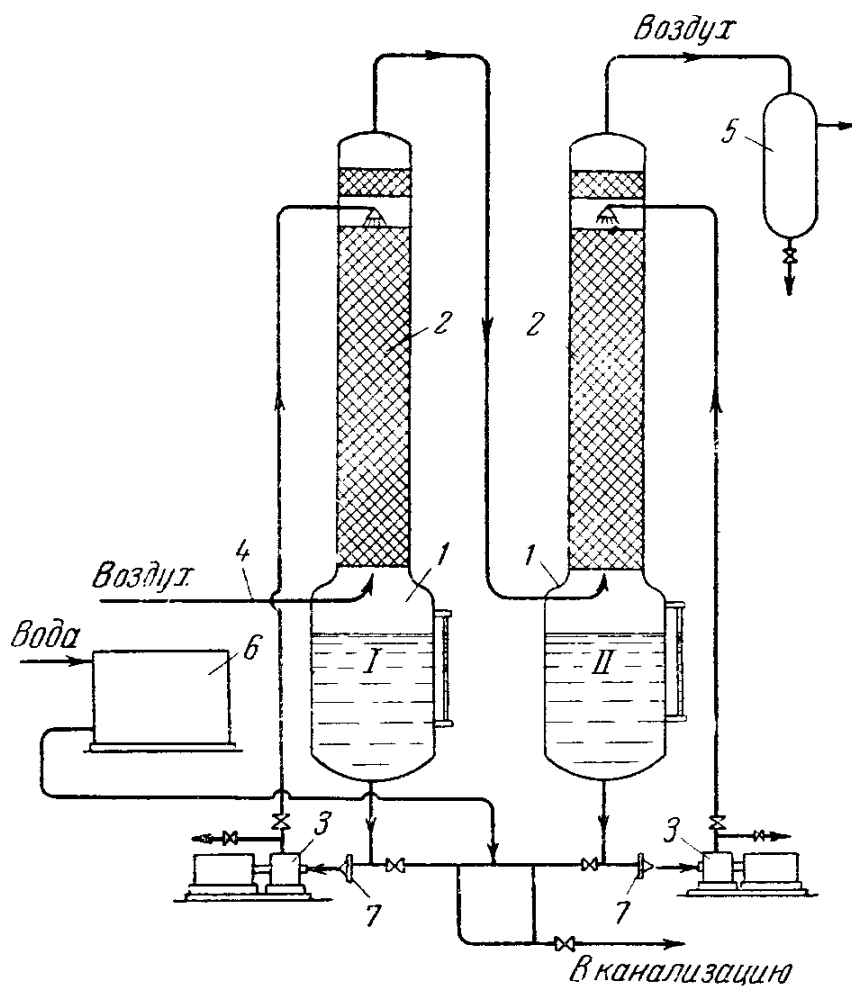


Рис. 38. Схема включения щелочных скрубберов:

1 — башни; 2 — насадка; 3 — насосы; 4 — труба для ввода воздуха; 5 — ловушка; 6 — бак для изготовления раствора; 7 — обратные клапаны.

Включение скруббера во всасывающую трубу не рекомендуется, так как это увеличивает сопротивление всасывающей линии и тем уменьшает производительность компрессора. Кроме того, в зимнее время необходимо производить подогревание раствора, так как иначе он может замерзнуть в скруббере. Поэтому в современных установках скрубберы работают под давлением. Это позволяет уменьшить размеры скруббера, улучшить процесс поглощения углекислоты; работа установки становится более надежной.

Количество углекислоты, поглощаемое едким натром, зависит от содержания свободного едкого натра в растворе. Последнее определяется степенью использования щелочного раствора. Если, например, степень использования раствора равна 65%, то это значит, что в нем осталось 35% свободного едкого натра, способного вступить в реакцию с углекислотой воздуха. Остальные 65% едкого натра уже израсходованы на поглощение углекислоты и превратились в углекислый натрий.

В зависимости от степени использования раствора содержание углекислоты в воздухе после очистки составляет:

Степень использования раствора, %	20	30	50	60	70	80	85
Содержание углекислоты в воздухе после очистки, мл/м <sup>3</sup>	1,5	3	9	15	24	52	72

Из приведенных данных видно, что раствор едкого натра может достаточно хорошо поглощать углекислоту при использовании раствора до 60—70%. При дальнейшей работе раствор связывает углекислоту уже значительно хуже. По достижении 85%-ного использования раствора очистка воздуха ухудшается настолько, что содержание углекислоты в очищенном воздухе возрастает в несколько десятков раз по сравнению с первоначальным периодом работы скруббера на свежем растворе.

Поэтому обычно ставят два скруббера, включенных последовательно. В первом по ходу воздуха скруббере находится раствор с большей степенью использования, а во втором—более свежий раствор. Вследствие этого удается понизить содержание углекислоты в воздухе после очистки до 10—15 мл/м<sup>3</sup> воздуха, а степень использования раствора довести до 90—92%.

На рис. 37 была показана схема последовательного включения двух скрубберов. Когда раствор в скруббере I полностью отработан, его сливают; скруббер I заполняют раствором из скруббера II, который заливают свежим раствором из бака б.

**Щелочные насосы.** Для перекачивания и подачи раствора щелочи в скрубберах применяют центробежные щелочные насосы. Насос для щелочи изображен на рис. 39. Корпус насоса I отлит из чугуна и имеет форму улитки. Внутри корпуса находится колесо с лопатками. При вращении колеса жидкость всасывается через центральное отверстие и выбрасывается под действием центробежной силы к окружности колеса, выходя через патрубок улитки в напорный трубопровод. Вал насоса посредством дисковой муфты 2 соединен с электродвигателем 3. Насос и двигатель установлены на раме 4, которая укреплена на фундаменте посредством болтов 5. В месте прохождения вала через корпус насоса расположен сальник 6.

Пуск насоса производят в следующем порядке.

1. Проверяют, закрыты ли вентили на всасывающем и нагнетательном трубопроводах насоса.

2. Взявшись за муфту, проворачивают от руки вал насоса с целью проверки свободы вращения вала.

3. Включают рубильник электродвигателя и медленно открывают сначала всасывающий, а затем нагнетательный вентили насоса. При остановке насоса нужно:

- 1) медленно закрыть вентили на всасывающей, а затем на нагнетательной линиях;
- 2) выключить электродвигатель.

В щелочных насосах, скрубберах и арматуре не должно быть деталей, изготовленных из цветных металлов (латуни, бронзы), так как эти сплавы разъедаются едким натром. Все части, соприкасающиеся со щелочью, делают из стали или чугуна. В качестве сальниковой набивки для щелочных насосов используют

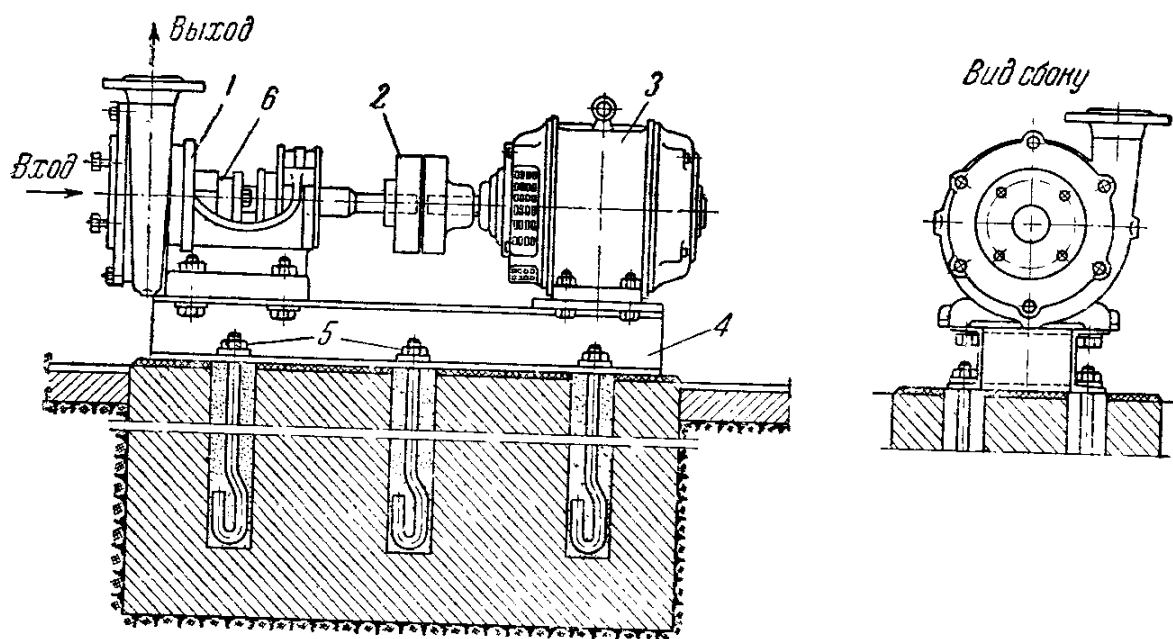


Рис. 39. Насос для перекачки щелочи:

1—насос; 2—дисковая муфта; 3—электромотор; 4—рама; 5—фундаментные болты; 6—сальник.

хлопчато-бумажные концы. Применять для этой цели шерсть или смазывать набивку салом недопустимо, так как это ведет к быстрой порче набивки и негерметичности сальника.

Для надежной работы насоса необходимо, чтобы его всасывающая труба все время находилась под напором раствора. Неплотности в соединениях трубопроводов и арматуре должны немедленно устраняться.

✓ **Декарбонизаторы.** Наличие щелочных насосов несколько усложняет скрубберную систему воздухоочистки, хотя она и дает высокую степень использования раствора, равную 90—92%. Поэтому в ряде конструкций кислородных установок вместо скрубберов применяют *декарбонизаторы*, в которых принудительная циркуляция раствора (осуществляемая в скрубберах насосом) заменена естественной циркуляцией раствора за счет использования струй сжатого воздуха. Декарбонизаторы работают всегда под давлением и включаются между I и II или между II и III

ступенями воздушного компрессора. Они бывают двух типов: вертикальные и горизонтальные. Последние более громоздки; ими снабжались кислородные установки выпуска прежних лет.

В новейших установках применяются вертикальные декарбонизаторы, в которых происходит лучшая очистка воздуха и более эффективное использование щелочного раствора.

На рис. 40 показана схема устройства декарбонизатора вертикального типа. Он состоит из стального корпуса 1, снабженного съемной крышкой 2. Внутри корпуса имеется цилиндр 3, между решетками 4 и 5 которого насыпана насадка 6 из колец.

Сжатый воздух поступает в декарбонизатор по трубе 7, имеющей сопла 8, и, проходя через насадку, увлекает за собой раствор щелочи. Последний, поднявшись до уровня отверстий 9, сливается в подвешенный к крышке цилиндр 10, из которого по трубе 11 направляется обратно в корпус декарбонизатора. Очищенный от углекислоты воздух уходит по трубе 12. Краны 13 служат для проверки уровня раствора в декарбонизаторе. По трубе 14 подается вода для промывки декарбонизатора, а по трубе 15 производится слив использованного раствора. На крышке расположен рычажный предохранительный клапан 16, а на трубе 7 — обратный клапан 17, препятствующий выбрасыванию раствора щелочи во время остановки компрессора обратно в трубопровод, идущий от компрессора к декарбонизатору. Труба 18 с краном 19 служит для наблюдения за циркуляцией раствора в декарбонизаторе.

Схема горизонтального декарбонизатора показана на рис. 41. Он состоит из двух горизонтальных резервуаров 1 и 2, соединенных между собой вертикальными трубами 3 и 4. В трубе 3 находится насадка из колец. Воздух

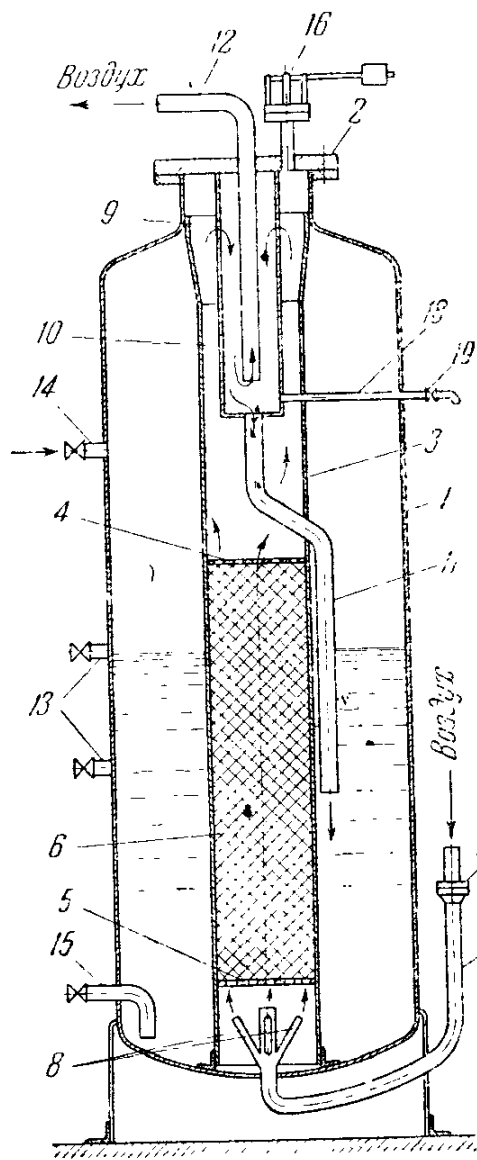


Рис. 40. Схема устройства вертикального декарбонизатора:

1—корпус; 2—крышка; 3—внутренний цилиндр; 4, 5—решетки; 6—насадка; 7—труба; 8—сопла; 9—отверстия; 10—цилиндр; 11—обратная труба; 12—труба для выхода воздуха; 13—контрольные краны; 14—труба для промывной воды; 15—труба для слива раствора; 16—предохранительный клапан; 17—обратный клапан; 18—труба для проверки циркуляции раствора; 19—кран.

поступает по трубе 5, проходит насадку, смоченную раствором, и уходит из декарбонизатора по трубе 6. При этом воздух увлекает за собой в верхний резервуар раствор, который затем стекает

обратно по трубе 4. Перегородки 7 служат для улавливания брызг раствора из воздуха. Водо- и щелочеотделители 8 и 9 устанавливаются снаружи декарбонизатора. Вентиль 10 служит для перепускания воздуха из II степени в III степень компрессора, помимо декарбонизатора. Это необходимо производить во время пуска компрессора; в противном случае давление воздуха вытеснит раствор щелочи в трубопровод, идущий к III степени компрессора, и жидкость может попасть в цилиндр, так как при пуске компрессора давление за декарбонизатором повышается медленнее, чем давление перед декарбонизатором. Когда компрессор получит нормальное число оборотов и давление в III степени станет выше, чем во II степени, вентиль 10 медленно закрывают, постепенно пропуская весь воздух через декарбонизатор.

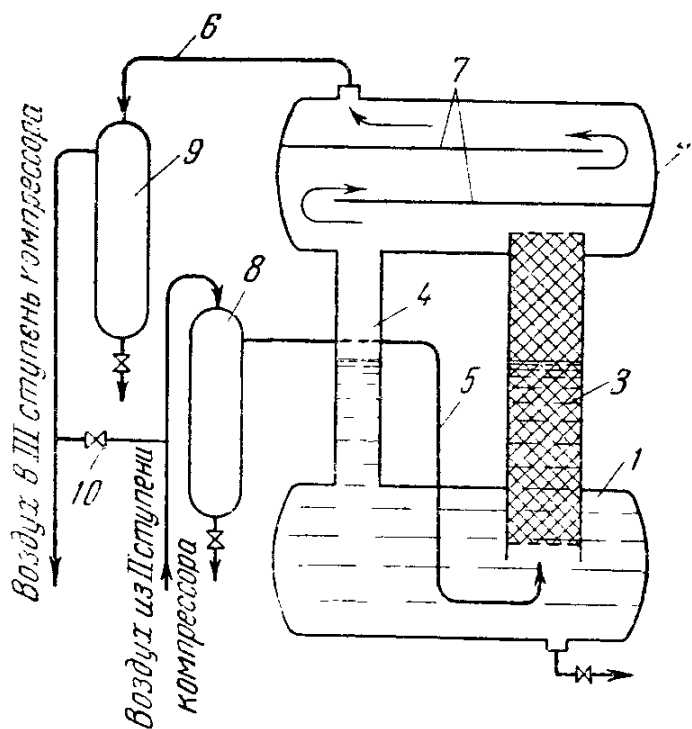


Рис. 41. Схема горизонтального декарбонизатора:

1, 2—нижний и верхний резервуары; 3—труба с насадкой; 4—циркуляционная труба; 5, 6—трубы для входа и выхода воздуха; 7—перегородки для отделения щелочи; 8, 9—водо- и щелочеотделители; 10—вентиль.

Перед остановкой компрессора предварительно открывают также вентиль 10 и только после этого производят спуск давления из системы путем продувки масловодотделителей. Если этого не сделать, то может произойти заброс раствора щелочи в компрессор.

Горизонтальные декарбонизаторы обеспечивают использование раствора до 65—70%. Для повышения эффективности их работы и степени использования раствора ставят два последовательно включенных декарбонизатора подобно тому, как это делают при использовании скрубберов.

### 3. ОБСЛУЖИВАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ УГЛЕКИСЛОТЫ

Приготовление раствора едкого натра производят в железном баке, куда насыпают куски едкого натра и заливают их водой. Чтобы ускорить растворение каустика, раствор в баке перемешивают деревянной мешалкой или циркуляционным насосом. Желательно раствор подогревать, для чего в бак помещают зме-

евик, по которому пропускается пар. Готовый раствор подают насосом в скруббер или декарбонизатор.

Раствор готовят определенной крепости (удельного веса), которую проверяют специальным прибором, называемым ареометром, имеющим деления от 1 до 1,25, или в градусах Боме ( $^{\circ}\text{Bé}$ ).

При растворении щелочи температура раствора повышается. Производить определение плотности следует после остывания пробы раствора до  $+20^{\circ}\text{C}$ . Соотношения между градусами Боме, удельным весом раствора и содержанием в нем едкого натра даны в табл. 8.

Таблица 8

Растворы, применяемые для поглощения углекислоты из воздуха

Градусы Боме	Удельный вес	Содержание едкого натра	
		% по весу	$\text{кг}/\text{м}^3$
10	1,075	6,58	70,0
11	1,083	7,30	79,0
12	1,091	8,08	88,0
13	1,100	8,78	93,6
14	1,108	9,50	105,3
15	1,116	10,30	114,9
16	1,125	11,06	124,4
17	1,134	11,90	134,9
18	1,142	12,63	145,0

В летнее время крепость раствора должна поддерживаться равной  $15\text{--}17^{\circ}$  Боме. В зимнее время, во избежание выделения из раствора кристаллов каустика, крепость раствора не должна превышать  $10\text{--}12^{\circ}$  Боме.

Через каждые два наполнения скруббера раствором щелочи насадку его следует промывать чистой водой. Один раз в год при капитальном ремонте установки насадку скруббера вынимают для проверки и промывки.

Щелочеотделители скруббера следует продувать 1 раз в час во избежание скопления в них большого количества щелочного раствора и возможности уноса его во всасывающие клапаны и цилиндры воздушного компрессора.

Необходимо следить за нормальной работой щелочных насосов скруббера, отсутствием пропусков в сальниках насосов и соединениях трубопроводов, а также проверять циркуляцию раствора в скруббере. Если скруббер быстро забивается кристаллами едкого натра, то это указывает на слишком большую крепость раствора, и его необходимо разбавить водой до установленного удельного веса. Когда в первом по ходу воздуха скруббере использование щелочного раствора достигнет  $90\text{--}92\%$ , что определяется анализом отработанной щелочи, то раствор из данного



скруббера сливают и в него перекачивают раствор из второго по ходу воздуха скруббера. Последний заполняют свежим раствором. В декарбонизаторах использование раствора доводят до 80—85%.

При работе декарбонизатора необходимо следить за тем, чтобы он был наполнен раствором до установленного уровня и чтобы циркуляция раствора в нем не прекращалась. Последнее определяется открыванием соответствующих контрольных кранов. Если из этих кранов выходит раствор, а не воздух, то это означает, что декарбонизатор работает нормально.

Если насадка в декарбонизаторе или скруббере окажется загрязненной маслом, заносимым воздухом из компрессора, то ее необходимо промыть горячей всдой или растворителем, например дихлорэтаном.

Необходимо также следить за исправным состоянием обратного клапана декарбонизатора, проверяя его состояние при каждой остановке кислородного аппарата на отогрев.

#### ✓ 4. АППАРАТУРА ДЛЯ ОСУШКИ ВОЗДУХА

Работа кислородного аппарата зависит от степени осушки перерабатываемого в нем воздуха не менее чем от очистки последнего от углекислоты.

Влага, содержащаяся в воздухе, вымораживается в холодной части теплообменника и, постепенно накапливаясь там в виде льда, закупоривает трубки теплообменного аппарата. Вследствие этого приходится прекращать процесс получения кислорода и производить отогревание и продувку теплообменника или даже кислородного аппарата в целом для удаления скопившейся в нем влаги.

Остановки на отогревание аппарата вызывают увеличение расхода энергии на получение кислорода. Кроме того, накопление влаги в теплообменнике и отложение в нем льда увеличивают сопротивление теплообменника и ухудшают теплообмен, что приводит к повышению потерь холода от недорекуперации. Для возмещения дополнительных холодопотерь и преодоления возросшего сопротивления теплообменника приходится работать при повышенном давлении воздуха, что также увеличивает расход энергии на выработку кислорода.

Таким образом, чем тщательнее производится осушка воздуха, тем лучше работает кислородная установка.

Значительная часть паров влаги, содержащейся в воздухе, выпадает из него в виде капель жидкости после сжатия воздуха и его охлаждения в холодильниках компрессора. Эта жидкость собирается в масловодоотделителях, которые установлены после холодильников. Наряду с влагой в них собираются также и капельки масла, пары которого уносятся из компрессора вместе с воздухом.

Дальнейшую же осушку воздуха от влаги, оставшейся в нем

после прохождения маслоседелителей, производят уже в специальной воздухоосушительной аппаратуре. Для этого применяют один из следующих способов:

- а) химическая осушка твердым едким натром;
- б) осушка адсорбентами—силикагелем или активным глиноземом;

в) осушка путем вымораживания влаги в трубчатых теплообменниках или в регенераторах.

**Химическая осушка.** Этот способ является наименее совершенным. Он основан на поглощении влаги кусковым едким натром. Теоретически для поглощения 1 кг влаги расходуется 0,56 кг едкого натра. Практически, вследствие неполного использования каустика в осушительных аппаратах, на 1 кг влаги расходуется 0,9—1,0 кг технического едкого натра. При этом твердый едкий натр превращается в водный раствор едкого натра.

Одновременно происходит дополнительная очистка воздуха от остатков углекислоты, которая не смогла быть полностью поглощена в щелочных скрубберах и декарбонизаторах.

После осушки едким натром в воздухе остается еще значительное количество влаги, практически достигающее  $0,8 \text{ г/м}^3$  воздуха и более.

Для химической осушки воздуха применяют осушительные батареи из стальных цельнотянутых баллонов, рассчитанных на рабочее давление до 220 *ати* и пробное давление 330 *ати*.

Разрез баллона осушительной батареи изображен на рис. 42. В баллон 1 вставлена железная гильза 2, имеющая нижнюю съемную решетку 3.

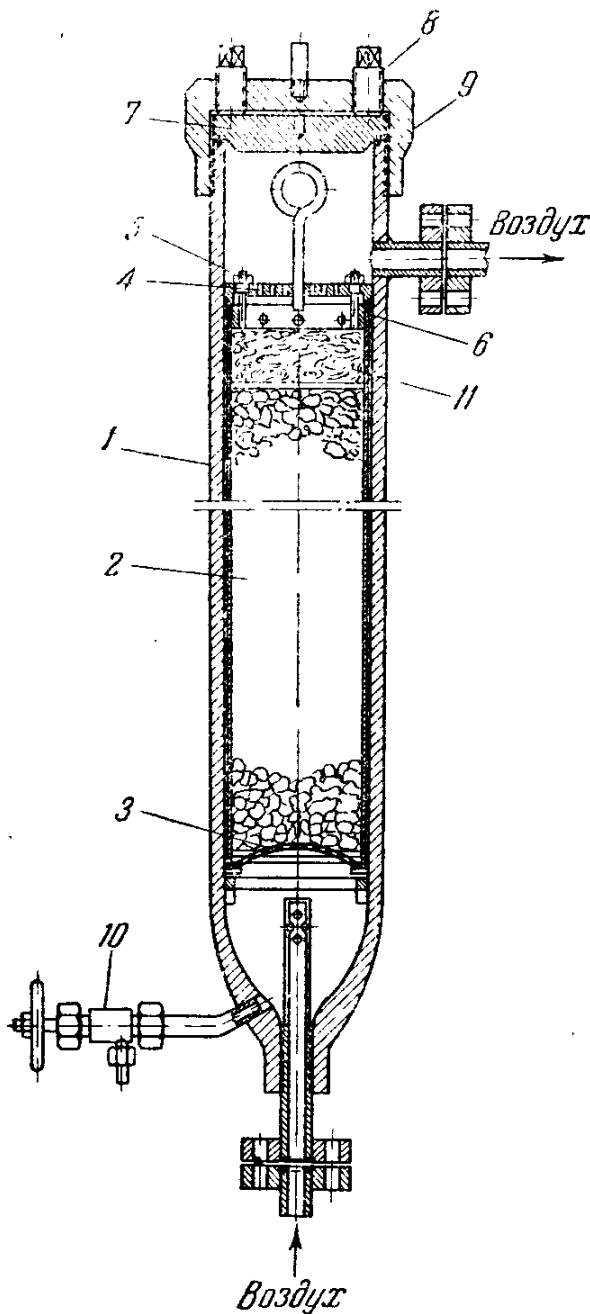


Рис. 42. Разрез баллона осушительной батареи:

1—баллон; 2—гильза; 3—решетка; 4—крышка гильзы; 5—болты; 6—резиновое уплотняющее кольцо; 7—крышка баллона; 8—шпилька; 9—наружная крышка; 10—вентиль для продувки; 11—фильтр из ваты.

Через эту решетку в гильзу загружают куски едкого натра размером 25—40 мм.

Сверху гильза закрывается крышкой 4, снабженной болтами 5 и уплотняющим резиновым кольцом 6. Это кольцо препятствует прохождению воздуха помимо гильзы с каустиком.

Пространство под крышкой 4 заполнено фильтром 11 из ваты. Сверху баллон 1 закрывается внутренней крышкой 7, снабженной уплотняющей прокладкой. Крышка плотно прижимается к торцу корпуса шпильками 8, ввернутыми в наружную крышку 9.

Шпильки должны быть затянуты равномерно по всей окружности крышки и ее уплотняющего кольца, так как иначе трудно создать герметичное соединение и может произойти утечка воздуха высокого давления.

Вентиль 10 служит для периодической продувки щелочного раствора, скапливающегося в нижней части баллона.

Осушительные баллоны устанавливают группами на раме из углового железа и включают последовательно по ходу воздуха. В зависимости от производительности кислородной установки осушительная батарея состоит из одной или нескольких групп баллонов.

Как мы уже указывали, количество насыщающих воздух паров воды зависит от температуры воздуха. С понижением температуры содержание паров воды в воздухе уменьшается и избыточная влага выделяется из него в виде капель. С этой целью воздух перед осушительной батареей целесообразно подвергать дополнительному охлаждению в отдельном холодильнике с проточной холодной водой. Если через воду этого холодильника пропускать еще и сухой азот, отходящий из кислородного аппарата, то за счет испарения части воды происходит ее дополнительное охлаждение.

Такие устройства уменьшают количество влаги в воздухе, поступающем в осушительную батарею, и тем сокращают расход едкого натра на процесс осушки. Расход едкого натра на осушку воздуха в кислородных установках составляет в среднем 1,6—2,7 г/м<sup>3</sup> кислорода.

✓**Осушка при помощи адсорбентов.** Данный способ является наиболее совершенным и применяется на большинстве современных кислородных установок. Содержание влаги, остающейся в воздухе после осушки его адсорбентом, во много раз меньше, чем при осушке едким натром, и составляет при осушке силикагелем 0,03—0,05 г/м<sup>3</sup>, при осушке активным глиноземом 0,005—0,01 г/м<sup>3</sup>.

Большим достоинством данного способа является отсутствие расхода осушающего вещества (адсорбента), так как последний периодически подвергается регенерации—восстановлению его влагопоглощательной способности путем высушивания отходящим подогретым азотом. Кроме того, при данном способе осушки нет необходимости время от времени продувать осушительные баллоны, как это делается при осушке каустиком. Это сберегает

значительное количество сжатого воздуха и улучшает полезное использование воздуха в установке. Вследствие лучшей осушки воздуха продолжительность непрерывной работы установки между двумя отогреваниями увеличивается в 2—3 раза и устраняется возможность заноса каустика и масла в кислородный аппарат. Наконец, отпадает трудоемкая и тяжелая работа по перезарядке осушительной батареи каустиком, вызывающая простои оборудования установки.

Общий расход каустика на установке сокращается примерно на 20%.

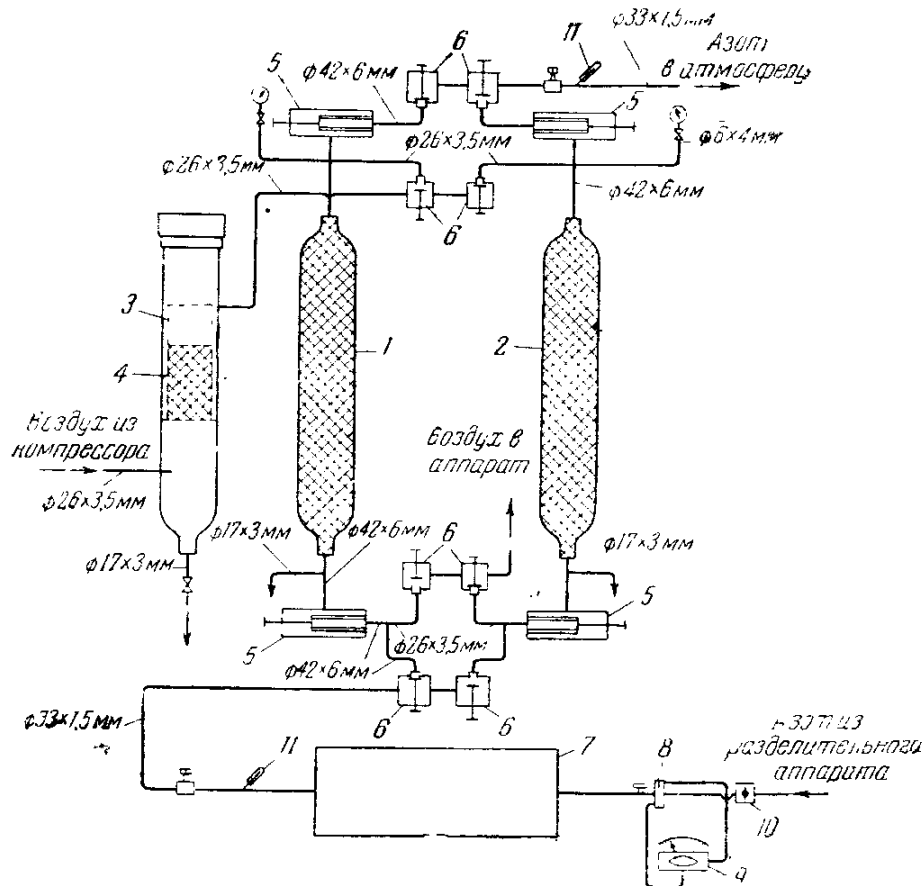


Рис. 43. Схема установки для осушки воздуха твердым адсорбентом:

1, 2—осушительные баллоны; 3—водоотделитель; 4—патрон с насадкой; 5—войлочные фильтры; 6—двойные вентили; 7—электроподогреватель для азота; 8—измерительная диафрагма; 9—дифманометр; 10—заслонка; 11—термометры.

Схема установки для осушки воздуха адсорбентом показана на рис. 43. Осушительная установка состоит из двух стальных, установленных на раме баллонов 1 и 2, рассчитанных на соответствующее рабочее давление. Иногда в крупных кислородных установках вместо двух баллонов ставят две группы по два баллона в каждой. Воздух входит сверху и выходит снизу баллонов, предварительно пройдя водоотделитель 3, внутри которого находится патрон 4 с насадкой из колец. Диаметр осушительных баллонов выбирают из расчета прохождения 0,5 л мин сжатого

воздуха на каждый кв. сантиметр площади поперечного сечения баллона. Баллоны заполнены доверху адсорбентом. На коммуникации между баллонами и кислородным аппаратом установлены войлочные фильтры 5.

Азот, используемый для регенерации адсорбента, подогревается в электроподогревателе 7. Количество азота измеряется диаф-

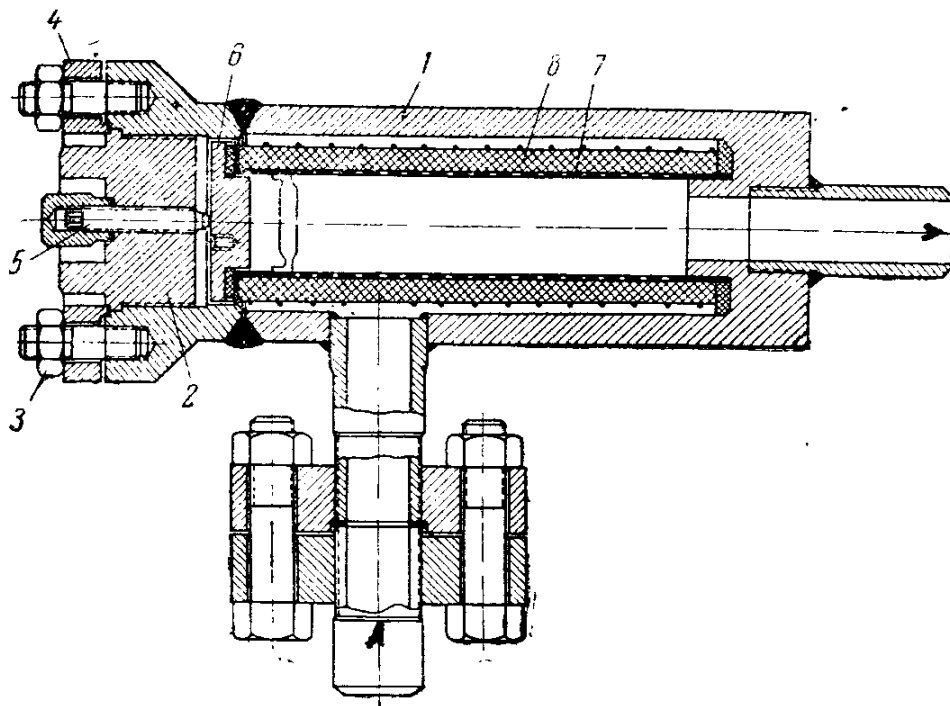


Рис. 43а. Фильтр осушительной установки:

1—корпус; 2—крышка; 3—болты; 4—фланец; 5—нажимной болт; 6—уплотняющая крышка; 7—сетка; 8—войлочный чулок.

рагмой\* 8, снабженной дифманометром 9, и регулируется заслонкой 10.

Для контроля за температурой азота до и после осушителя установлены термометры 11. Для переключения потоков воздуха и азота служат двойные вентили 6. Размеры труб, указанные на чертеже, определяются количеством и давлением проходящего через них газа.

Устройство войлочного фильтра отдельно показано на рис. 43а. Фильтр состоит из массивного стального корпуса 1 с крышкой 2, которая прижимается к корпусу болтами 3 посредством фланца 4. Болт 5 служит для прижатия внутренней уплотняющей крышки 6. Внутри корпуса вставлен стакан 7 из стальной сетки, на которую надет войлочный чулок 8, укрепленный сверху проволокой.

Направление потока воздуха в фильтре указано стрелками.

Двойной вентиль (рис. 43б) состоит из стального корпуса 1, в который ввернуты три патрубка 2. Перекрытие отверстия вен-

\* Диск с отверстием, ограничивающим проход газа или жидкости.

тия производится с помощью клапана 3, свободно сидящего в шпинделе 4, снабженном резьбой 5 и сальником 6. Шпиндель и клапан изготовлены из нержавеющей стали.

Электроподогреватель для азота (рис. 43в) состоит из стального цилиндрического корпуса 1, закрываемого крышкой 2 на болтах и прокладке. Внутри подогревателя помещен нагревательный элемент 3, состоящий из трех спиралей мощностью 1,5; 3 и 3,5 квт. Включая с помощью контактов 4 те или иные спирали, можно

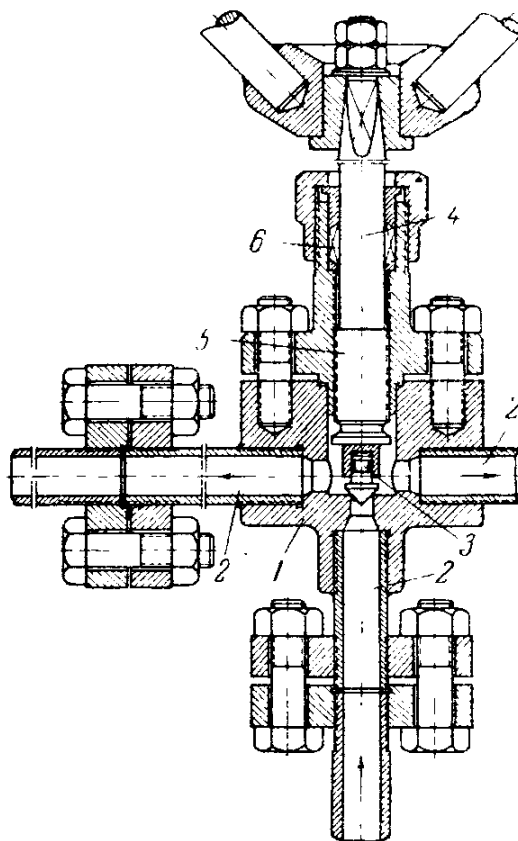


Рис. 43б. Двойной вентиль:

1—корпус; 2—патрубки; 3—клапан;  
4—шпиндель; 5—резьба; 6—сальник.

изменять температуру нагрева азота в подогревателе. Корпус подогревателя рассчитан на рабочее давление 0,5 *ати*, а испытывается на 1,5 *ати*.

Адсорберы работают попеременно. В то время как через один адсорбер идет осушаемый воздух, во втором происходит регенерация силикагеля или активного глинозема путем пропускания через него подогретого сухого азота из воздуходелительного аппарата. Температура азота при этом должна быть не менее 180—220°C, а расход 100—110 м<sup>3</sup>/час. Продолжительность периода регенерации составляет 3—4 часа; расход азота контролируется при помощи диафрагмы 8 (см. рис. 43).

Силикагель при поглощении влаги нагревается и поэтому практически может поглотить до 6—8% влаги от собственного веса. Это обстоятельство и определяет время переключения адсор-

бера. Обычно переключение производят через каждые 8—12 час. Иногда перед адсорберами устанавливают дополнительный холодильник, где воздух охлаждается водой до 15—20°C. Температуру воздуха можно снизить до 10°C, если пропускать через воду холодильника часть азота, выбрасываемого в атмосферу из воздуходелительного аппарата. С понижением температуры воздуха количество содержащихся в нем паров воды уменьшается, что облегчает его осушку. Выделяющиеся в маслоотделителе воду и масло удаляют периодической предувкой.

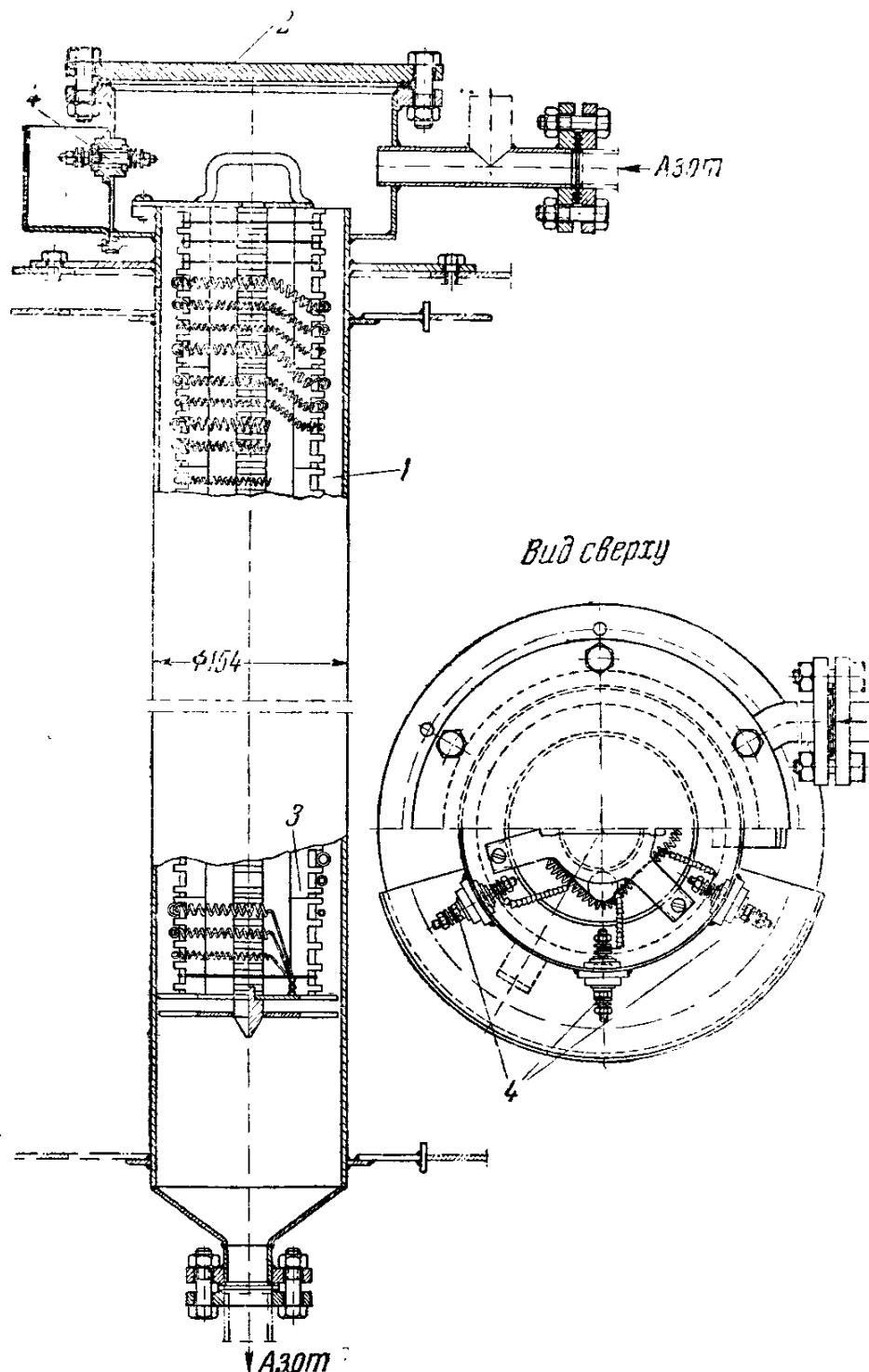


Рис. 43в. Электроподогреватель для азота:  
1—корпус; 2—крышка; 3—нагревательный элемент; 4—контакты.

На одном из кислородных заводов применение для осушки воздуха силикагеля взамен едкого натра снизило расход едкого натра на 15% и расход электроэнергии на получение кислорода на 13%; повысило коэффициент полезного использования оборудования установки с 95—96% до 98—99%. При этом себестоимость кислорода снизилась на 17%.

Несмотря на свои достоинства, силикагель имеет один существенный недостаток—находясь в осушителях он довольно быстро измельчается вследствие растрескивания при попадании на него капельной влаги. Поток воздуха измельченный силикагель уносится в разделительный аппарат, что может вызвать нарушение работы последнего. Поэтому при использовании силикагелем нужно внимательно следить за работой водоотделителей и часто просматривать и очищать фильтры, задерживающие силикагелевую пыль.

✓ Водная окись алюминия (активный глинозем), которую также используют в кислородных установках в качестве осушителя, не обладает описанным недостатком. При осушке активной окисью алюминия используют ту же аппаратуру, что и при осушке силикагелем.

✓ Активный глинозем в зернах размером 3—6 мм имеет объемный вес 0,86 кг/л.

Слой адсорбента в баллоне должен быть высотой не менее 1000 мм. С целью уменьшения потерь тепла установку для осушки воздуха адсорбентом иногда заключают в кожух с изоляцией.

Активный глинозем в практических условиях может поглощать влаги до 3—4% от веса самого адсорбента, после чего он должен подвергаться регенерации.

Скорость воздуха в осушителе принимают равной 0,2 л/мин на 1 см<sup>2</sup> площади поперечного сечения адсорбера. При регенерации активного глинозема азот нагревают до 245—260°C.

Все вентили осушительных установок должны быть герметичными и в закрытом состоянии не пропускать воздух через клапаны и сальниковые уплотнения штоков.

Негерметичность вентиля вызывает потери сжатого воздуха в атмосферу, что снижает производительность кислородного аппарата.

**Вымораживание влаги.** Как уже указывалось (см. стр. 48) при понижении температуры содержание влаги в воздухе значительно уменьшается.

Таким образом путем охлаждения воздуха можно почти полностью удалить из него влагу. С этой целью воздух пропускают через систему теплообменников, охлаждаемых сначала отходящим азотом, а затем аммиаком. В азотных теплообменниках воздух охлаждается до температуры не ниже—2°C, при этом из него выпадает основное количество влаги в виде жидкости, которая периодически удаляется продувкой теплообменника. Затем воздух поступает в аммиачные теплообменники, где охлаждается



испаряющимся аммиаком до температуры минус 40—45°C. При этой температуре в воздухе остается лишь ничтожное количество влаги, равное 0,067—0,117 г/м<sup>3</sup>. Обычно ставят два аммиачных теплообменника, которые работают попеременно: в одном воздух охлаждается, а другой в это время обогревается, причем образовавшийся в нем лед тает, и теплообменник продувают для удаления влаги. В установках, работающих с детандером, для вымораживания влаги иногда используют только отходящие азот и кислород. В этом случае также применяют два теплообменника, включаемых в работу попеременно. В установках с регенераторами влага из воздуха удаляется попутно с его охлаждением, оседая в виде снега и льда на насадке регенераторов. При переключении регенератора и прохождении через него потоков сухого азота или кислорода в обратном направлении осевшая влага вновь испаряется и выносится из регенератора.

### ✓ 5. ОБСЛУЖИВАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОСУШКИ ВОЗДУХА

Масловодоотделители, установленные на воздухопроводах кислородной установки, должны регулярно продуваться короткими 2—3-кратными открытиями нижнего продувочного вентиля, имеющегося на каждом водоотделителе. Обычно продувка делается не реже 1 раза в час.

При зарядке осушительной батареи каустиком необходимо применять куски размером 25—40 мм. Если применять куски каустика больших размеров, то общая поверхность их будет слишком мала; куски же меньших размеров будут быстро оплывать под действием поглощаемой влаги и создавать большое сопротивление прохождению воздуха через баллон.

Заряжая осушительную батарею, необходимо обращать особое внимание на тщательное уплотнение гильзы с каустиком в корпусе баллона. Если в том месте, где устанавливается резиновое уплотнительное кольцо, появится неплотность, то воздух будет проходить, минуя слой каустика, и, следовательно, не подвергнется осушке.

В каждый баллон осушительной батареи загружается по 36 кг каустика. Когда каустик в первой по ходу воздуха группе баллонов будет полностью использован, включают вторую группу баллонов; первая в это время должна перезарядиться, после чего ее включают второй по ходу воздуха группой баллонов.

С целью экономии каустической соды необходимо иметь сборник для улавливания щелочи, продуваемой из осушительной батареи, а затем использовать эту щелочь при приготовлении раствора для декарбонизаторов и скрубберов. Для этой же цели следует использовать также и те остатки каустической соды из осушительных баллонов, которые получаются при их перезарядке.

Обслуживание осушительной батареи во время ее работы

заключается в регулярной продувке водоотделителя и баллонов от скопившейся влаги. Водоотделитель и первые по ходу воздуха баллоны нужно продувать каждые полчаса коротким открытием продувочного вентиля. Остальные баллоны продуваются каждый час.

Продувку следует вести в направлении, обратном потоку воздуха, т. е. начиная ее с последних баллонов данной группы. Часто продувочные вентили засоряются твердым каустиком; в этом случае вентиль следует подогреть горячей водой и продуть. На случай попадания кусочков каустика под клапан шпинделя рекомендуется иметь запасные шпиндели или даже целые вентили. Повреждение шпинделя клапана устраняется путем зашлифовки шпинделя и притирки его к седлу.

При выключении одной группы баллонов для перезарядки нужно закрыть все имеющиеся на них вентили, предварительно убедившись, что на остальных группах баллонов все входные и выходные вентили открыты; после этого, открыв все продувочные вентили выключенной группы баллонов, полностью спустить давление из них и из трубопроводов.

При перезарядке баллона осушительной батареи с него снимают наружную крышку, предварительно ослабив нажимные болты, а затем вынимают внутреннюю уплотняющую крышку. Вынув ватный фильтр, отвертывают гайки болтов крышки патрона и осторожно удаляют уплотняющее резиновое кольцо. После этого крышку вновь укрепляют болтами и вытаскивают патрон из баллона с помощью ручной тали, подвешенной на балке. Вынутый патрон ставят на пол, поворачивают его днищем вверх, вынимают нижнюю решетку и высыпают остатки каустика в заранее приготовленный сосуд из листового железа. После промывки и просушки патрона его вновь наполняют свежим каустиком и устанавливают в баллон, производя сборку в обратном порядке. Если ватный фильтр загрязнен пылью или сильно уплотнен, то его следует заменить новым.

Барабаны с каустической содой предварительно обстукивают кувалдой, а затем разрубают зубилом по продольному шву. Дальнейшее дробление каустика производят в железном противне на плите. Распиливать барабаны с каустиком можно пилой перпендикулярно их оси; получающиеся при этом круги каустика легко дробятся на куски нужной величины. Неиспользованный каустик хранят в бидонах с герметически закрывающимися крышками, предохраняющими его от действия влаги и углекислоты окружающего воздуха.

Один раз в месяц баллоны осушительной батареи необходимо промывать водой (лучше горячей) для удаления осадка, состоящего из едкого натра и соды.

Один раз в 6 лет баллоны должны быть предъявлены инспекции Котлонадзора для очередного осмотра и гидравлического испытания.

✓ Обслуживание осушительных установок с адсорбентом состоит в периодическом переключении баллонов с целью регенерации адсорбента. Переключение баллонов производят через каждые 8—12 час. в следующем порядке.

Сначала отключают поток холодного азота, поступающего в адсорбер. На баллоне, в котором закончилась регенерация поглотителя, слегка открывают вентиль впуска воздуха высокого давления и создают в баллоне давление, равное рабочему давлению. После этого вентиль впуска воздуха открывают полностью и включают оба баллона на параллельную работу. Ранее работавший баллон отключают и, слегка открыв на нем вентиль для выпуска воздуха, медленно снижают давление до атмосферного. Затем в этот баллон впускают азот из подогревателя и производят процесс регенерации поглотителя.

Во избежание истирания зерен поглотителя переключать вентили адсорбера нужно постепенно, в течение 10—20 мин. снижая давление потока воздуха в выключаемом баллоне и также постепенно повышая его во включаемом.

Во время процесса регенерации поглотителя необходимо следить за температурой и расходом азота, подаваемого в адсорбер, и поддерживать их в указанных пределах, руководствуясь показаниями термометра, находящегося на выходе азота из подогревателя.

Об окончании процесса регенерации судят по температуре азота, выходящего из адсорбера. К концу процесса регенерации температура быстро возрастает до 105—110°C, оставаясь затем почти постоянной. Если температура азота на выходе из адсорбера превышает указанную, то подвод тока к подогревателю азота следует выключить.

По окончании процесса регенерации, через адсорбер продолжают пропускать еще некоторое время неподогретый азот для постепенного охлаждения поглотителя до 10—20°C, так как температура его должна быть не ниже 2°C и не выше 30°C. При температуре ниже 2°C на поглотителе будет вымерзать влага и он быстро забьется льдом; при температуре выше 30°C способность поглотителя удерживать влагу ухудшается.

Масловлагоотделитель, имеющийся перед адсорбционной осушительной установкой, должен продуваться не реже 1 раза в час.

Баллоны с адсорбером следует вскрывать 1—2 раза в год для ревизии состояния поглотителя. Если обнаружится, что адсорбент измельчен или частично унесен с воздухом, или загрязнен маслом, то его следует заменить новым. При этом масло с сеток фильтра смывают дихлорэтаном.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Каково назначение и устройство воздушного фильтра?
2. Как произвести очистку фильтра от пыли и промывку его кассет?
3. Какое масло применяют для смазывания колец фильтра?

4. Какие способы очистки воздуха от углекислоты применяются в кислородных установках?
5. Как влияет степень использования щелочного раствора на качество очистки воздуха от углекислоты?
6. В чем заключается обслуживание декарбонизаторов и скрубберов и наблюдение за их нормальной работой?
7. Как устроена осушительная батарея?
8. Как производят переключение и перезарядку осушительных батарей с каустиком?
9. Как устроена и как работает осушительная установка с силикагелем или активным глиноземом?
10. Как обслуживают установки для осушки воздуха адсорбентом?
11. Определить количество пыли, осаждающейся в воздушном фильтре кислородной установки производительностью 100, 300 и 1000  $m^3/час$  кислорода. Расход воздуха принять равным 6  $m^3$  на 1  $m$  кислорода, а содержание пыли 10  $mg/m^3$  воздуха.
12. Определить общую поверхность «цепных» воздушных фильтров, которую необходимо иметь при подаче турбокомпрессором 20 000  $m^3/час$  воздуха.
13. Определить количество насадочных колец (в штуках), необходимое для заполнения скруббера, имеющего диаметр 1000  $mm$ , высоту насадочной части 3000  $mm$ .
14. Определить производительность насоса для подачи щелочи в скруббер, имеющий размеры, указанные в примере 13.
15. Какое количество воздуха в  $m^3/час$  может пропустить скруббер с указанными в примере 13 размерами?
16. Подсчитать, какое количество углекислоты заносится в кислородный аппарат, перерабатывающий 800  $m^3/час$  воздуха, при непрерывной его работе в течение 10 дней и средней степени использования щелочного раствора 50%.
17. Для условий предыдущего примера определить, какое количество углекислоты было бы занесено в кислородный аппарат дополнительно, если бы степень использования раствора увеличилась до 70%.
18. Влажность воздуха, поступающего в осушительную батарею, равна 45  $g/m^3$ . Определить расход каустика на осушку воздуха в течение 10 дней для установки, перерабатывающей 180  $m^3/час$  воздуха.
19. Определить количество влаги, вносимой в кислородный аппарат КГ-300-2Д в течение суток с воздухом высокого давления, если осушка производится: 1) силикагелем; 2) активным глиноземом.
20. Определить диаметр баллона силикагелевого осушителя для установки, перерабатывающей 400  $m^3/час$  воздуха при рабочем давлении 60  $атм$ .

## МАШИНЫ ДЛЯ СЖАТИЯ ВОЗДУХА

### 1. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Воздушный компрессор является основной машиной кислородной установки. Он служит для сжатия воздуха до того давления, которое определяется холодильным циклом, принятым в данной установке. В зависимости от требуемого конечного давления сжатия используют *одноступенчатые* или *многоступенчатые компрессоры*.

**Одноступенчатые компрессоры.** Эти машины применяют для создания давления не свыше 6—7 *ати*. Для более высоких дав-

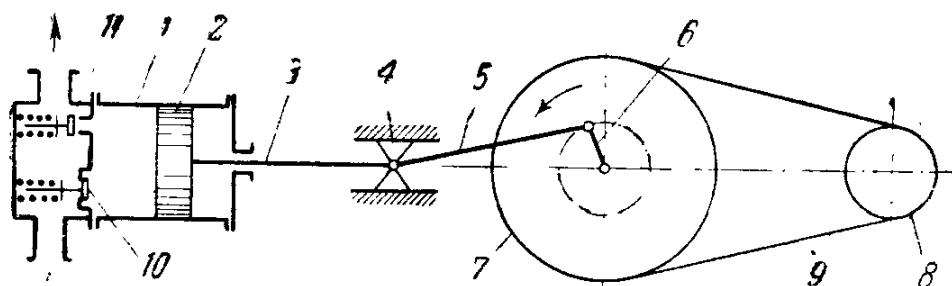


Рис. 44. Схема одноступенчатого поршневого компрессора:

1—цилиндр; 2—поршень; 3—шток; 4—головка ползуна; 5—шатун; 6—кривошип; 7—маховик; 8—шкив электродвигателя; 9—приводной ремень; 10—всасывающий клапан; 11—нагнетательный клапан.

лений сжатия пользуются компрессорами с двумя, тремя, четырьмя, пятью и даже шестью ступенями сжатия.

Схема устройства одноступенчатого поршневого компрессора показана на рис. 44. В цилиндре 1 движется поршень 2, сидящий на штоке 3. Второй конец штока соединен с головкой 4 ползуна, на которую действует шатун 5, связанный с кривошипом 6 коленчатого вала. На валу насажен маховик 7, получающий вращение от шкива 8 электродвигателя через ременную передачу 9. Вращение коленчатого вала посредством шатунно-кривошипного механизма превращается в возвратно-поступательное движение поршня. При перемещении поршня вправо в цилиндре образуется разрежение, благодаря которому открывается всасывающий клапан 10 и воздух засасывается в цилиндр. При обратном ходе поршня справа налево клапан 10 закрывается и воздух

сжимается в цилиндре компрессора. В тот момент, когда давление в цилиндре несколько превысит давление в нагнетательной линии, открывается нагнетательный клапан 11, через который воздух выталкивается из цилиндра. При следующем ходе поршня слева направо описанный выше рабочий цикл повторяется.

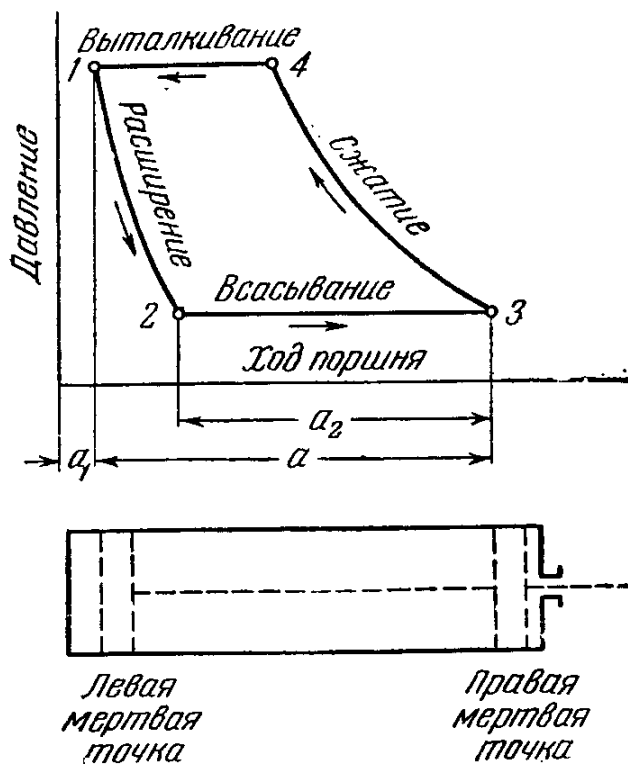


Рис. 45. Теоретическая индикаторная диаграмма одноступенчатого компрессора.

Нанесем на график изменение давления газа в цилиндре в зависимости от положения поршня. Тогда мы получим так называемую индикаторную диаграмму компрессора (рис. 45), т. е. замкнутую кривую, показывающую постепенное изменение давления в цилиндре компрессора. Точка 1 соответствует левому крайнему положению (левая мертвая точка), а точка 3—правому крайнему положению (правая мертвая точка) поршня. По линии 1—2 происходит расширение воздуха, оставшегося в цилиндре от предыдущего хода поршня справа налево; по линии 2—3 происходит всасывание воздуха в цилиндр; линия 3—4 показывает процесс сжатия воздуха в цилиндре при ходе поршня справа налево, а по линии 4—1 происходит выталкивание сжатого воздуха через нагнетательный клапан.

При крайнем левом положении поршня между ним и крышкой цилиндра, а также в клапанах и каналах всегда имеется свободное пространство, в котором после выталкивания остается известное количество сжатого воздуха. Этот свободный объем называется *вредным пространством*, так как остающийся в нем воздух при обратном движении поршня расширяется и тем самым уменьшает полезный объем цилиндра. Вредное пространство принято выражать в процентах от объема, описываемого поршнем за один ход. Обычно оно составляет 3—10% этого объема.

*Линейным вредным пространством* называется зазор между крышкой цилиндра компрессора и его поршнем, когда последний находится в одном из крайних положений. Этот зазор необходим для того, чтобы предотвратить удары поршня о крышку во время работы компрессора. Если зазора не делать, то удары неизбежны вследствие удлинения штока от нагревания во время работы компрессора, а также наличия зазоров в подшипниках шатунно-

кривошипного механизма. Практически величина линейного вредного пространства устанавливается 2—5 мм. На диаграмме рис. 45 величина  $a_1$  показывает отрезок, пропорциональный объему вредного пространства.

Отношение величины хода всасывания поршня  $a_2$  ко всему ходу поршня  $a$  называется *объемным коэффициентом полезного действия компрессора*.

Если, например, полный ход поршня  $a=60$  мм, а ход всасывания  $a_2=50$  мм, то объемный к. п. д. компрессора определится из отношения

$$\frac{a_2}{a} = \frac{50}{60} = 0,83, \text{ или } 83\%$$

Размер вредного пространства оказывает непосредственное влияние на величину объемного к. п. д. компрессора. Чем меньше вредное пространство, тем больше объемный к. п. д. компрессора и тем большее количество воздуха будет подаваться за каждый ход поршня. Следовательно, уменьшение вредного пространства имеет важное значение для повышения производительности компрессора. Поэтому при монтаже и эксплуатации воздушных компрессоров необходимо добиваться минимальной величины вредного пространства, способного обусловить безопасную работу машины.

Для определения величины линейного вредного пространства пользуются свинцовой проволокой, которую закладывают через отверстие клапана между крышкой цилиндра и поршнем. При установке поршня в крайнее положение проволока сплющивается, после чего ее толщину измеряют микрометром.

На практике объем вредного пространства определяют при помощи воды, заливаемой в цилиндр компрессора из мерного сосуда через клапанную коробку; поршень при этом ставят в одно из крайних положений.

Очень важной характеристикой компрессора является его *производительность*, под которой понимают объем воздуха в куб. метрах, подаваемый компрессором за 1 мин. или за 1 час при температуре и давлении всасывания. Это будет так называемая *объемная* производительность. Если же объемную производительность умножить на удельный вес газа в  $кг/м^3$ , то получим *весовую* производительность в  $кг/мин$  или в  $кг/час$ .

Объемная производительность компрессора пропорциональна объему, описываемому поршнем за 1 мин. или за 1 час. Она измеряется количеством газа, поданного компрессором и отнесенного к 1 *ата* и 20 °С. Полный объем  $V$ , описываемый поршнем, равен:

$$V_{\text{мин.}} = F \cdot S \cdot n \text{ м}^3 \cdot \text{мин}; \quad V_{\text{час}} = F \cdot S \cdot n \cdot 60 \text{ м}^3 \cdot \text{час}$$

где  $F$ —полезная площадь поршня в  $м^2$ ;

$S$ —длина хода поршня в  $мм$ ;

$n$ —число оборотов вала в 1 мин.

Для компрессора двойного действия, в котором сжатие газа происходит с двух сторон поршня, следует подсчитать объем,

описываемый поршнем с обеих сторон, и полученные величины сложить.

Действительный объем поданного газа будет меньше объема, описываемого поршнем, вследствие влияния вредного пространства и утечки газа через сальники, поршневые кольца и другие неплотности. Отношение действительного объема подаваемого компрессором газа (при 1 *ата* и 20 °С) к объему, описываемому поршнем, называется *коэффициентом подачи* компрессора и характеризует качество его изготовления и эксплуатации. Коэффициент подачи компрессоров обычно составляет 65—80%. Таким образом для подсчета производительности компрессора следует объем, описываемый поршнем, еще умножить на коэффициент подачи.

*Пример.* Площадь поршня компрессора одинарного действия равна 0,03 м<sup>2</sup>, ход поршня 170 мм, число оборотов 530 в 1 мин., коэффициент подачи 80%. Производительность компрессора будет равна:

$$1 \cdot 0,03 \cdot 0,17 \cdot 530 \cdot 60 \cdot 0,8 = 130 \text{ м}^3/\text{час}$$

Для увеличения коэффициента подачи, а следовательно и производительности компрессора, необходимо:

1) стремиться к уменьшению величины объема вредного пространства;

2) добиваться лучшего охлаждения цилиндров и клапанных коробок с целью понижения температуры газа, т. е. увеличения весового количества газа, поступающего в компрессор; для этого следует чаще очищать стенки клапанных коробок и рубашек цилиндра от накипи.

3) устранять пропуски газа, возникающие вследствие негерметичности клапанов, поршневых колец, фланцевых соединений и пр.;

4) уменьшать сопротивление всасывающих клапанов и всасывающей трубы компрессора.

**Многоступенчатые поршневые компрессоры.** При одноступенчатом сжатии до давления свыше 6—7 *ати* получается слишком высокая температура сжатия, при которой нормальная работа компрессора затрудняется и даже становится невозможной. Кроме того, в одноступенчатом компрессоре при повышении давления сжатия сильно уменьшается объемный к. п. д. компрессора вследствие влияния вредного пространства. Это обстоятельство способствует снижению производительности машины. С целью обеспечения нормального процесса сжатия при высоких давлениях применяют многоступенчатые компрессоры с охлаждением газа после каждой ступени сжатия. На рис. 46 показана схема пятиступенчатого компрессора. В таком компрессоре воздух сжимается последовательно в 5 цилиндрах (ступенях). При переходе из одной ступени в другую сжатый воздух подвергается охлаждению в промежуточных холодильниках, включенных между ступенями.



Размеры цилиндров выбирают таким образом, чтобы в каждом из них давление газа увеличивалось в 3—4 раза по отношению к давлению всасывания в данный цилиндр. Отношение абсолютного давления нагнетания к абсолютному давлению всасывания называется *степенью сжатия*. Если, например, манометр после

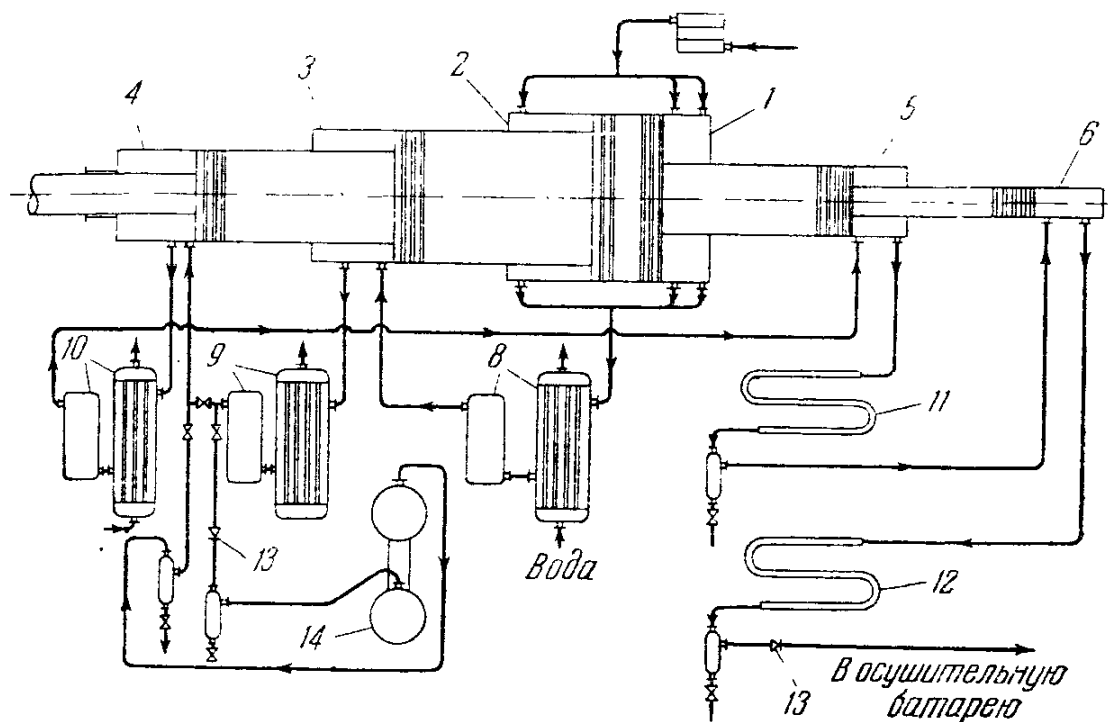


Рис. 46. Схема пятиступенчатого горизонтального воздушного компрессора марки 5Э-14/220:

1 и 2—правая и левая стороны I ступени; 3, 4, 5, 6—II, III, IV и V ступени; 7—воздушный фильтр; 8, 9, 10, 11, 12—холодильники и маслоотделители I—V ступеней; 13—обратные клапаны; 14—декарбонизатор.

I ступени показывает 3 *ати*, т. е. 4 *ата*, а после II ступени—15 *ати*, т. е. 16 *ата*, то степень сжатия для II ступени будет равна:  $16 : 4 = 4$ .

При многоступенчатом сжатии степень сжатия во всех ступенях берется примерно одинаковой. После каждой ступени воздух охлаждается в холодильниках примерно до той температуры, которую он имел до начала сжатия. В практике обычно применяют компрессоры со следующим числом ступеней:

Для давления до	Число ступеней
6 <i>ати</i> .	1
20 »	2
80 »	3
120—200 »	4
200—300 »	5 или 6

Способ многоступенчатого сжатия обладает следующими преимуществами: более полно используется объем цилиндров компрессора; температура сжатия в каждой ступени не превышает

допустимых для смазки пределов; усилия на шток, шатун, вал и подшипники уменьшаются; конструкция машины получается более уравновешенной и компрессор работает более спокойно. Наконец, что самое главное, применение многоступенчатого компрессора, вследствие более совершенного охлаждения воздуха во время сжатия, делает процесс экономичнее и понижает расход энергии.

Увеличение числа ступеней сжатия в компрессоре имеет и свои отрицательные стороны, заключающиеся в усложнении и удорожании конструкции компрессора. Однако это окупается экономичностью работы компрессора.

Производительность многоступенчатого компрессора подсчитывается по производительности I ступени, которая в больших компрессорах обычно делается двойной.

Многоступенчатые компрессоры строятся горизонтального и вертикального типа. Вертикальная конструкция применяется для быстроходных машин и является более компактной.

Технические данные отечественных многоступенчатых воздушных компрессоров высокого давления, выпускаемых для серийных типов кислородных установок, приведены в табл. 9.

Таблица 9

**Техническая характеристика многоступенчатых воздушных компрессоров для кислородных установок**

Характеристика	Марка компрессора			
	P-1/220	2P-3/220	3P-7/220	5Э-14/202
Тип компрессора . . . . .	Вертик.	Вертик.	Вертик.	Горизонт.
Число ступеней сжатия . . . . .	4	4	4	5
Производительность при 0°С и 760 мм рт. ст., м <sup>3</sup> /час . . . . .	65	180	420	800
Наивысшее рабочее давление, <i>ати</i> . . . . .	220	220	220	220
Число оборотов в минуту . . . . .	500	400	375	167
Ход поршня, мм . . . . .	150	150	200	350
Диаметры поршней, мм				
I ступень . . . . .	180	330	460	455/110 и 455/380
II » . . . . .	95	170	245	380/210
III » . . . . .	65	80	110	210/90
IV » . . . . .	35	40	58	110/58
V » . . . . .	—	—	—	58
Конечные давления сжатия по ступеням, <i>ати</i> . . . . .				
I ступень . . . . .	3—4	3,8	3,8	3,1
II » . . . . .	12—16	14,5	14,5	10,6
III » . . . . .	40—50	55	55	30
IV » . . . . .	220	220	220	82
V » . . . . .	—	—	—	220
Мощность электродвигателя, <i>квт</i> . . . . .	28,5	55	140	250
Производительность кислородной установки, для которой применяется данный компрессор, м <sup>3</sup> /час . . . . .	5	30	300	130 и 1000

## 2. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ КОМПРЕССОРОВ

Существуют различные конструкции компрессоров, отличающиеся расположением цилиндров, производительностью, давлением, типом холодильников и пр. Тем не менее основные части компрессоров разных конструкций имеют между собой много общего.

На рис. 47 показан в разрезе вертикальный четырехступенчатый компрессор марки 2Р-3 220. Примером конструкции горизонтального многоступенчатого компрессора производительностью  $800 \text{ м}^3/\text{час}$  является машина 5Э-14/220, изображенная в разрезе на рис. 48. Обозначения отдельных основных частей компрессоров указанных типов приведены в подписях под рисунком. Познакомимся в основных чертах с устройством важнейших частей многоступенчатых компрессоров.

**Станины** компрессора отливаются из серого чугуна марки СЧ-32. От размеров и формы станины зависит прочность и жесткость всей конструкции компрессора. К фундаменту компрессора станина крепится фундаментными болтами. Болты должны быть затянуты равномерно, станина тщательно выверена на фундаменте, а под ее основание залит раствор цемента. Неравномерная затяжка болтов и перекосы в станине могут вызвать при работе компрессора сильную вибрацию, а иногда поломку станины и аварию компрессора.

**Цилиндры** компрессора крепятся к станине шпильками. Цилиндры I, II и III ступеней отливают из серого чугуна марки СЧ-36 и снабжают двойными стенками с каналами, образующими охлаждающие рубашки цилиндров. Внутри рубашек циркулирует вода. Цилиндры IV и V ступеней отливают или отковывают из углеродистой стали марки Ст. 40. Внутри цилиндров запрессовываются рабочие втулки из специального мелкозернистого (перлитного) чугуна. Внутреннюю поверхность втулок шлифуют. С целью охлаждения цилиндры располагают обычно в ванне с проточной водой. Каждая рабочая полость цилиндра имеет по две клапанные коробки—одну для всасывающего, другую для нагнетательного клапанов. Рубашки имеют люки, через которые производят очистку их внутренних поверхностей от накипи и грязи.

**Коленчатые валы и шатуны** компрессоров изготавливают коваными из углеродистой стали марки Ст. 40. Обычно коленчатый вал имеет три опорные шейки, располагающиеся на трех опорных подшипниках. Эти шейки и подшипники называются коренными в отличие от мотылевых, которые служат для передачи усилия от вала к шатуну компрессора. Иногда третий подшипник делают выносным. Все шейки вала шлифуют. На вал компрессора насаживают маховик, который обеспечивает равномерность вращения вала и служит шкивом, воспринимающим усилие, передаваемое от шкива электродвигателя посредством приводного ремня.

Продольный разрез

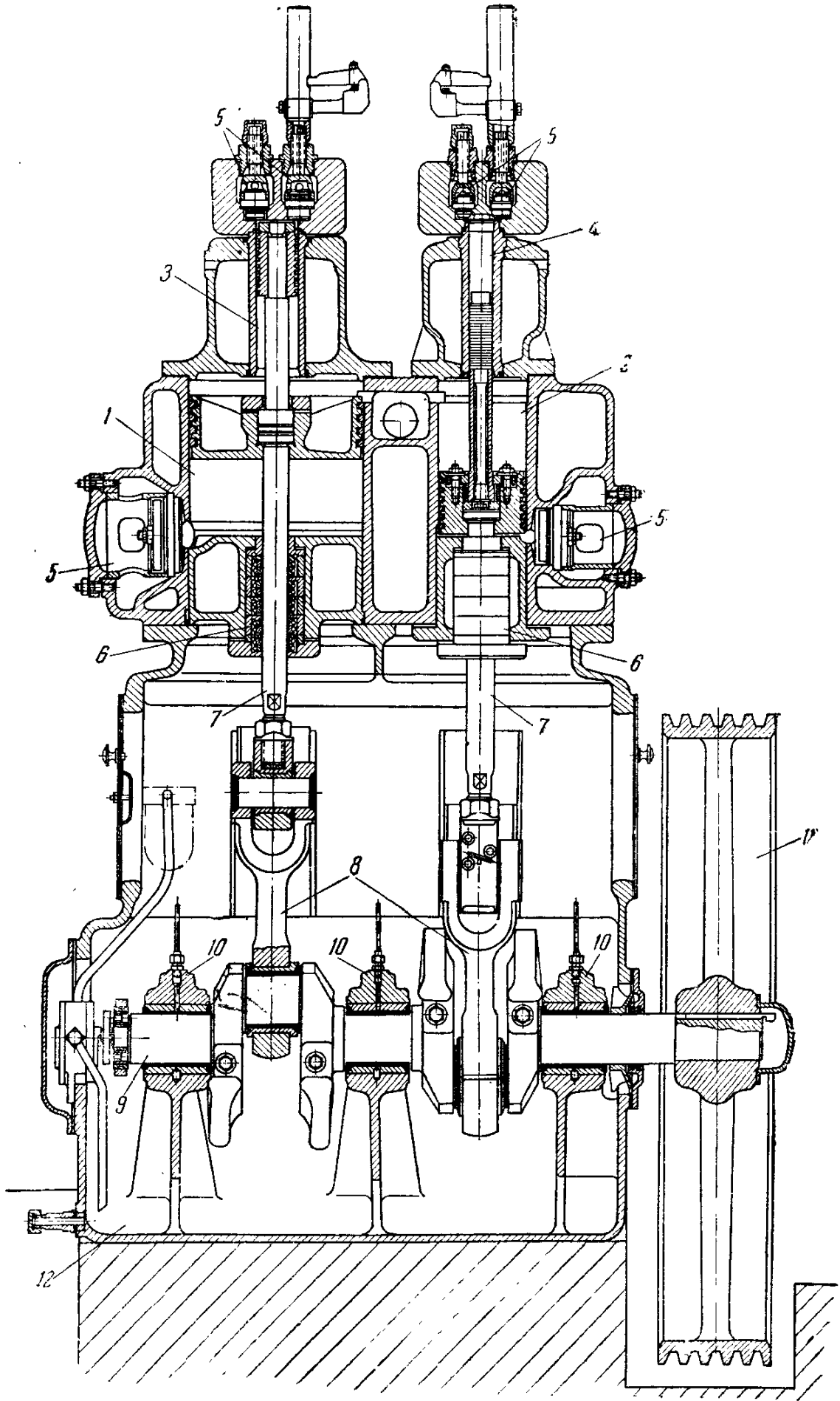
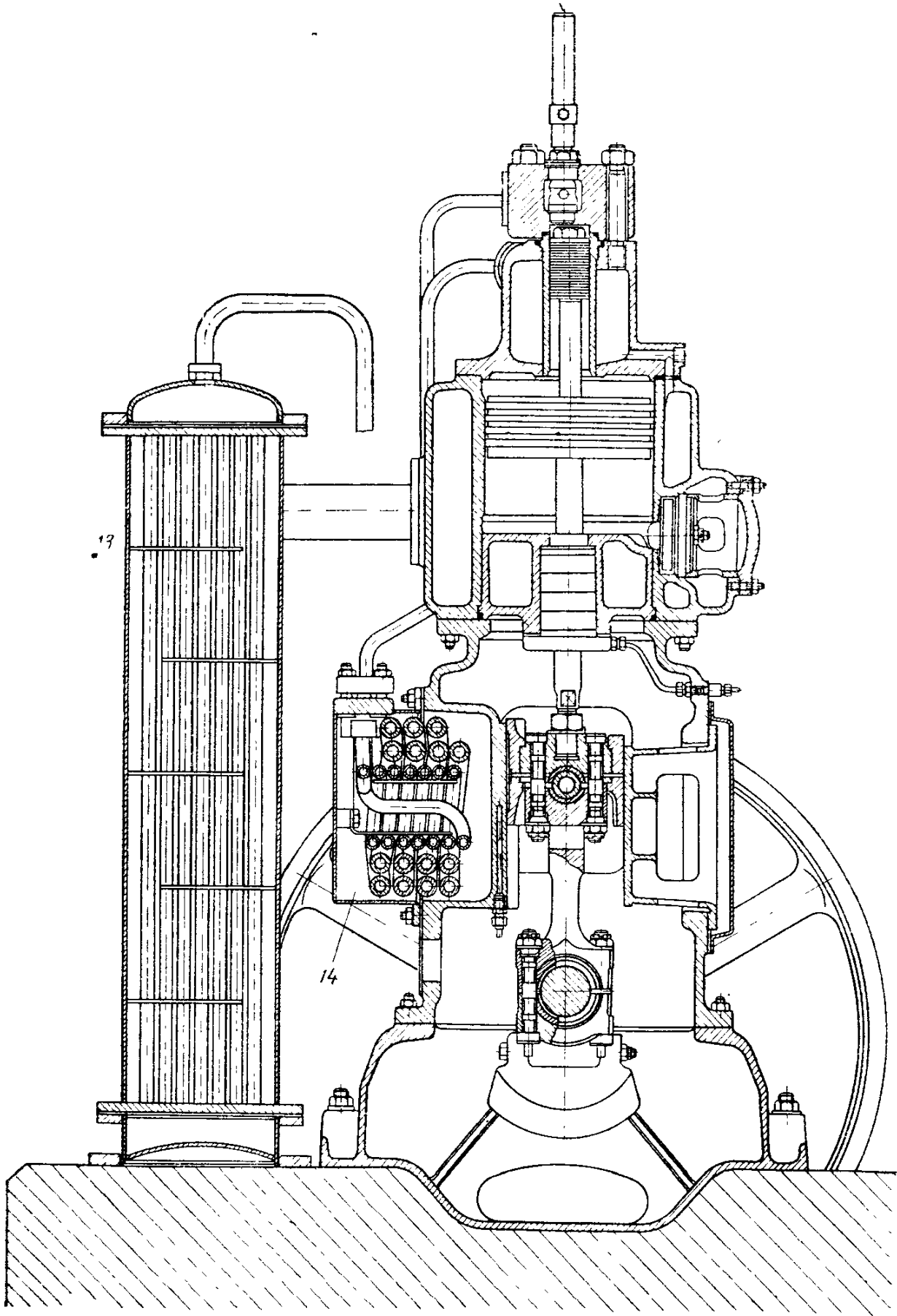


Рис. 47. Разрез вертикального четырех

1, 2, 3, 4—цилиндры I, II, III и IV ступеней; 5—клапаны; 6—сальники;  
11—маховик; 12—картер; 13—холодильники I ступени;

*Поперечный разрез*



ступенчатого компрессора марки 2P-3/220:

7—штоки; 8—шатуны; 9—коленчатый вал; 10—коренные подшипники;  
14—холодильник III и IV ступеней.

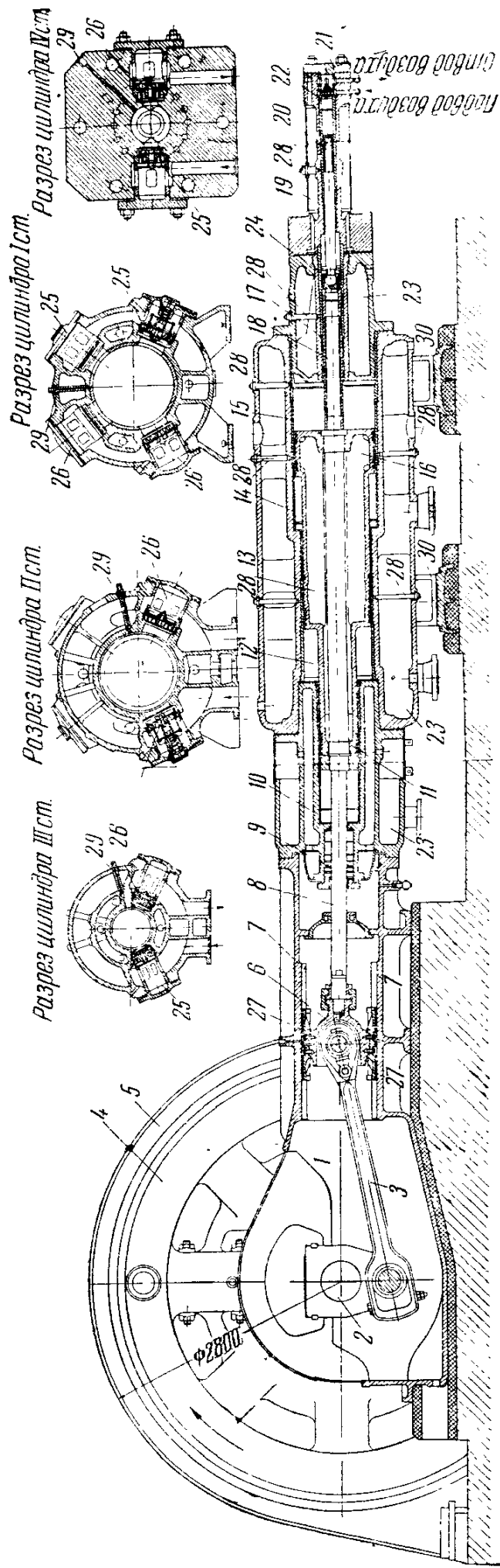


Рис. 48. Разрезы компрессора типа 5Э-14/220:

1—станина; 2—коленчатый вал; 3—шатуны; 4—ротор электромотора (он же служит маховиком); 5—статор мотора; 6—ползуны; 7—параллельные валы; 8—шток; 9—сальник III ступени; 10—цилиндр III ступени; 11—поршень III ступени; 12—цилиндр IV ступени; 13—поршень IV ступени; 14, 15—цилиндр I ступени; 16—поршень I ступени; 17—цилиндр V ступени; 18—поршень V ступени; 19—цилиндр V ступени; 20—поршень V ступени; 21—крышка V ступени; 22—всасывающий и нагнетательный клапаны V ступени; 23—охлаждающие рубашки цилиндров; 24—шарнирное соединение поршней IV и V ступеней; 25—всасывающие клапаны; 26—нагнетательные клапаны; 27—банники; 28—отверстия для подачи смазки; 29—отверстия для индикатора; 30—опоры для цилиндров.

Вал должен быть расположен строго горизонтально и свободно, но без заметной слабину, вращаться в подшипниках. Шкив при вращении не должен давать «биения» или вызывать

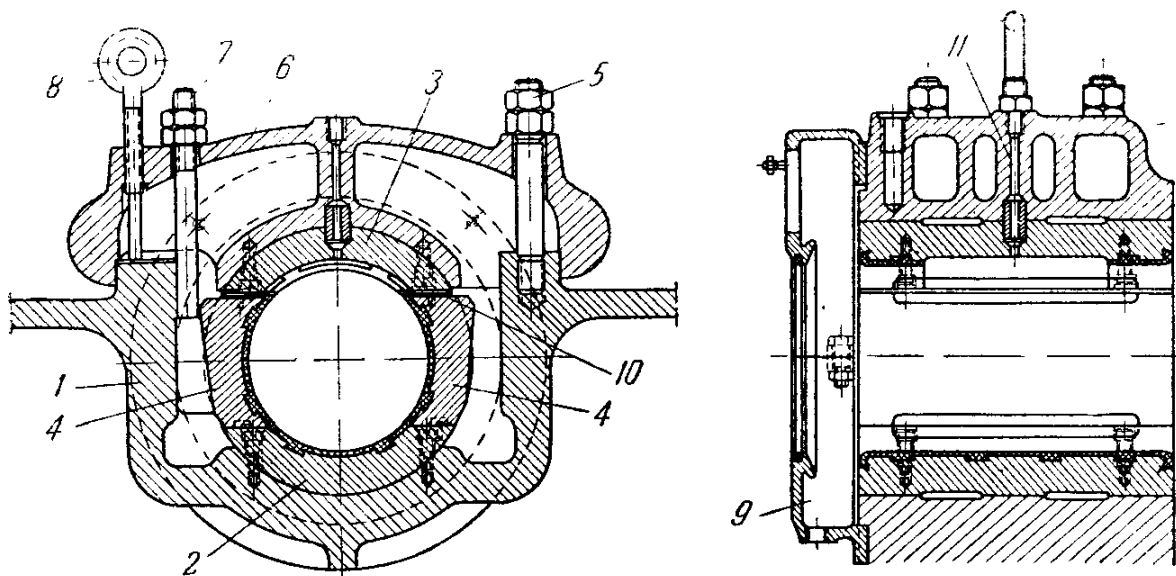


Рис. 49. Разрез коренного подшипника:

1—корпус; 2—нижний вкладыш; 3—верхний вкладыш; 4—боковые вкладыши; 5—шпильки; 6—крышка; 7—болт с клином; 8—рым-болт; 9—маслоуловительная коробка; 10—прокладки; 11—смазочное отверстие.

осевые перемещения вала. Второй конец шатуна соединен с ползуном, к которому крепится шток компрессора. Корпус ползуна изготовляют из стали и к нему привертывают опорные чугунные башмаки, рабочую поверхность которых заливают баббитом.

**Подшипники** компрессора имеют корпуса, отлитые заодно со станиной. На рис. 49 показан разрез коренного подшипника горизонтального многоступенчатого компрессора марки 5Э-14/220. В корпусе 1 подшипника вставлены стальные вкладыши: нижний 2, верхний 3 и два боковых 4. В корпус ввернуты четыре шпильки 5, которыми крепится крышка 6 с укрепленным в ней вкладышем 3. Болт 7 оканчивается внизу клином, с помощью которого регулируется положение бокового вкладыша 4. Рым-болт 8 служит для подъема крышки. Сбоку подшипник имеет маслоуловительную коробку 9. Вкладыши внутренней стороны вылужены и залиты баббитом марки Б-16 или мышьяково-кадмиевым баббитом марки БН. Чтобы баббит прочно держался во вкладыше, последний имеет выточки в виде «ласточкина хвоста». Между верхним и боковыми вкладышами находится набор латунных прокладок 10 для регулировки положения верхнего вкладыша по высоте. После заливки и расточки вкладыши пришабривают к поверхности шейки «по краске». Смазка подается в подшипник через отверстие 11 и распределяется по его поверхности через имеющиеся на ней канавки.

**Поршни** воздушных компрессоров отливают пустотелыми из чугуна марки СЧ-36. В компрессорах высокого давления поршни

имеют ступенчатую форму, соответственно диаметрам цилиндров компрессора. Поршень соединяется со штоком посредством гайки. Для многоступенчатых горизонтальных компрессоров поршни изготовляют составными. Так, например, в компрессоре марки 5Э-14.220 на поршневой шток насажен общий поршень I, II и III ступеней. К нему же присоединен поршень IV ступени, который с помощью специальной шарнирной шаровой головки связан с поршнем V ступени. Это дает возможность поршню IV и V ступеней самоцентрироваться в цилиндрах, независимо от износа цилиндров других ступеней. Диаметры поршней, как правило, меньше диаметров цилиндров на 0,5—1 мм.

**Поршневые кольца** располагаются в канавках, выточенных в теле поршня, и служат для его уплотнения в цилиндре. Поршневые кольца делают разрезными и вытачивают несколько большего диаметра, чем диаметр цилиндра. Вследствие своей упругости кольца стремятся раздаться и плотно прижимаются к внутренней поверхности цилиндра, чем препятствуют пропуску сжимаемого газа в соседнюю полость цилиндра с более низким давлением. Кольца изготовляют из мелкозернистого чугуна.

Число колец в поршне зависит от разности давлений в соседних полостях цилиндра, между которыми устанавливаются кольца:

Разность давлений	Количество колец
до 5 <i>ати</i> . . . . .	2—4
5—10 » . . . . .	3—8
30—120 » . . . . .	6—15
120—350 » . . . . .	12—30

В месте стыка концов кольца образуется так называемый замок (рис. 50). Косой замок типа А ставится для колец небольшого диаметра, а прямой замок—типа Б применяется для колец большого диаметра.

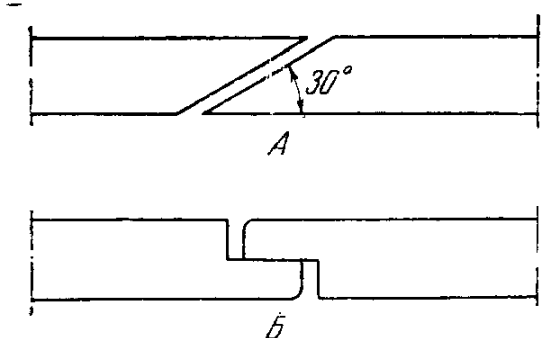


Рис. 50. Типы замков поршневых колец:

А—косой замок; Б—прямой замок.

В вертикальных компрессорах внизу каждого поршня устанавливаются еще маслосбрасывающие кольца, предназначенные для снятия излишка масла с поверхности цилиндра. Маслосбрасывающее кольцо имеет меньшую опорную поверхность, что создает более высокое удельное давление этого кольца на поверхность цилиндра.

Кроме того, в канавке под этим кольцом сделаны отверстия, через которые избыток масла стекает внутрь тела поршня.

В некоторых конструкциях четырехступенчатых компрессоров для поршней III и IV ступеней применяют двойные поршневые кольца, состоящие из трех частей: одного внутреннего стального пружинящего кольца и двух наружных чугунных. Такие кольца



хорошо уплотняют поршень в цилиндре.

В новейших конструкциях компрессоров применяют графитовые составные кольца, не требующие никакой смазки.

**Сальники** устраивают в крышках цилиндра через которые проходит поршневой шток. Они служат для уплотнения штока и препятствуют утечке сжатого газа в атмосферу. В компрессорах высокого давления применяют сальники с металлической набивкой.

На рис. 51 показан разрез сальника III ступени компрессора марки 5Э-14,220. Он состоит из чугунных камер 1, 2, 3 и 4, вставляемых в корпус сальника. В камеры вставлены обоймы 5 и 6. В камерах 1 и 2 обоймы удерживаются пружинками 7, а в камерах 3 и 4—спиральными пружинками 8. В обоймы 5 дополнительно вставлены разрезные обоймы 9 из специального антифрикционного сплава, на поверхности которых укреплены уплотняющие кольца 10 из того же сплава. Обоймы 6 состоят из трех частей каждая и в них вставлены разрезные уплотняющие кольца 11, сделанные из того же сплава, что и кольца 10. Набивка сальника сжимается крышкой 12. Конические кольца 13 и пружинки 8 плотно прижимают уплотняющие кольца к шлифованной поверхности штока, что обуславливает герметичность в местах соприкосновения штока с набивкой. Сальник смазывается цилинд-

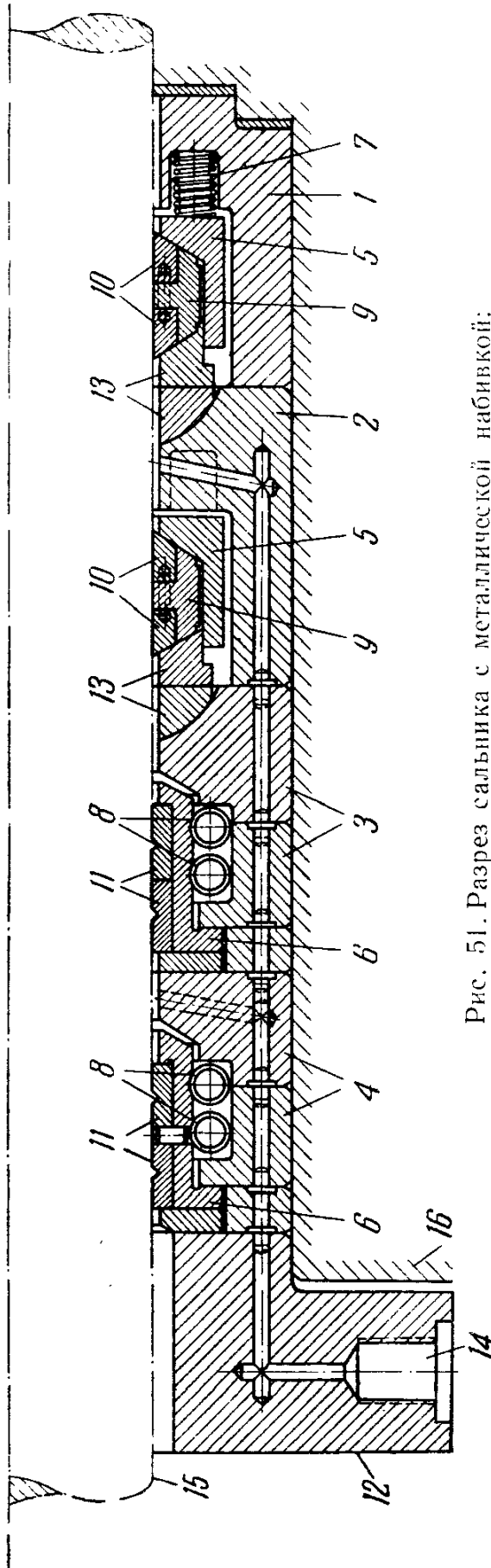


Рис. 51. Разрез сальника с металлической набивкой:

1, 2, 3, 4—кольцевые камеры; 5, 6—обоймы; 7, 8—пружинки; 9—разрезные обоймы; 10, 11—уплотняющие кольца из антифрикционного сплава; 12—крышка сальника; 13—конические набивочные кольца; 14—смазочные каналы; 15—шток; 16—корпус сальника.

ровым маслом, подаваемым под давлением через смазочные каналы 14.

Для уплотняющих обойм и колец применяют сплав, состоящий из 5—7% олова, 78—80% свинца и 13—15% сурьмы.

Рабочие поверхности уплотнительных обойм и колец пришабривают к штоку, а торцы обойм шлифуют.

**Клапаны** служат для периодического соединения рабочего объема цилиндра со всасывающим или нагнетательным трубопроводом.

В компрессорах обычно применяют автоматические пластинчатые клапаны. Принцип работы такого клапана показан на рис. 52. Клапан работает вследствие наличия разности давлений до и после пластины. Когда при всасывании давление после

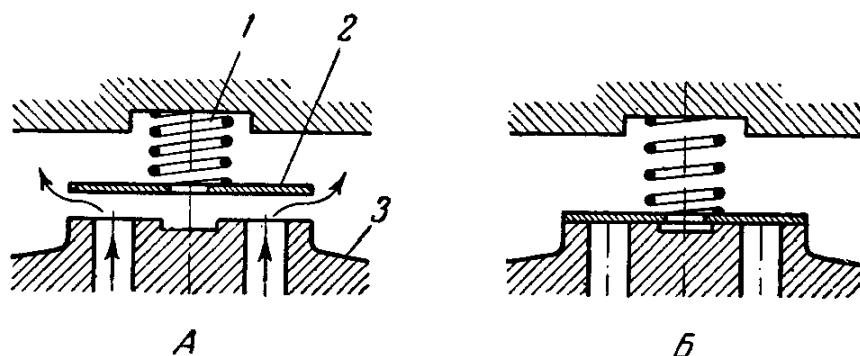


Рис. 52. Схема работы пластинчатого автоматического клапана компрессора:

1—пружина; 2—пластинка; 3—седло клапана; А—клапан открыт; Б—клапан закрыт.

клапана станет меньше давления до клапана, пружина 1 сжимается, пластинка 2 приподнимается и воздух проходит в цилиндр (схема А, рис. 52).

Конструкция клапана изображена на рис. 53. Сверху показан всасывающий клапан, а внизу—нагнетательный. Конструкция их одинакова. Клапан состоит из чугунного седла 1, верхняя поверхность которого отшлифована. Седло имеет кольцевые щели 2, через которые проходит воздух. Щели закрыты тонкой шлифованной пластиной 3, изготовляемой из стали марки Э-10. Под пластиной укреплена чугунная крышка 4, в которую вставлены четыре пружины 5, прижимающие пластину к седлу клапана. Между седлом и крышкой находится дистанционная шайба 6, надетая на шпильку 7 и зажатая гайкой 8 со шплинтом 9. Средняя часть клапанной пластины 3 прижимается к седлу пружинной пластинкой 10.

Для спокойной работы клапана подъем пластины 3 делается небольшим, в пределах 2—4 мм. Пружина клапана, не должна быть слишком жесткой, так как это может вызвать большое сопротивление всасывающего клапана и уменьшить коэффициент подачи компрессора. Толщина клапанной пластинки составляет 1—2 мм. Для уменьшения сопротивления кла-

пана скорость воздуха в нем должна быть не слишком велика и не превышать 20—30 м/сек. Для последних ступеней сжатия часто всасывающий и нагнетательный клапаны объединяют в одном общем корпусе. Такой клапан называется *комбинированным*.

**Холодильники** компрессоров служат для охлаждения воздуха после сжатия его в ступенях компрессора. Обычно холо-

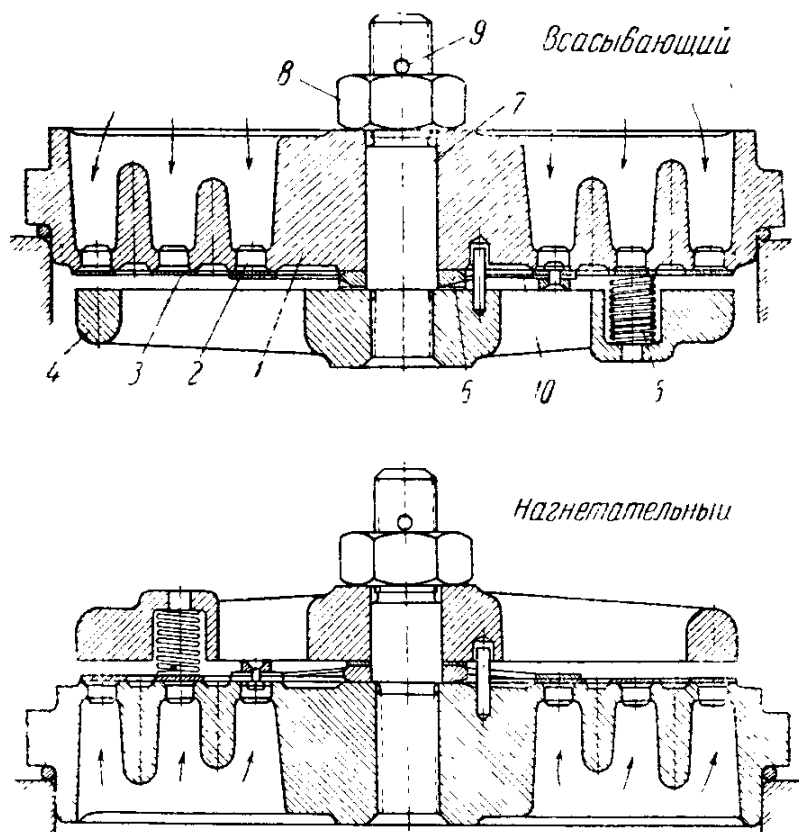


Рис. 53. Разрез клапана:

1—седло; 2—кольцевые щели; 3—клапанная пластина; 4—крышка; 5—пружины; 6—дистанционная шайба; 7—шпилька; 8—гайка; 9—шплинт; 10—пружинная пластинка.

дильники I и II ступеней изготавливаются трубчатыми. В них воздух идет между трубками, а вода—в трубках. Схема трубчатого холодильника изображена на рис. 54. Стальные трубки 1 завальцованы по концам в стальные трубные решетки 2. Между трубками установлены перегородки 3 для удлинения пути охлаждаемого воздуха. Одну из трубных решеток (на схеме рис. 54—правую) делают подвижной, чтобы дать ей возможность перемещаться вследствие неодинакового удлинения трубок и кожуха от нагревания во время работы холодильника

Вход и выход воздуха и воды в холодильнике указаны на схеме стрелками.

Холодильники высокого давления для III, IV и V ступеней делают змеевикового типа или типа «труба в трубе». На рис. 55 показана конструкция холодильника змеевикового типа. Сжатый

воздух идет по змеевику 1 из цельнотянутой стальной или медной трубы.

Змеевик помещен в резервуар 2, внутри которого находится цилиндр 3. Для предохранения змеевика от вибрации его прикрепляют хомутами к деревянным распоркам. Воздух входит в змеевик сверху, а вода в резервуар—снизу.

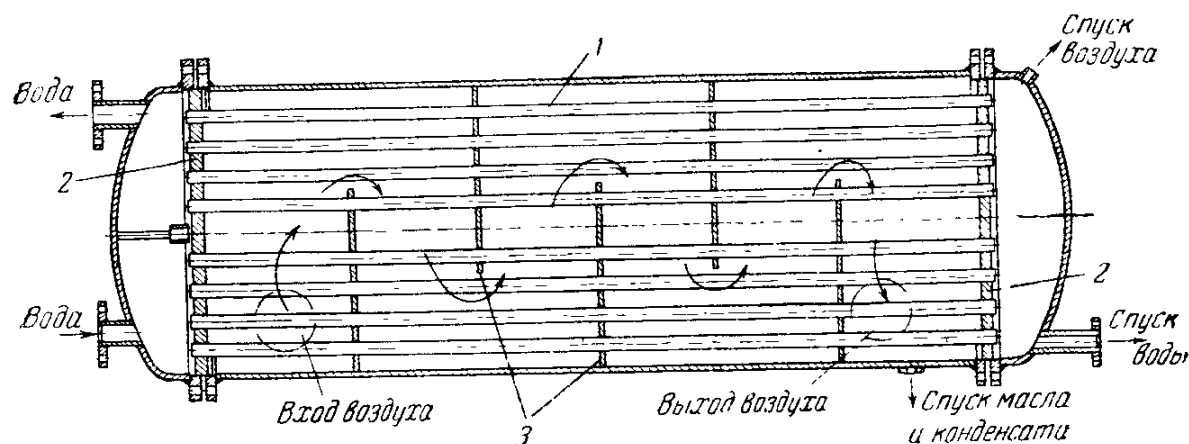


Рис. 54. Схема трубчатого холодильника:

1—трубки; 2—трубные решетки; 3—перегородки.

Холодильник типа «труба в трубе» (рис. 56) изготовляют из стальных цельнотянутых труб. По внутренней трубе 1 идет воздух, а в пространстве между внутренней и наружной трубой 2 проходит охлаждающая вода. Водяное пространство уплотняется с обеих концов наружной трубы с помощью сальников 3 с резиновой набивкой 4. Трубы, по которым идет воздух, соединяются между собой коленами на фланцах. Недостатком этой конструкции холодильника является затруднительность чистки водяного пространства.

Во всех холодильниках для лучшего использования их поверхности применяется принцип «противотока» между охлаждающей водой и охлаждаемым воздухом.

Чтобы улучшить теплопередачу между воздухом и водой, поверхность холодильников систематически очищают от накипи, нагара и прочих загрязнений. Чем лучше работают холодильники, тем меньшая мощность затрачивается на сжатие воздуха в компрессоре.

Степень охлаждения воздуха в холодильнике зависит не только от его поверхности, но также от температуры охлаждающей воды и скорости протекания воздуха. Охлаждение будет тем лучше, чем ниже температура воды и чем больше скорость прохождения воздуха. Однако чрезмерно увеличивать скорость воздуха нельзя, так как при этом сильно возрастает сопротивление в холодильнике, на преодоление которого должна будет затрачиваться дополнительная энергия. Практически в холодильниках воздух охлаждается до температуры, на 10—15° превышающей температуру воздуха при всасывании его в компрессор.

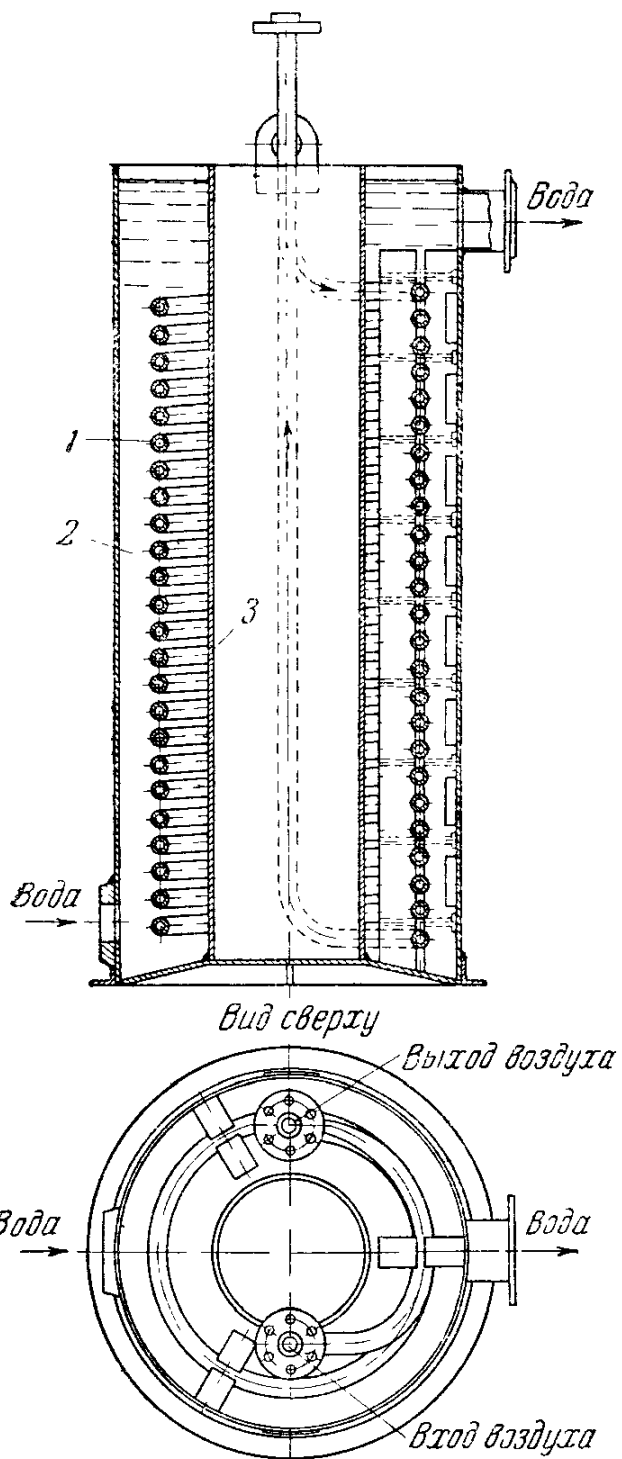


Рис. 55. Холодильник змеевикового типа:  
 1—змеевик; 2—резервуар; 3—внутренний  
 цилиндр.

Очистку холодильников производят 1—2 раза в год. Удаление накипи из трубок производят механическим путем специальными скребками, проволочными «ершами» и прочими приспособлениями или промывкой разбавленным раствором соляной кислоты (1 часть кислоты на 3 части воды). Нагар удаляют также скребками и промывкой керосином или бензином.

При плохой работе холодильника воздух в нем охлаждается недостаточно. Это может привести к более сильному нагреванию воздуха в последующих ступенях сжатия, вызвать усиленное отложение нагара в клапанных коробках и трубопроводах компрессора, вспышку паров масла в компрессоре и даже взрыв холодильника.

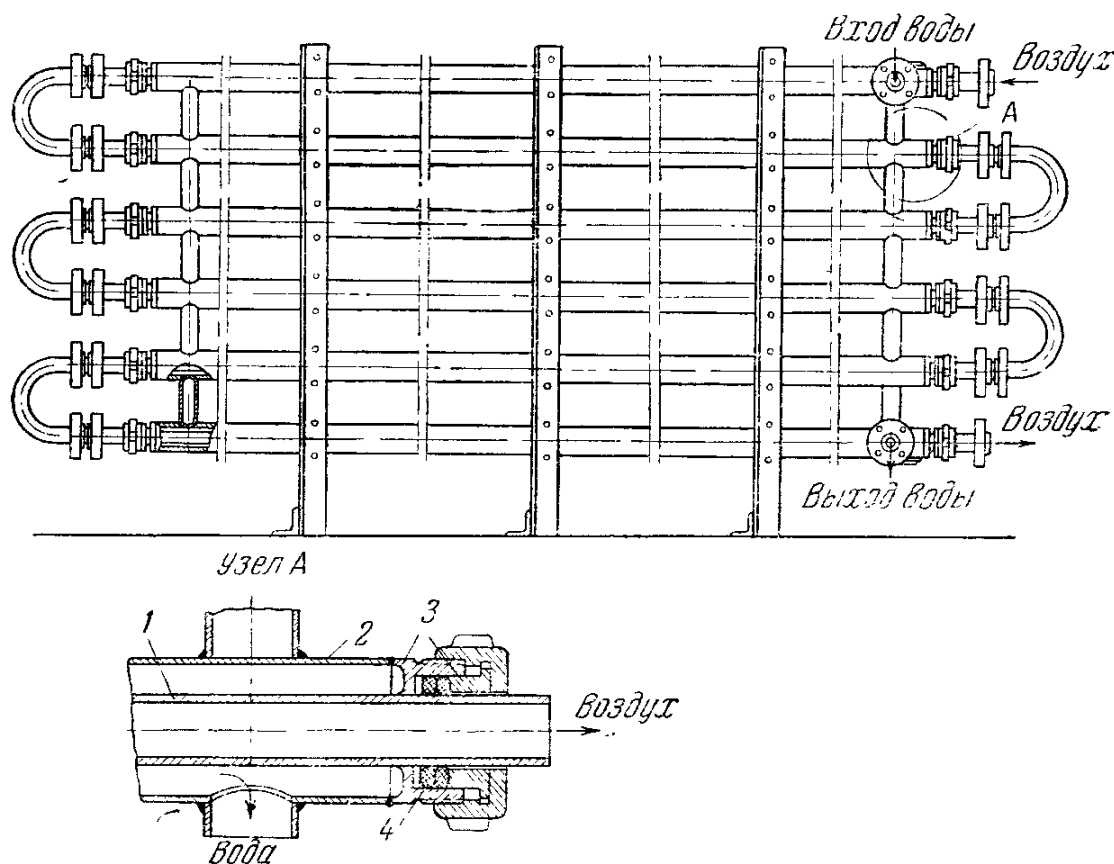


Рис. 56. Холодильник типа «руба в трубе»:

1—воздушная труба; 2—водная труба; 3—сальники; 4—резиновая набивка.

**Электродвигатели.** В качестве привода компрессоров применяют электродвигатели переменного трехфазного тока. Для крупных компрессоров, у которых мощность двигателя превышает 200 квт, используют высоковольтные двигатели напряжением 6000 в.

Двигатель состоит из двух основных частей: неподвижной, называемой статором, и вращающейся, называемой ротором. В статоре расположены электромагниты с обмотками и подшипники вала ротора. Ротор представляет собой железный сердечник с продольными пазами, в которых уложена обмотка, соединенная:

с тремя контактными кольцами, укрепленными на одном конце вала. К кольцам через скользящие башмаки (щетки) подключены провода от пускового реостата. Переменный ток от сети подводится в обмотку статора и образует вокруг нее вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с магнитным полем ротора, вращает последний. Вал электродвигателя имеет шкив, передающий посредством приводного ремня вращение маховику компрессора. Приводные ремни бывают плоские (из кожи, прорезиненной ткани) и клиновидные. Последние изготовляют из резины с тканевыми прокладками.

Для современных конструкций компрессоров в большинстве случаев применяют клиновидные ремни, так как они почти не дают скольжения и позволяют устанавливать двигатель очень близко к компрессору, что делает установку более компактной. Для привода крупных компрессоров применяют также специальные тихоходные, так называемые синхронные электродвигатели. Ротор такого двигателя насаживается непосредственно на коленчатый вал компрессора и одновременно является маховиком. Такой двигатель имеет, например, воздушный компрессор марки 5Э-14/220. В некоторых компрессорах двигатель соединяется с валом при помощи муфты через зубчатую передачу (редуктор), понижающую число оборотов до требуемой величины. Приводы этих типов более удобны в эксплуатации, чем ременные передачи, так как отпадает необходимость переклейки и смены ремней.

### 3. СМАЗКА КОМПРЕССОРОВ

Для уменьшения трения в движущихся частях компрессора последние подвергают смазке. Соблюдение правильного режима смазки имеет огромное значение для нормальной и безаварийной работы компрессора. Избыток смазки так же вреден, как и недостаток ее. При слишком обильной смазке цилиндров компрессора излишек масла отлагается на клапанах компрессора, стенках холодильников и других местах, где под влиянием высокой температуры сжатия подвергается окислению и образует нагар. Нагарообразование может в свою очередь способствовать дальнейшему повышению температуры сжатия в компрессоре, что иногда приводит к взрывам паров масла в холодильниках и разрушению последних. При недостатке смазки или ее загрязнении имеет место повышенный нагрев трущихся частей компрессора, приводящий к образованию задиров на рабочих поверхностях цилиндров, расплавлению заливки вкладышей подшипников и остановке компрессора на длительный ремонт.

Каждый компрессор имеет обычно две отдельные системы смазки: одну для шатунно-кривошипного механизма и вторую для цилиндров и сальников. В том и другом случае смазка обычно производится под давлением, и масло подается к смазываемым поверхностям с помощью специальных насосов.

На рис. 57 показана схема смазки шатунно-кривошипного механизма вертикального компрессора марки ЗР-7,220. Сборником масла является картер компрессора. Картер наполняется маслом через воронку 1, откуда через приемный клапан 2 ручным шестеренчатым насосом 3 подается через фильтр 4 в коллектор 5. Из коллектора масло распределяется по трубкам к коренным подшипникам 6 коленчатого вала и к параллелям 7 ползунув. Насос 3 служит для прокачки масла перед пуском компрессора. Во время работы масло подается вторым шестеренчатым насосом 8, приводимым в движение от коленчатого вала компрессора. Этот насос также засасывает масло из картера компрессора. Давление масла в системе указывается манометром 9 и должно составлять 1,5—2 *ати*. Отработанное масло стекает обратно в картер, где отстаивается и охлаждается.

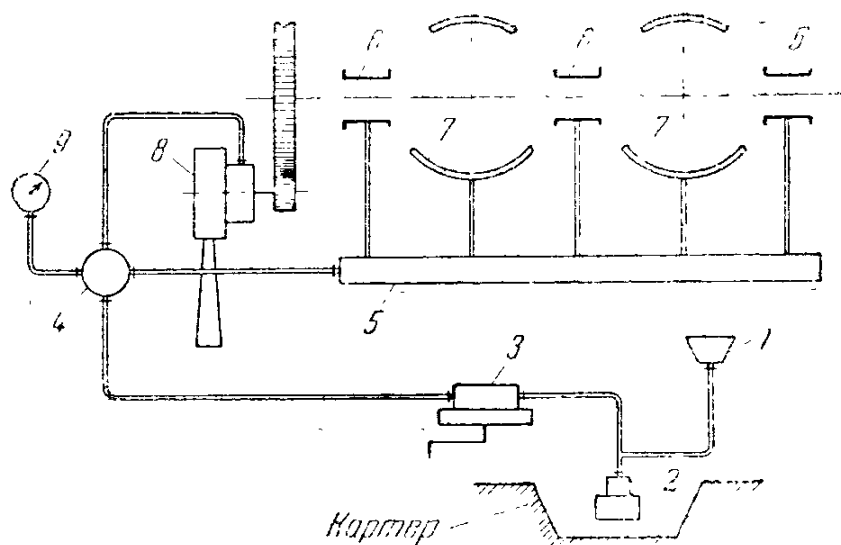


Рис. 57. Схема смазки шатунно-кривошипного механизма компрессора:

1—воронка; 2—приемный клапан; 3—ручной шестеренчатый насос; 4—фильтр; 5—коллектор; 6—коренные подшипники; 7—параллели; 8—приводной шестеренчатый насос; 9—манометр.

В ряде случаев для отстоя и охлаждения масла применяют специальный масляный бак (рис. 58), состоящий из двух камер, разделенных вертикальной фильтрующей сеткой 1. В верхней части первой (грязной) камеры бака имеется несколько цилиндрических сеток 2 для фильтрации поступающего отработанного масла. Первые по ходу масла сетки имеют более крупные ячейки размером 2 *мм*, а последующие—более мелкие, размером 0,5 *мм*. Во второй камере (чистой) помещен змеевик 3, по которому циркулирует вода, охлаждающая масло. Сверху бак закрывается плотной крышкой 4. Для наблюдения за уровнем масла в баке имеется масломерное стекло 5. Для смазки шатунно-кривошипного механизма применяют машинное масло марки Л или С (см. гл. III, стр. 51).



Смазка цилиндров и сальников компрессора производится путем подачи масла по трубкам под давлением непосредственно на рабочие поверхности цилиндров и сальников. В качестве примера на рис. 59 показана одна из схем смазки. В цилиндры I и II ступеней смазка подается от масляного насоса 1 низкого давления, а в цилиндры III, IV и V ступеней и сальник III ступени—от масляного насоса 2 высокого давления. На маслопроводах перед присоединением их к цилиндрам установлены обратные клапаны 3.

На рис. 60 показан в разрезе масляный насос высокого давления (дубликатор). Он состоит из заполненного маслом резервуара 1, плунжера 2 и корпуса 3. Плунжер движется от кулачкового вала 4, кривошип 5 которого входит в вилку 6. При подъеме плунжера масло поступает в отверстие 7 и выдавливается через клапан 8 в канал 9 и коробку 10. Пройдя через сетку 11, масло по каналу 12 поступает под второй плунжер 13, которым через клапан 14 выдавливается в трубку 15, ведущую

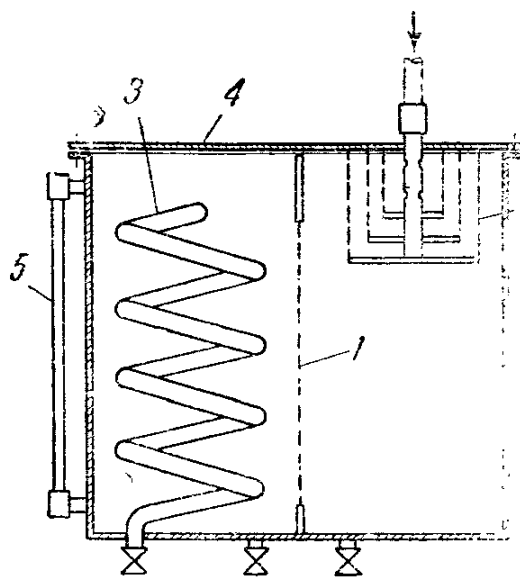


Рис. 58. Схема бака для фильтрации и отстоя масла:

1—фильтрующая сетка; 2—цилиндрический приемный фильтр; 3—охлаждающий змеевик; 4—кривошип; 5—масломерное стекло.

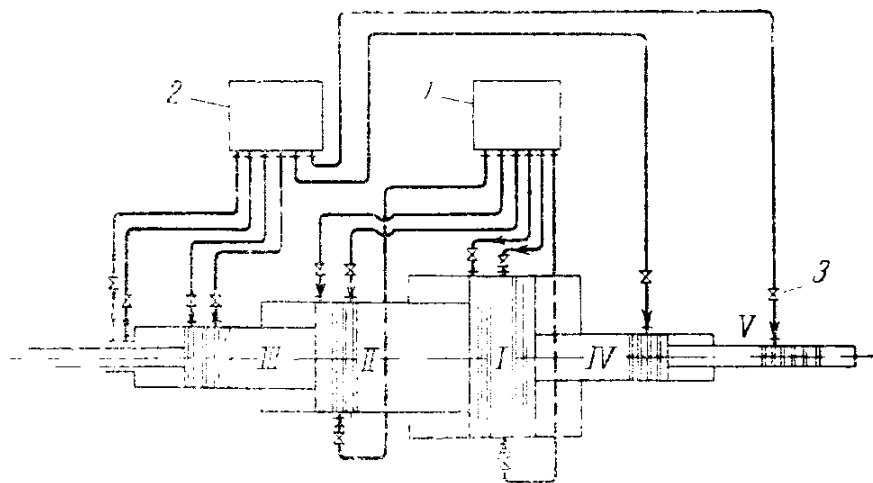


Рис. 59. Схема смазки цилиндров компрессора:

1, 2—масляные насосы низкого и высокого давления; 3—обратные клапаны; I—V—ступени компрессора.

к смазываемому месту. Кулачковый вал приводится во вращение рычажком, соединенным с шатунно-кривошипным механизмом компрессора. При пуске можно прокачивать насос от руки. Число корпусов и плунжеров соответствует числу смазываемых точек.

На каждую точку имеется отдельный комплект корпусов и плунжеров.

Для контроля за уровнем масла в резервуаре 1 установлено масломерное стекло 16.

Смазку цилиндров и сальников можно производить только специальным компрессорным маслом, марки которого были указаны в гл. III. Это масло отличается высокой устойчивостью против окисления и малой склонностью к нагарообразованию. Подача масла регулируется изменением хода плунжеров насоса

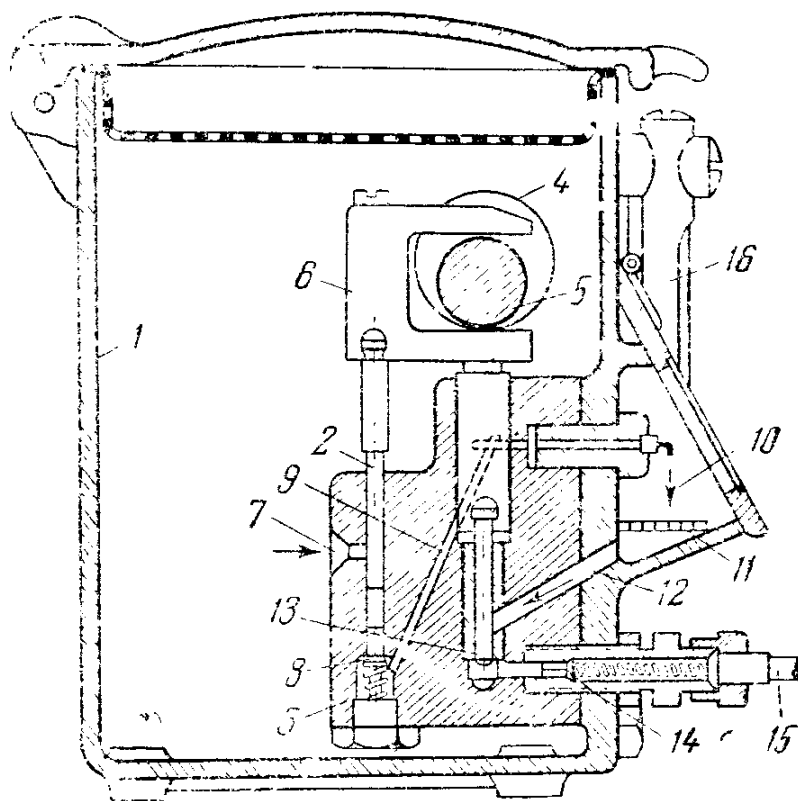


Рис. 60. Масляный насос высокой давления:

1—масляный резервуар; 2, 13—плунжеры; 3—корпус;  
4—кулачковый вал; 5—кривошип; 6—вилка; 7—отвер-  
стие для подачи масла; 8, 11—клапаны; 9, 12—каналы;  
10—коробка; 11—сетка; 15—трубка; 16—масломерное  
стекло.

с помощью соответствующей установки винта—толкателя или изменением числа оборотов вала насоса путем перестановки на соответствующее отверстие рычага, служащего для привода насоса от шатунно-кривошипного механизма.

Примерные нормы подачи масла в цилиндры компрессора приведены в табл. 10.

В насос периодически доливают масло, тщательно предохраняя его от возможности попадания всяких загрязнений. Промывку насоса, а также промывку и продувку маслопроводов производят не реже 1 раза в шесть месяцев.

## Нормы подачи масла в цилиндры компрессора

Тип компрессора	Нормы подачи, г/час						
	I ступень	II ступень	III ступень	IV ступень	V ступень	сальник	итого
Вертикальный марки 2Р-3/220 . . . . .	40	25	15	10	—	—	90
Горизонтальный марки 5Э-14/220 . . . . .	85	70	40	30	15	80	320

## 4. ТУРБОКОМПРЕССОРЫ

Для сжатия больших количеств воздуха (свыше  $6000 \text{ м}^3/\text{час}$ ) до небольших давлений порядка 5—6 *ати* целесообразно применять не поршневые компрессоры, а турбокомпрессоры. В турбокомпрессоре сжатие воздуха осуществляется с помощью лопаток вращающегося колеса.

Турбокомпрессор надежен в работе, очень просто обслуживается, производит непрерывную и равномерную подачу газа. Сжатый в турбокомпрессоре воздух не загрязнен парами масла. Обычно турбокомпрессор приводится во вращение от электродвигателя или паровой турбины, имеет очень компактную конструкцию и занимает значительно меньше места, чем поршневые компрессоры соответствующей производительности.

Ротор турбокомпрессора состоит из ряда колес с лопатками. Колеса насажены на общий вал. На рис. 61 показан разрез рабочего колеса вместе с частью корпуса компрессора. Рабочее колесо 1 вращается около неподвижного направляющего аппарата (диффузора) 2, также снабженного лопатками. Направление вращения колеса указано на рисунке стрелками. Каналы 3 служат для соединения направляющего аппарата с рабочим колесом следующей ступени сжатия. При вращении рабочего колеса воздух засасывается в центральную часть колеса и движется от центра к окружности. При этом скорость воздуха увеличивается, достигая своего наибольшего значения на окружности колеса. С этой скоростью поток воздуха входит в расширяющиеся каналы между лопатками направляющего аппарата, где скорость воздуха падает, а давление его, наоборот, повышается. Сжатый в первом колесе воздух переходит по соединительному каналу в следующее рабочее колесо, где сжимается до более высокого давления. Таким образом воздух последовательно проходит весь ряд рабочих колес турбокомпрессора, в каждом из них повышая свое давление на некоторую величину.

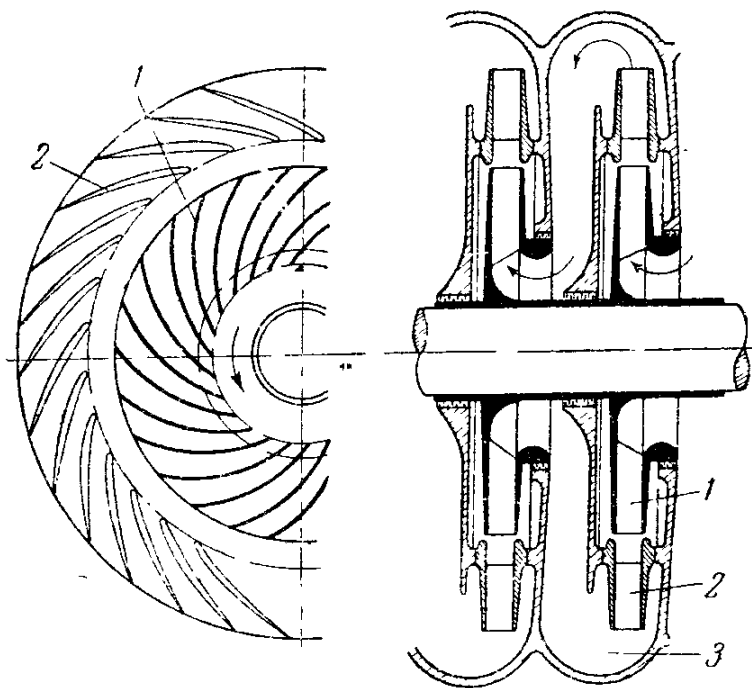


Рис. 61. Разрез рабочего колеса турбокомпрессора.  
 1—рабочее колесо; 2—направляющий аппарат; 3—соединительные каналы.

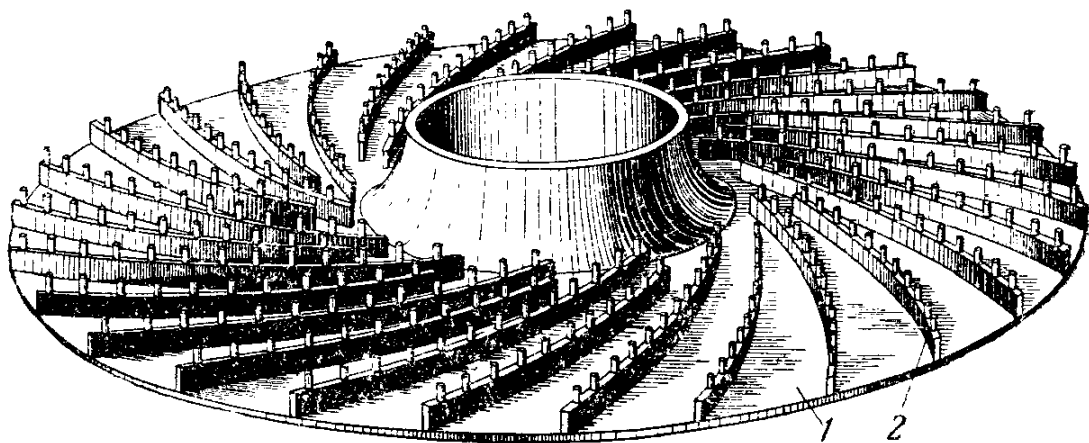


Рис. 62. Рабочее колесо ротора турбокомпрессора:  
 1—основной диск; 2—лопатки.

Рабочие колеса турбокомпрессора изготавливают из легированной высокопрочной стали. К заднему диску колеса на шипах прикреплены лопатки из стали или дуралюмина, имеющие соответствующий изгиб (рис. 62). Сверху колеса устанавливают второй так называемый покрывной диск (на рисунке не показан), в котором расклепывают шипы лопаток.

Некоторые новые типы турбокомпрессоров, разработанные советскими конструкторами, не имеют направляющих аппаратов (диффузоров) с установленными на них лопатками. Вместо них применяют спиралеобразные отводы, посредством которых поток воздуха плавно проходит из одного колеса в другое. Подобную конструкцию обычно используют для турбокомпрессоров, работающих с большими числами оборотов ротора.

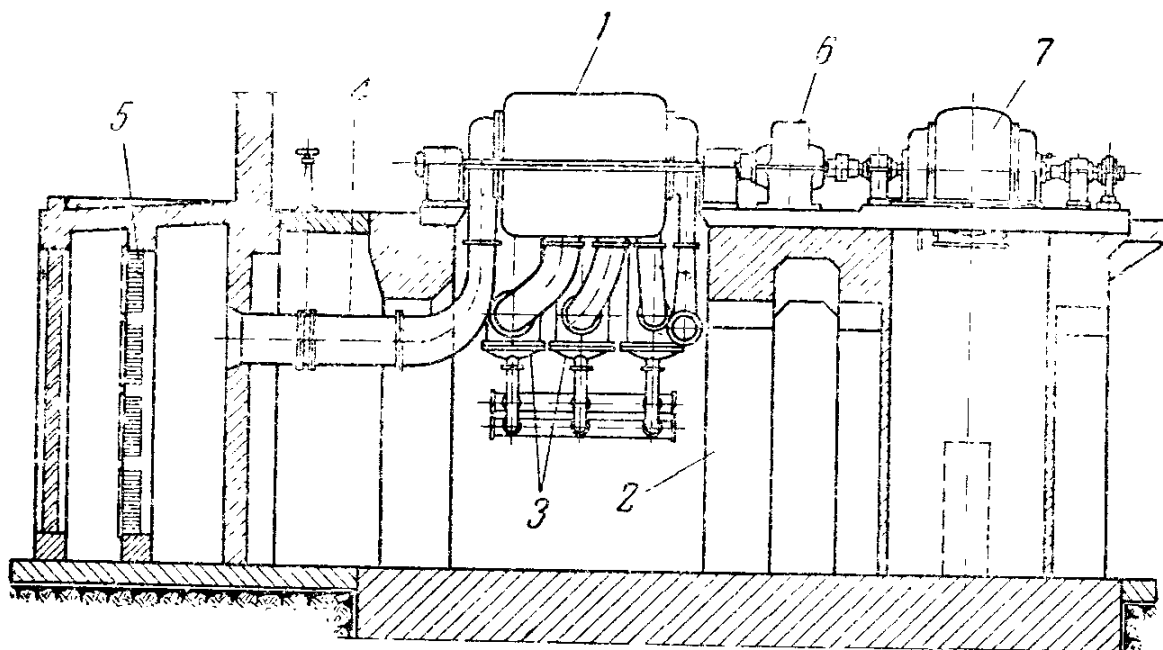


Рис. 63. Установка турбокомпрессорного агрегата:

1—турбокомпрессор; 2—фундамент; 3—промежуточные холодильники; 4—всасывающая труба; 5—воздушный фильтр; 6—редуктор; 7—электродвигатель.

На рис. 63 изображена установка турбокомпрессорного агрегата. Турбокомпрессор 1 устанавливается на фундаменте 2, выполненном из железобетона. Под корпусом турбокомпрессора, ниже уровня пола или сбоку, устанавливаются промежуточные холодильники 3, в которых воздух охлаждается, пройдя несколько ступеней сжатия (рабочих колес). Воздух засасывается через трубу 4 и воздушный фильтр 5. Турбокомпрессор приводится в движение от электродвигателя 7 через шестеренчатый редуктор 6.

На рис. 64 приведена общая схема турбокомпрессорного агрегата и его основных коммуникаций.

Турбокомпрессор требует только смазки подшипников и шестерен редуктора. Для смазки применяют специальные турбинные масла, марки которых указаны в гл. III. Смазка ко всем точкам подается шестеренчатым маслонасосом под давлением

0,8—1 *ати*. Для смазки во время пуска турбокомпрессора применяют особый (пусковой) маслонасос, приводимый во вращение небольшим электродвигателем.

Непрерывная подача масла под требуемым давлением очень важна для безаварийной работы турбокомпрессора. Если по каким-либо причинам подача смазки к подшипникам прекратится хотя бы на короткое время, то может произойти расплавление заливки вкладышей подшипников и авария турбокомпрессора.

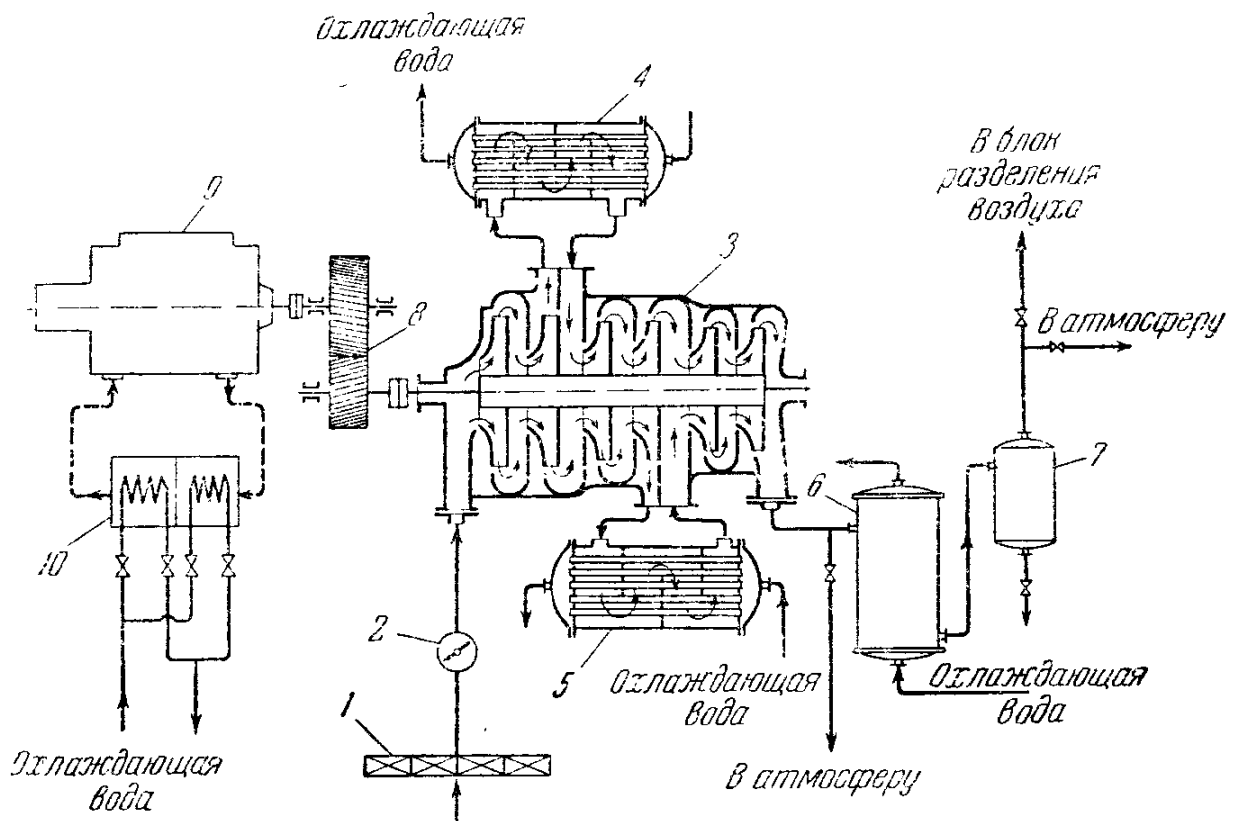


Рис. 64. Схема турбокомпрессорного агрегата:

1—воздушный фильтр; 2—расширительная заслонка; 3—турбокомпрессор; 4—холодильник первой группы колес; 5—холодильник второй группы колес; 6—холодильник третьей группы колес (концевой); 7—водоотделитель; 8—редуктор; 9—электродвигатель; 10—холодильник воздушной системы охлаждения электродвигателя.

Поэтому последний всегда имеет автоматическое устройство, выключающее электродвигатель и останавливающее турбокомпрессор в том случае, если давление масла в системе упадет до 0,3 *ати*.

Масло из масляного бака забирается шестеренчатым маслонасосом и через распределитель и масляный холодильник поступает в подшипники. Прошедшее подшипник и нагревшееся в нем масло поступает в маслобункеры, имеющиеся в подшипниках, и затем самотеком сливается снова в бак. Емкость маслосистемы турбокомпрессора должна быть большой, чтобы циркуляция масла в системе была достаточной для отвода всего тепла, выделяющегося от трения в подшипниках. Чем больше емкость бака, тем

лучше отстаивается в нем масло. Температура масла после холодильника должна быть не ниже 20°C и не выше 40—45°C. В подшипниках масло не должно нагреваться выше 55—60°C, так как при более высокой температуре оно начинает быстро окисляться и становится непригодным для смазки. Особенно вредно попадание масла в воду. Поэтому необходимо тщательно следить за отсутствием малейших пропусков воды в масляном холодильнике и немедленно принимать меры к их устранению. Если в масло попала вода или в маслосистеме обнаружены отложения грязи и смолистых веществ, то масло необходимо слить, произвести очистку всей маслосистемы и наполнить ее свежим маслом.

## 5. ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Обслуживание поршневых воздушных компрессоров должно производиться в следующем порядке.

**Подготовка к пуску.** При подготовке компрессора к пуску машинист должен:

1. Проверить надежность крепления всех движущихся частей компрессора, коренных подшипников, а также крепление компрессора на фундаменте и крепление маховика.
2. Убедиться в отсутствии на приводном ремне расклеившихся и рваных мест, разрывов и пр.
3. Открыть продувочные вентили:
  - а) маслоотделителей воздушного компрессора;
  - б) осушительной батареи;
  - в) водоотделителей у декарбонизатора.
4. Открыть обводный вентиль декарбонизатора и вентили манометров.
5. Проверить уровень раствора в декарбонизаторе, открыв контрольный вентиль. Убедиться, что декарбонизатор наполнен щелочным раствором.
6. Пустить охлаждающую воду в рубашки цилиндров и в холодильники и убедиться в достаточном поступлении воды ко всем охлаждаемым частям компрессора.
7. Проверить уровень смазочного масла в резервуарах сборников и масляных насосах высокого давления.
8. Проверить исправность смазочных механизмов, для чего необходимо прокачать масляный насос вручную и проверить, поступает ли масло к каждой точке смазки. Проверку производят, открывая контрольные краны на обратных клапанах маслопроводов.
9. Повернуть вручную на 1—2 оборота маховик компрессора и убедиться, что ходу поршня и вращению маховика ничто не мешает.
10. Убрать все посторонние предметы от машины, обтереть компрессор и пол около него.
11. Проверить, опущены ли щетки электродвигателя на контактные кольца и включено ли сопротивление пускового реостата.

12. Проверить показания электроизмерительных приборов.

13. Отжать всасывающие клапаны I ступени компрессора вручную или с помощью отжимного приспособления, если оно имеется.

**Пуск.** Производя пуск компрессора, необходимо:

1. Предупредить об этом аппаратчика и всех находящихся в цехе и, убедившись, что около движущихся частей компрессора никого нет, включить электродвигатель.

2. При наличии сдруббера и щелочного насоса пустить последний в ход.

3. Когда вал компрессора получит нормальное число оборотов, необходимо проделать следующее:

а) проверить действие масляных насосов и других смазочных приспособлений и отрегулировать подачу масла; насос при пуске компрессора должен создавать давление масла 1,5—4 *атм*. Приоткрыть перепускной ventиль масляного насоса, поддерживая давление масла не выше 4 *атм*. Когда масло разогреется, прикрыть перепускной ventиль;

б) убедиться в отсутствии пропусков в маслопроводах и проверить подачу масла к соответствующим частям компрессора;

в) убедиться в отсутствии стука в шатунно-кривошипном механизме, цилиндрах и подшипниках.

4. Только убедившись в исправном действии масляной и охлаждающей систем и отсутствии стуков в машине, можно начать нагружать компрессор, выключив отжимное приспособление всасывающих клапанов и закрывая последовательно по ходу воздуха продувочные ventили маслостделителей (начиная с I ступени), продувочные ventили водоотделителей у декарбонизаторов и продувочные ventили осушительной батареи.

5. После закрытия всех продувочных ventилей, когда давление в ступени компрессора после декарбонизатора будет выше, чем в ступени до декарбонизатора, надо начать медленно закрывать обходной ventиль декарбонизатора и сообщить аппаратчику, что компрессор готов к эксплуатации.

6. Подачу воздуха от воздушных компрессоров, работающих на поддув, включать тогда, когда конечное давление сжатия в них будет равняться конечному давлению сжатия в соответствующей ступени основного нормально работающего компрессора.

**Обслуживание во время работы.** При обслуживании воздушного компрессора при установленном режиме необходимо:

1. Следить за нормальным действием смазочных механизмов и своевременно добавлять масло в масляные насосы, маслянки и подшипники. Давление масла после шестеренчатого масляного насоса не должно превышать 1,5—2 *атм*, в противном случае следует отрегулировать подающий клапан. Масло в циркуляционной системе нужно менять через каждые 2000—2500 час. работы, а в новых компрессорах еще чаще.



2. Следить, не нагреваются ли параллели, пальцы ползунов, подшипники шатунов, коренные и выносные подшипники. Обращать особое внимание на работу подшипников, имеющих кольцевую смазку, проверяя вращение колец и температуру подшипников.

3. Не допускать нагревания трущихся частей компрессора выше  $60^{\circ}\text{C}$ . В случае более высокого нагрева этих частей немедленно остановить компрессор, установить причину нагревания и устранить ее. Следить за температурой электродвигателя и его подшипников. Температура отходящего масла не должна превышать  $50^{\circ}\text{C}$ .

4. Замерять температуру сжатия воздуха в цилиндрах компрессора. В случае повышения температуры сжатия в какой-либо ступени компрессора выше  $190^{\circ}\text{C}$  надо проверить подачу и температуру охлаждающей воды, а также давление по ступеням компрессора. Если снизить температуру сжатия путем увеличения количества подаваемой охлаждающей воды невозможно, то необходимо остановить компрессор и проверить всасывающий клапан следующей ступени и состояние холодильника предыдущей ступени. Следить за подачей в компрессор охлаждающей воды, проверяя ее температуру через каждые 30 мин. При нормальной работе холодильников разность температур выходящего воздуха и поступающей воды не должна превышать  $5^{\circ}$ .

5. Следить за давлением в цилиндрах компрессора. При отклонении давления от нормальной величины необходимо остановить компрессор и проверить соответствующие клапаны и в крайнем случае уплотняющие кольца цилиндров. Работу компрессора с неисправными клапанами как опасную и неэкономичную допускать нельзя.

6. Наблюдать за состоянием ременной передачи и предохранять ремень от загрязнения маслом, водой и пылью. Не допускать сильного проскальзывания ремня, для чего увеличить нагрузку натяжного ролика или, остановив компрессор, передвинуть двигатель при помощи салазок. При отсутствии салазок и натяжного ролика остановить компрессор и произвести переклейку ремня.

7. Следить за исправным состоянием предохранительных клапанов компрессора и продувать их не реже одного раза в смену.

8. Регулярно продувать масло- и водоотделители, так как переполнение их жидкостью нарушает нормальную работу компрессора и может привести к его аварии. Продолжительность продувки не должна превышать нескольких секунд. Окончание продувки определяется на слух по шуму, который резко изменяется, как только из трубки перестает идти вода и начинает выходить воздух.

Наиболее часто следует продувать масло-водоотделитель I и II ступеней.

**Остановка компрессора.** Прежде чем остановить компрессор, необходимо открыть обходный клапан декарбонизатора и все предохранительные клапаны осушительной батареи и маслоотделителей компрессора. Только после этого можно выключить электродвигатель.

Сразу же после остановки компрессора надо проверить на ощупь все движущиеся части и подшипники для определения степени их нагрева, закрыть подачу охлаждающей воды, проверить состояние приводного ремня, выключить щелочной насос и протереть весь компрессор.

В случае необходимости срочной (аварийной) остановки компрессора нужно выключить электродвигатель и немедленно открыть все предохранительные клапаны спуска давления.

**Неполадки в работе компрессора.** Неправильное распределение давления между отдельными цилиндрами (ступенями) компрессора. Повышение степени сжатия в цилиндре называется перегрузом, а понижение—недогрузом. Степень сжатия в каждом цилиндре компрессора зависит от работы предыдущих и последующих цилиндров.

Ниже приведены наиболее характерные признаки, указывающие на нарушения правильности распределения давлений по ступеням компрессора, а также причины, вызывающие эти нарушения.

1. Степень сжатия I ступени понижается, а последующих—повышается. Сопутствующими признаками являются падение производительности компрессора и нагрев всасывающей трубы. Причина—пропуск во всасывающем клапане I ступени, вследствие которого часть газа уходит в атмосферу, и следовательно, газ, поступающий во II и последующие ступени, имеет меньшее давление.

2. При том же изменении степени сжатия, а также падении производительности компрессора наблюдается повышение температуры газа после I ступени. Причина—пропуск в нагнетательном клапане I ступени, вследствие чего в цилиндр I ступени воздух поступает не только из атмосферы, но и из нагнетательного трубопровода между I и II ступенями.

3. Помимо падения производительности компрессора и указанного выше изменения степени сжатия, наблюдается выход газа через сапун картера. Причина—негерметичность поршневых колец цилиндра I ступени.

4. Степени сжатия воздуха незначительно изменяются во всех ступенях компрессора и постепенно возрастают. Это сопровождается также падением производительности компрессора. Причина—пропуск в поршневых кольцах цилиндра последней или промежуточной ступени компрессора.

5. Степень сжатия в одной из ступеней компрессора понижается, а в предыдущей—повышается. При этом производительность компрессора не изменяется, но наблюдается нагрев всасываю-

щей трубы. Причина—негерметичность всасывающего клапана той ступени, в которой степень сжатия понижается.

6. При тех же изменениях степени сжатия и без понижения производительности компрессора наблюдается повышение температуры за цилиндром той ступени, в которой степень сжатия понизилась. Причина—пропуск в нагнетательном клапане ступени, где степень сжатия понижается, так как в цилиндр этой ступени поступает не только нормально засасываемый воздух, но и воздух, проникающий через негерметичный нагнетательный клапан.

Для того чтобы легче определить причину неправильного распределения давления между цилиндрами компрессора, можно также пользоваться следующими положениями:

1. Перегруз, возникающий вследствие неисправности поршневых колец, в отличие от перегруза, вызываемого неисправностью клапанов, обычно не велик и возрастает постепенно, иногда в течение нескольких недель.

2. При пропуске всасывающего клапана наблюдается нагревание всасывающей трубы или крышки клапана, так как через негерметичный клапан обратно в трубу выталкивается горячий сжатый воздух.

3. При пропуске нагнетательного клапана повышается температура в конце сжатия, что легко заметить по показаниям термометра, находящегося на нагнетательной трубе.

4. Если имеется какое-либо препятствие выходу сжатого воздуха из компрессора, то возникает резкое повышение степени сжатия в последней ступени при уменьшении давления всасывания в других ступенях. Иногда это не сопровождается сигналом, подаваемым предохранительными клапанами. Для ликвидации этого особо опасного момента машинист обязан немедленно остановить компрессор и срочно выяснить причину перегруза в последней ступени.

Во всех случаях неправильного распределения давления между цилиндрами компрессора, вызванными неисправностью клапанов, компрессор останавливают и дефектный клапан подвергают осмотру и разборке. Сначала следует проверить, не отвернулся ли винт, прижимающий клапан к гнезду через уплотнительную прокладку, затем проверяют прокладку. Иногда некоторое повышение давления вызывается негерметичным соединением розетки и седла всасывающего клапана. В клапанах, снабженных сквозным соединительным болтом, необходимо проверять герметичность этого болта.

При случайном попадании какого-нибудь постороннего тела под пластину клапана необходимо проверить, нет ли повреждений на седле клапана.

В самом клапане могут быть следующие дефекты:

а) негерметичное перекрытие седла клапана пластиной, что легко обнаружить, заполнив клапан керосином;

- б) заедание пластины в направляющих выступях;
  - в) наличие раковин, углублений или рисок на уплотнительных поясках седла клапана;
  - г) ослабление или поломка пружины клапана;
  - д) слишком большой подъем клапанной пластины;
  - е) трещина в пластине клапана или на его корпусе.
- Способы ремонта клапанов указаны на стр. 160.

**Н а г р е в а н и е** подшипников происходит вследствие недостаточной подачи смазки в подшипник, загрязнения подшипника, слишком сильной затяжки подшипника и других причин. После того как снятый подшипник остынет, его разбирают и осматривают вкладыши подшипника. Если рабочая поверхность вкладыша неравномерно покрыта бликами приработки, то вкладыш необходимо пришабрить к шейке вала. Смазочные каналки следует прочистить от наплывов баббита. Если шейка вала имеет риски или царапины, то ее нужно тщательно зачистить. Отверстия для подачи смазки промывают керосином и продувают. Если масло загрязнено, то его сменяют, промыв при этом фильтр маслонасоса. При установке подшипника его следует затягивать равномерно, но не сильно.

**С т у к** в частях компрессора может иметь различный характер и различные причины возникновения. Наиболее частые причины стука, определение дефекта по характеру стука, а также способы устранения стука приведены в табл. 11. Как правило, стук появляется вследствие ослабления крепления деталей, попадания посторонних тел в движущиеся части компрессора и выработки рабочих поверхностей трущихся частей.

**П р о ч и е** повреждения и неполадки, встречающиеся при эксплуатации компрессоров, приведены в табл. 12, в которой указаны также способы предупреждения и устранения этих неполадок.

## 6. ОБСЛУЖИВАНИЕ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Турбокомпрессоры являются очень надежными в работе машинами. Обслуживание их весьма просто и заключается в наблюдении за температурой и давлением масла и воды, а также за состоянием подшипников. Наиболее ответственной частью обслуживания турбокомпрессорного агрегата являются подготовка его к пуску и самый пуск.

**Подготовка к пуску.** Перед пуском турбокомпрессора проверяют уровень в масляном баке и сорт наполняющего его масла; приводят в действие пусковой маслонасос, работающий от отдельного электродвигателя. После этого проверяют герметичность соединений маслопроводов; поступление масла к подшипникам и слив масла из них; давление масла после насоса, до и после маслохолодильника, перед редуктором и перед подшипниками; правильность работы масляного реле, наименьшее давление масла

Стук в частях компрессора

Причина стука	Определение дефекта по характеру стука	Устранение стука
Попадание твердых металлических частиц во вредное пространство цилиндра	В цилиндрической группе Резкий односторонний стук, возникающий при ходе поршня только в одну сторону	С помощью крючков удалить через клапанные окна из вредного пространства смазку, содержащую металлические частицы. Поршень при этом должен находиться на расстоянии 5-10 мм от мертвой точки
Недостаточный объем вредного пространства	То же	С помощью свинцовой палочки проверить через клапанные окна величину лишней вредного пространства
Ослабление шарнирных сочленений поршней	Резкий неодинаковый стук при ходе поршня в обе стороны	Разобрать цилиндр и перебрать сочленения
Попадание влаги и щелочи в цилиндр или излишняя подача смазки	Резкий односторонний стук, сопровождающийся треском в холодильниках	Произвести продувку соответствующей полости цилиндра и холодильника
Чрезмерный подъем клапанной пластины	Слабый стук	Уменьшить подъем пластины путем изменения положения упора
Ослабление соединения штока с ползуном	В кривошипной группе Резкий двусторонний стук, возникающий при ходе поршня в обе стороны	Подтянуть крепление штока с ползуном

Таблица 11 (продолжение)

Причина стука	Определение дефекта по характеру стука	Устранение стука
Разработка подшипника или ослабление пальца ползуна	Резкий двусторонний стук	Проверить цилиндричность пальца, при необходимости шлифовать его. По краске проверить смягкие гнезда пальца
Увеличение зазора между башмаками и направляющими ползуна	То же	Проверить щупом величину зазора. Уменьшить зазор путем увеличения количества прокладок под башмаки
Неправильная посадка маховика на вал	Глухой или, наоборот, резкий стук, сопровождаемый биением маховика	Исправить посадку маховика
Выработка коренного или кривошипного подшипника или ослабление их затяжки	Глухой стук, падение давления масла в системе смазки подшипников	Перебрать и перегануть подшипник. Для кривошипного подшипника подобрать число прокладок так, чтобы при затяжке болтов доотказа шатун не падал под действием собственного веса. При последующем отвертывании гаек до лоповины их граней шатун должен падать. Найдя правильное положение гаек отметить, а затем, меняя прокладки, добиться того же положения при завинчивании гаек доотказа
Выработка шейки вала или кривошипца	Те же признаки, но сопровождаемые закусыванием подшипника при вращении вала	Шлифовать дефектную шейку

## Повреждения и неполадки компрессора

Повреждения	Причина повреждения	Меры предотвращения и устранения
Негерметичность сальника	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Износ уплотнительных колец</li> <li>б) Поломка пружин</li> <li>в) Повреждена прокладка между первым стаканом и крышкой цилиндра</li> <li>г) Сработался шток и имеются риски на его поверхности</li> </ul>	<p>Заменить дефектные элементы. Проверить подачу смазки. Предохранять шток от попадания пыли; производить пропитку прокладки цилиндрым маслом, смешанным с графитом</p>
Поломка клапанов	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Возникновение гидравлического удара в компрессоре</li> <li>б) Слишком плотно пригнан клапан к седлу</li> <li>в) Риски и трещины на пластинах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Регулярно продувать масловодоотделители</li> <li>б) Оставлять в клапанах зазор для температурного расширения</li> <li>в) Тщательно контролировать качество пластин</li> </ul>
Искривление вала	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Воздействие гидравлического удара</li> <li>б) Ослабление болтов одного из коренных подшипников</li> <li>в) Взрыв пагов масла в цилиндре</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Регулярно продувать масловодоотделители</li> <li>б) Проверять правильность затяжки подшипников</li> <li>в) Употреблять масло надлежащего сорта и наблюдать за степенями сжатия</li> </ul>
Поломка поршневых колец	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Образовались трещины в кольцах при неумелом их надевании на поршень</li> <li>б) Недоброкачественный материал колец</li> <li>в) Разработались пазы в поршне</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Использовать при одевании колец подкладки толщиной не более 1—1,5 мм</li> <li>б) Сменить кольца</li> <li>в) Вводить поршень в цилиндр без ударов</li> </ul>
Попадание в цилиндр щелочи из декарбонизатора	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Не сработал обратный клапан декарбонизатора</li> <li>б) Производились пуск или остановка компрессора при закрытом обводном вентиле</li> </ul>	<p>Соблюдать правила пуска и остановки компрессора при работе с декарбонизатором или скрубберами</p>
Износ трущихся поверхностей цилиндров	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Недостаточная смазка</li> <li>б) Металл цилиндра мягче, чем металл поршневых колец</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Подавать в цилиндры масло в соответствии с нормой, установленной по инструкции</li> <li>б) Твердость поверхности цилиндра должна быть выше твердости поршневых колец на 25—30 единиц (по Бринелю)</li> </ul>

Таблица 12 (продолжение)

<p>Нагарообразование на клапанах и в холодильниках</p>	<p>в) Попадание в цилиндр твердых механических частиц</p> <p>Для смазки применялись масла неподходящего качества или подавалась излишняя смазка</p>	<p>в) Тщательно фильтровать воздух и наблюдать за работой воздушных фильтров</p> <p>Соблюдать нормы смазки; применять масла установленного качества; периодически промывать или снимать нагар медным шабером</p> <p>Уменьшить подачу масла</p>
<p>Скопление масла в нагнетательном трубопроводе</p>	<p>а) Излишняя подача масла в цилиндры</p> <p>б) Смазка попала из механизма движения на стенки цилиндра</p>	<p>Если внешние причины устранить нельзя, применить более вязкое масло, добавив, например, 1—8% сурепного масла к цилиндровому</p>
<p>Недостаточное количество смазки на стенках цилиндра и усиленный износ поршневых колец</p>	<p>а) Повышенная влажность засасываемого воздуха</p> <p>б) Попали во всасывающий трубопровод атмосферная влага или водяные брызги</p>	<p>Проточить седло</p>
<p>Негерметичность обратных клапанов на маслопроводах для смазки цилиндров</p>	<p>Сработалась острая кромка седла обратного клапана</p>	<p>а) Сстановить компрессор и сменить манометр</p> <p>б) Немедленно остановить компрессор и заменить насос</p>
<p>Неисправность в системе циркуляционной смазки</p>	<p>а) Испортился манометр</p> <p>б) Вследствие поломки какой-либо части (например, шестерен привода, шпонки, валика насоса, пружины перепускного клапана) или разрыва маслопровода отказал шестеренчатый насос</p> <p>в) Понизился уровень масла</p> <p>г) Разработались вкладыши подшипников</p> <p>д) Пропуски в маслопроводе</p> <p>е) Засорилась приемная сетка насоса или фильтра</p> <p>ж) Понизилась вязкость масла вследствие его перегрева</p>	<p>в) Долить масло в картер</p> <p>г) Отремонтировать подшипники</p> <p>д) Устранить утечку при первой остановке или на ходу</p> <p>е) Промыть фильтр бензином с последующей обдувкой воздухом</p> <p>ж) Проверить достаточность охлаждения масла</p>
<p>Неисправности системы охлаждения</p>	<p>а) Повышенная жесткость охлаждающей воды</p> <p>б) Нарушилась развальцовка труб; вода прорвала прокладку и вытекает из сливной трубы толчками</p>	<p>а) Очистить холодильник от накипи механическим или химическим путем</p> <p>б) Устранить неплотности в системе</p>
<p>а) образование накипи б) нарушение герметичности системы</p>		



в котором должно составлять 0,3 *ати*. Перед первым пуском турбокомпрессора пусковой насос должен прокачивать масло в течение 2—3 час. Температура масла после масляного холодильника не должна быть ниже 20°C. В зимнее время, при низкой температуре окружающего воздуха, рекомендуется предварительный подогрев масла паром или горячей водой. Если турбокомпрессор пускают в ход впервые после монтажа, то после прокачки масла снимают крышки подшипников, масляный фильтр, сервомотор регулировки автоматического клапана, регуляторы, главный масляный насос и тщательно очищают их от грязи и отложений. В случае необходимости при этом производят также очистку масляного бака, маслохолодильника и всех маслопроводов, спустив из системы масло. Слишком загрязненное масло фильтруют или центрифугируют.

После того как вся маслосистема тщательно очищена и ее исправность проверена в работе, пускают охлаждающую воду в холодильники турбокомпрессора и маслохолодильники и проверяют герметичность всех соединений, а также работу контрольных приборов; замеряют температуру входа и выхода охлаждающей воды; спускают воздух из верхней части водяного пространства холодильников турбокомпрессора через соответствующие краны. Эти краны держат всегда открытыми, причем из них должна вытекать небольшая струйка воды, отрегулированная таким образом, чтобы давление воды в холодильниках не превышало 1,5 *ати*. Проверяют также работу водяного реле, которое должно срабатывать при уменьшении расхода воды на 30% против нормального; затем проверяют правильность установки всех рукояток маслорегулирующих вентиля и работу заслонки на всасывающей трубе турбокомпрессора. Перед пуском турбокомпрессора нужно убедиться в том, что заслонки на всасывающей и нагнетательной трубах закрыты, а сброс воздуха в атмосферу (байпас) полностью открыт.

При первом пуске турбокомпрессора сначала дают «толчок», т. е. включают электродвигатель, а когда турбокомпрессор раскрутится примерно до половины нормального числа оборотов, электродвигатель выключают. При этом опять проверяют подачу масла к подшипникам, а также отсутствие стуков, задевания ротора о неподвижные части, вибрации в подшипниках и редукторе.

**Пуск и обслуживание во время работы.** Если при пробном пуске никаких ненормальностей в работе турбокомпрессора не обнаружено, то можно производить его пуск уже под нагрузку. Для этого поступают следующим образом:

- 1) производят подготовку турбокомпрессора к пуску, как указано выше;
- 2) закрывают полностью задвижку на всасывающей трубе;
- 3) проверяют подачу воды в холодильники турбокомпрессора и регулируют краны спуска воздуха из водяных камер холодильников;

4) приводят в действие пусковой маслонасос и проверяют давление и температуру масла, а также его подачу к подшипникам;

5) открывают полностью байпас для выпуска воздуха в атмосферу и закрывают задвижку на нагнетательной трубе;

6) включением электродвигателя пускают компрессор в ход.

После достижения компрессором нормального числа оборотов, проверяют подачу масла шестеренчатым маслонасосом ко всем подшипникам и начинают производить постепенную нагрузку турбокомпрессора, для чего медленно открывают задвижку на всасывающей трубе. Когда давление после компрессора поднимется до определенной величины, начинают открывать задвижку на напорной трубе, одновременно прикрывая задвижку на байпасе. Так поступают до тех пор, пока задвижка на нагнетательной трубе не будет открыта полностью, а байпас закрыт. Одновременно с этим заканчивают открывание задвижки на всасывающей трубе, нагружая компрессор до максимальной производительности.

Обслуживание турбокомпрессора во время работы заключается в постоянном наблюдении за давлением и температурой воздуха, масла и воды, а также за температурой и поступлением масла к подшипникам и воды в холодильники. Через каждый час эти данные записываются дежурным машинистом в журнал. Необходимо систематически следить за температурой подшипников, записывая ее в журнал, а также за отсутствием в компрессоре шума, стука и вибраций, отклоняющихся от нормы. В журнале должны иметься графы для записи температуры всасываемого воздуха, конечного давления воздуха; температуры сжатого воздуха; температуры охлаждающей воды до и после холодильников, до и после маслоотделителя; величины давления масла после масляного электронасоса, в главном шестеренчатом масляном насосе, до и после маслоохладителя; мощности, потребляемой турбокомпрессором; напряжения в сети и показаний других приборов.

При остановке турбокомпрессора выключают электродвигатель, закрывают всасывающую задвижку и открывают байпас. При длительной остановке спускают воду из холодильников турбокомпрессора и маслоохладителя; затем останавливают вспомогательный маслонасос.

Если во время работы турбокомпрессора будет обнаружено ненормальное повышение температуры какого-либо из подшипников, то машина должна быть немедленно остановлена, а подшипник вскрыт для выяснения и устранения причины нагрева. Вскрытие подшипников и их ревизия должны производиться только опытным персоналом, знакомым с этим видом работ.

Если турбокомпрессор хорошо смонтирован и отрегулирован, то при надлежащем наблюдении за его смазкой и охлаждением он может работать годами, не требуя ремонта.

Появляющиеся неполадки в работе турбокомпрессора обычно являются следствием плохого состояния его масляной и охлаждающей систем, а также неудовлетворительной очистки поступающего воздуха.

Основные неполадки в работе турбокомпрессора и меры по их устранению перечислены в табл. 13.

Таблица 13

Основные неполадки в работе турбокомпрессора

Неполадки	Причина	Устранение
Появление легкой вибрации вала, ощущаемой в виде «зуда» на подшипниках и даже на некоторых частях корпуса	<p>а) Увеличились зазоры между шейками вала и вкладышами подшипников вследствие износа, вызванного загрязнением масла</p> <p>б) Расцентровка муфтовых соединений</p> <p>в) Отложилась грязь в лабиринтных уплотнениях ротора</p>	<p>а) Произвести перешлифовку вкладышей и сменить масло, промыв и очистив всю масляную систему</p> <p>б) Проверить центровку и устранить неточность сборки</p> <p>в) Вскрыть корпус; очистить лабиринты, заменив поврежденные новыми</p>
Падение производительности турбокомпрессора и повышение температуры сжатого воздуха	<p>а) Недостаточная подача воды</p> <p>б) Забивка холодильников грязью или накипью</p>	<p>а) Установить и устранить причину недостаточной подачи воды</p> <p>б) Произвести очистку холодильников от накипи и грязи</p>
Перегрев подшипников	<p>а) Недостаточная подача смазки, на что указывает падение давления в масляной системе или загрязнение масляного фильтра, вызывающее повышение давления масла перед ним</p> <p>б) Плохое охлаждение масла вследствие недостаточной подачи воды в масляный холодильник</p> <p>в) В подшипник попала грязь, вызвавшая износ вкладыша и шейки</p>	<p>а) Произвести очистку масляного фильтра</p> <p>б) Установить и устранить причину недостаточной подачи воды</p> <p>в) Вскрыть и осмотреть подшипник; в случае наличия грязи очистить подшипник и всю масляную линию</p>

## 7. РЕМОНТ КОМПРЕССОРОВ

**Общие указания.** При капитальном ремонте производят полную разборку и проверку состояния всех основных частей компрессора с выемкой поршней из цилиндров и снятием коленчатого вала. Текущий ремонт, осмотр и устранение отдельных дефектов можно производить при кратковременных остановках, во время отогревания кислородного аппарата. При разборке компрессора и его частей необходимо соблюдать чистоту: предварительно промыть разбираемый узел керосином для удаления масла, грязи, песка и тщательно протереть детали. Снятие деталей следует производить осторожно во избежание их повреждения. Для этого необходимо пользоваться ключами соответствующего размера, применять медные или латунные выколотки, медные кувалды, съемники и прочие приспособления. Снятые детали укладывают в определенном порядке на чистые стеллажи, фанерные или картонные листы и чем-либо прикрывают сверху для предохранения от загрязнения песком или пылью. Концы отсоединенных трубок заглушают деревянными пробками или обертывают бумагой и обвязывают. Если работы с разобранной машиной не производятся, то ее прикрывают брезентом.

При отвертывании гаек каждую из них сначала равномерно ослабляют, а затем уже отвертывают. После снятия детали отвернутую гайку вновь навертывают на соответствующий ей болт или шпильку. Снятые гайки надевают на проволоку и хранят в ящиках. Промывку деталей производят керосином или бензином в чистых ванночках из оцинкованного железа. После снятия уплотняющих прокладок остатки их тщательно удаляют с места уплотнения и прочищают имеющиеся на уплотняемой поверхности риски и канавки. При съёмке валиков со шпонками последние вновь вставляют в шпоночную канавку валика и привязывают к нему мягкой проволокой или шпагатом. Регулировочные прокладки хранят отдельно, завернутыми в бумагу. Затяжку гаек и болтов производят постепенно и равномерно, поворачивая гайки на одинаковый угол на диаметрально-противоположных сторонах закрепляемой детали. Вращающиеся детали после затяжки гаек проверяют на свободное вращение от руки. Шплинты, замки и прочие крепежные детали при сборке заменяют новыми.

Сборку следует производить тщательно и аккуратно, все время следя за тем, чтобы в детали не попала грязь или песок.

Все трущиеся части компрессора необходимо периодически осматривать для выявления степени их износа; наличия трещин, задиров или наволакивания металла, вмятин и забоин; выкрашивания рабочего слоя; ржавления и прочих дефектов, могущих вызвать остановку или поломку компрессора. В зависимости от размеров и состояния обнаруженных дефектов мастер решает вопрос о допустимости дальнейшей работы данной детали.

О величине износа судят по результатам обмера деталей, наличию люфта в сочленениях и пр. Трещины обнаруживают при

помощи лупы с 2—5-кратным увеличением. Особенно опасны трещины в углах деталей, около отверстий и в местах перехода от одного сечения к другому. Наиболее тщательно проверяют отсутствие трещин на коленчатом валу и его шейке, ползуне, шатуне, коренных подшипниках, станине, ответственных и сильно напряженных крепежных болтах и шпильках (например, на болтах головки шатуна) и на других важных деталях компрессора. Задиры и наволакивание могут появиться от попадания в трущиеся детали грязи, песка, отсутствия достаточной смазки, перекоса при монтаже. Обнаружив дефект, тщательно осматривают не только поврежденную деталь, но и соприкасающуюся с ней. Небольшие риски, задиры и царапины зачищают специальными брусками, а затем самой мелкой крокусовой шкуркой, смоченной в керосине, с последующей промывкой детали керосином. Применять для зачисток наждачную бумагу запрещается, так как наждак остается в порах металла и может вызвать в дальнейшем порчу рабочей поверхности детали. Ржавчину с трущихся поверхностей удаляют также крокусовой шкуркой.

Обмеры шеек валов, отверстий подшипников и цилиндрических втулок производят в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях и в трех сечениях: посередине и на расстоянии 15—20 мм от концов обмеряемого участка. При определении овальности достаточно сделать промер в одном сечении и двух взаимно-перпендикулярных плоскостях.

Замеры производят посредством кронциркуля-нутромера с точностью 0,25 мм, штангенциркуля с точностью 0,1 или 0,2 мм и микрометра с точностью 0,01 мм.

**Коленчатый вал и подшипники.** Неправильный монтаж компрессора, осадка фундамента, ослабление одного из подшипников может вызвать дополнительный изгиб коленчатого вала, обуславливающий появление в наиболее нагруженных частях вала мелких трещин. Для своевременного выявления этих трещин вал периодически осматривают с помощью лупы. Границы обнаруженной трещины отмечают кернами. Если вал с трещиной пускают вновь в эксплуатацию, то за ним устанавливают особо тщательное наблюдение и заменяют его при первой возможности новым. Трещины иногда устраняют посредством заварки с последующей обработкой вала.

Неправильное положение одного из подшипников может вызвать искривление вала, которое обнаруживают с помощью измерительного индикатора при медленном поворачивании вала. Искривление устраняют проточкой всех шеек вала на станке.

При неравномерном износе шеек вала они принимают эллиптическую (овальную) форму. При износе свыше 0,05 мм необходимо проточить шейку до цилиндрической формы, а затем шлифовать. Исправный и правильно смонтированный коленчатый вал не должен давать никаких колебаний в подшипниках при работе компрессора. На неисправность вала указы-

вают колебания его и стук в подшипниках, не устраняемые подтягиванием вкладышей, которое в этом случае вызывает лишь быстрый нагрев подшипников.

Продольные колебания вала могут быть вызваны биением маховика вследствие неправильной насадки его на вал или неправильной склейки ремня. Такие колебания устраняют путем выверки маховика или переклейки ремня.

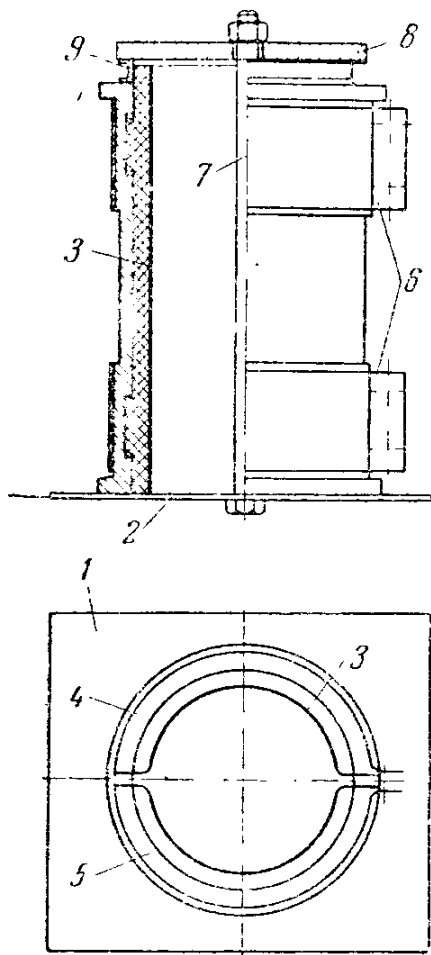


Рис. 65. Приспособление для заливки вкладышей:

1—опорная плита; 2—асбестовая прокладка; 3—полуцилиндры из листового железа; 4, 5—заливаемые вкладыши; 6—стяжные кольца; 7—болт; 8—нажимная планка; 9—опорное кольцо.

Полуцилиндры имеют отогнутые буртики, которые зажимаются между двумя вкладышами 4 и 5. Вкладыши с полуцилиндрами стягиваются двумя кольцами 6. Через плиту 1 пропущен болт 7, которым вкладыши с помощью планки 8 прижимаются к плите 1. Сверху под планку 8 ставится опорное кольцо 9, служащее для образования усадочного буртика при заливке.

Перед заливкой вкладыши, собранные в приспособлении, подогревают до 250—270°C. Количество баббита подсчитывают по объему заливки, причем вес баббита принимают равным 7,2 г/см<sup>3</sup>.

После переточки шеек вала, износа или подплавления вкладышей подшипников производят перезаливку и пригонку вкладышей. Для этого из вкладышей предварительно выплавляют металл прежней заливки путем нагревания их паяльной лампой или в нагревательной печи до 240°C. Расплавленный баббит посредством крючка выскребают из «ласточных хвостов» вкладыша. Последний тщательно очищают и обезжиривают промывкой в горячем 10%-ном растворе каустика с последующей промывкой в горячей воде. После этого внутреннюю поверхность вкладыша лудят. При заливке баббитом марки Б-83 для полуды применяют сплав из  $2\frac{1}{3}$  олова и  $1\frac{1}{3}$  свинца, а для других баббитов—из  $1\frac{1}{3}$  олова и  $2\frac{1}{3}$  свинца.

Полуду производят непосредственно перед заливкой вкладыша, нанося ее равномерным слоем толщиной не менее 0,1 мм. После полуды вкладыши собирают в приспособление, показанное на рис. 65.

Приспособление состоит из железной опорной плиты 1, на которую уложена асбестовая прокладка 2. На эту прокладку устанавливают полуцилиндры 3 из листового железа толщиной 0,5—1 мм, являющиеся внутренним стержнем при заливке. Полуцилиндры имеют отогнутые буртики, которые зажимаются между двумя вкладышами 4 и 5. Вкладыши с полуцилиндрами стягиваются двумя кольцами 6. Через плиту 1 пропущен болт 7, которым вкладыши с помощью планки 8 прижимаются к плите 1. Сверху под планку 8 ставится опорное кольцо 9, служащее для образования усадочного буртика при заливке.

Небольшие куски баббита кладут в тигель и расплавляют на медленном огне. При этом нужно строго следить, чтобы температура баббита не превысила  $480^{\circ}\text{C}$ . иначе баббит перегреется, что совершенно недопустимо. Если опущенная в расплавленный баббит бумага не загорается, не чернеет, а только становится коричневой, то баббит имеет нормальную температуру. В противном случае баббит перегрет и не пригоден для заливки.

Расплавленный в тигле баббит размешивают железным стержнем, а затем заливают вкладыши непрерывной, равномерной и тонкой струей металла. При этом следят, чтобы в заливку не попадали грязь и шлак с поверхности расплавленного баббита. Поверхность заливки после остывания должна иметь серебристый оттенок и быть чистой. Желтый цвет заливки показывает на перегрев баббита, и такой вкладыш следует залить заново.

Залитые вкладыши вынимают из формы, плоскости разъема зачищают напильником, затем собирают их в специальном приспособлении и протачивают. Если при расточке обнаружатся раковины, то такую заливку бракуют. Последнюю проточку производят при минимальной подаче резца. Припуск на шабровку составляет не более  $0,05\text{--}0,1$  мм. Затем на рабочей поверхности вкладышей выбирают канавки для распределения и стока масла.

В начале сборки вкладыши подгоняют и пришабривают по краске к их «постелям» в корпусе подшипника. Шабровку ведут до получения на сопряженных поверхностях мелких и равномерно распределенных окрашенных пятен. Затем производят пришабривание вкладышей к шейкам вала. Шабровку ведут шабером в разных направлениях, под углом  $45^{\circ}$ . Шейка должна лежать по всей длине нижнего вкладыша, соприкасаясь с его поверхностью по дуге  $30^{\circ}$  в ту и другую сторону от вертикали. Шабровку лучше производить по оправке, изготовленной в точном соответствии с размерами шейки вала. Величина зазора между верхним вкладышем и шейкой вала должна равняться  $0,001$  диаметра шейки.

По мере износа баббита этот зазор регулируют путем уменьшения числа прокладок между верхним и нижним вкладышами. Пришабривание считается достаточным, если пятна краски располагаются равномерно по всей рабочей поверхности и покрывают не менее  $15\text{--}20\%$  ее. После пришабривания шейку и вкладыши тщательно промывают керосином и насухо протирают.

Когда подшипник собран, вал несколько раз проворачивают. Затем подшипник разбирают, снова осматривают и, если нужно, дополнительно подшабривают.

Проверенные вкладыши и шейку вала вновь промывают керосином, вытирают, смазывают маслом и собирают окончательно. При правильно подогнанных вкладышах и туго затянутых подшипниках вал должен проворачиваться от руки. Состав баббитов для заливки вкладышей и температуры начала и конца затвердевания баббитов приведены в табл. 14 и 15.

## Составы баббитов для заливки подшипников

(в % по весу)

Наименование составных частей	Марка баббита			
	Б-83	БН	Б-16	Б-6
Сурьма . . . . .	10—12	13—15	15—16	14—16
Медь . . . . .	5,5—6,5	1,5—2,0	1,5—2,0	2,5—3,0
Мышьяк . . . . .	—	0,5—0,9	—	0,6—1,0
Кадмий . . . . .	—	1,25—1,75	—	1,75—2,25
Никель . . . . .	—	0,75—1,25	—	—
Олово . . . . .	Остальное	9—11	15—17	5—6
Свинец . . . . .	—	Остальное	Остальное	Остальное

## Температура затвердевания баббитов

Марка баббита	Температура затвердевания, °С	
	начало	конец
Б-83 . . . . .	370	240
БН . . . . .	400	240
Б-16 . . . . .	410	240
Б-6 . . . . .	415	232



Баббит марки Б-8З применяют только для заливки вкладышей подшипников турбокомпрессоров. Для поршневых компрессоров, работающих обычно при небольшом числе оборотов, должны применяться баббиты марок БН, Б-16 или Б-6.

**Цилиндры и поршни.** При значительной выработке рабочей поверхности цилиндров появляется пропуск между поршнем и стенкой цилиндра. Для устранения этого дефекта приходится производить расточку цилиндра или замену износившейся цилиндрической втулки. Перешлифовку или расточку цилиндра производят в том случае, если выработка, образовавшаяся в результате износа его поверхности, превысит размеры допуска на диаметр по II классу точности. Эта операция очень ответственна. Ее можно производить только на заводах, располагающих соответствующим оборудованием: расточными и внутришлифовальными станками. В горизонтальном многоступенчатом компрессоре необходимо производить одновременно расточку всех цилиндров, чтобы величина их расточки была одинаковой. В этом случае поршень горизонтального компрессора, лежащий на нижней части поверхности цилиндра I ступени, не будет тереться о поверхности цилиндров остальных ступеней и, следовательно, не вызовет повышенного износа последних.

По этой же причине в горизонтальных компрессорах нельзя делать слишком большую расточку, так как связанное с ней опускание поршня и штока может оказаться настолько значительным, что вызовет сильное трение штока в сальнике и быстрый износ этих частей. При значительной расточке приходится делать новые поршни.

Если позволяет толщина стенки, то при сильном износе цилиндр можно расточить и запрессовать в него втулку из перлитного чугуна.

При запрессовке втулок в цилиндр применяют только холодную запрессовку, так как горячая может вызвать сильные напряжения в стенках цилиндра и даже их разрушение. После запрессовки втулку растачивают изнутри до требуемого размера и шлифуют.

После каждой перешлифовки, а также в том случае, если пропуск в цилиндрах обусловлен износом самих поршневых колец, производят смену последних. Для этого снимаемые кольца раздвигают отверткой и под них ставят 2—3 стальные подкладки, имеющие вид полосок толщиной 1—1,5 мм, шириной 10 мм и длиной 300 мм. По этим полоскам кольцо легко снимается с поршня, кроме того, они служат и для надевания новых колец на поршень. При этом поршень тщательно осматривают; зачищают имеющиеся заусенцы и забойны; хорошо прочищают и протирают канавки под кольца.

Зазор в замке кольца должен быть не менее 0,005 диаметра цилиндра. Если зазор мал, то его увеличивают опиловкой торцов кольца. Для проверки величины зазора кольцо вводят в ци-

линдр в плоскости его оси, а затем поворачивают на 90°, ставя кольцо в рабочее положение.

В канавку поршня кольцо должно входить плотно, без зазора, но не туго. Подгонку колец по их ширине производят путем спилки личным напильником, шлифовки на плоскошлифовальном станке или притирки на плите.

Толщина кольца должна быть меньше глубины канавки на 0,3—0,5 мм. При установке колец на поршень их замки несколько смещают один относительно другого. Острые кромки поршневых колец слегка округляют для облегчения попадания под них смазки. Иногда для придания кольцу большей упругости на его внутренней стороне с помощью специальной раскатки делают насечку.

При изготовлении колец предварительно делают заготовку, так называемую маслоту, в виде полого цилиндра, отливаемого из мелкозернистого перлитного чугуна. Эту заготовку обтачивают снаружи по размеру диаметра цилиндра с припуском на шлифовку, а внутри—под окончательный размер. Далее маслоту разрезают на отдельные кольца и в них прорезают замки, после чего все кольца надевают на оправку большего диаметра так, чтобы концы колец разошлись, и подвергают закалке. Закалку производят путем нагревания до 875°C, выдержки при этой температуре в течение 30 мин. и охлаждения в масле. После закалки собранные кольца отпускают, нагревая их до 600°C, а затем охлаждают вместе с оправкой на воздухе. Охлажденные кольца снимают с оправки и шлифуют их боковые поверхности. Затем кольца собирают в зажимном приспособлении на оправке, сжав их при этом до рабочего состояния. В таком виде кольца шлифуют снаружи до окончательного размера. Замки готовых снятых с оправки колец зачищают, а кромки колец округляют.

Правильно изготовленное кольцо, будучи вставлено в цилиндр, должно плотно прилегать к его стенкам, не давая просвета между стенкой цилиндра и наружной поверхностью кольца. Если такой просвет имеется, то кольцо подлежит замене.

При установке поршня в цилиндр нужно соблюдать допустимые размеры зазоров вредных пространств между крышкой цилиндра и поршня.

Крайние кольца поршней должны давать некоторый «пробег», выступая за край скошенной части зеркала цилиндра, как это показано на схеме рис. 66.

**Штоки и сальники.** Если шток получил прогиб, то его выправляют изгибанием в центрах токарного станка. Нажатие производят с помощью суппорта станка. Проверку прямолинейности штока осуществляют посредством индикатора. Износ штока в пределах до 0,2 мм можно устранить нанесением слоя хрома, для чего требуется специальное оборудование для гальванического хромирования. При значительном износе штока его протачивают на станке, а затем шлифуют.

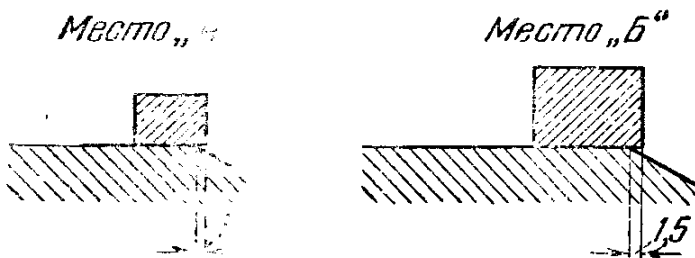
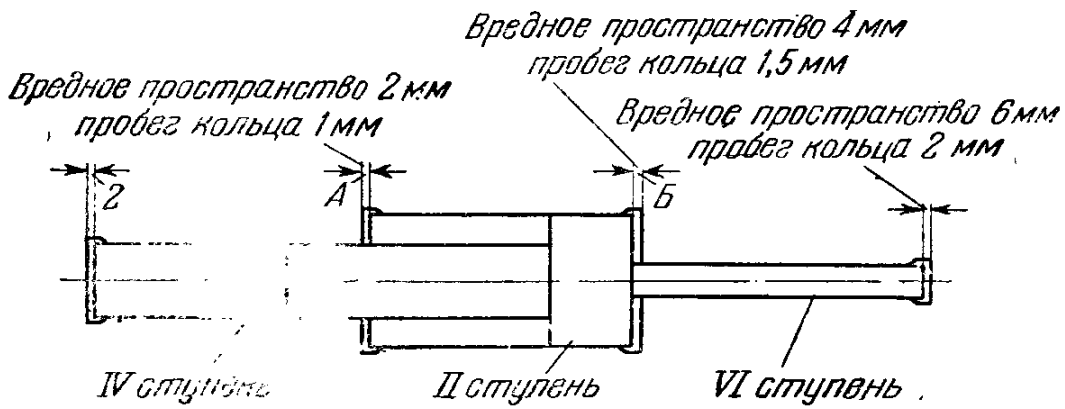
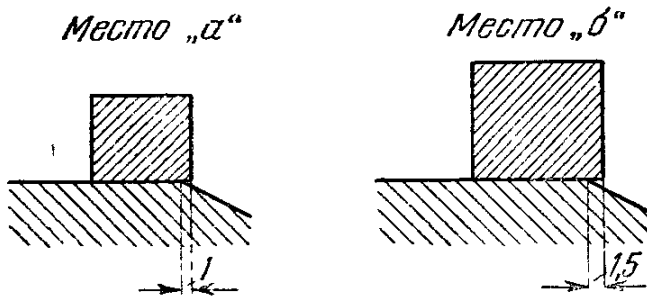
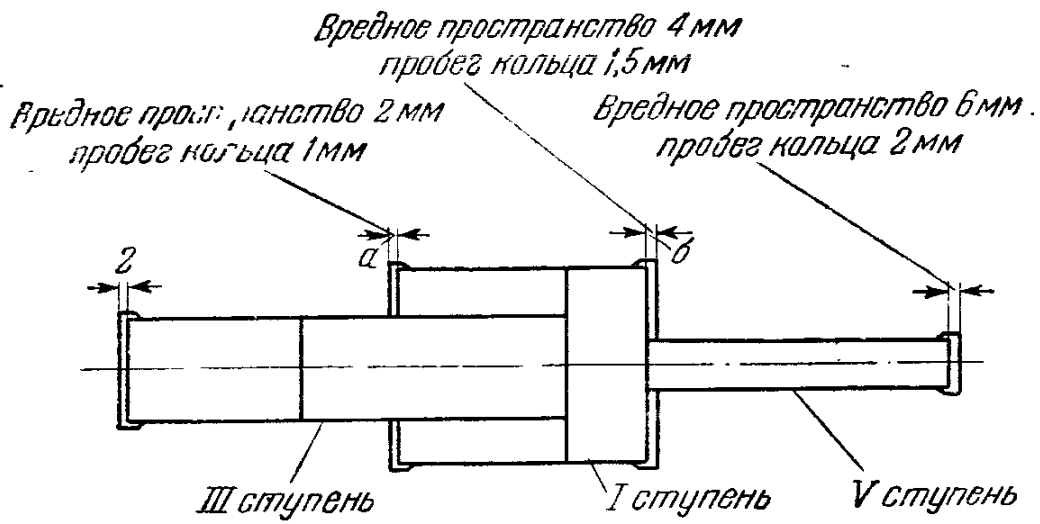


Рис. 66. Установка поршней в цилиндрах двухлинейного компрессора.

При пропуске в сальнике, который не удается устранить подтягиванием грундбуксы, производят ремонт сальниковой набивки. Разобрав сальник и тщательно промыв его от масла, осматривают уплотнительные кольца из антифрикционного сплава. Если их рабочие поверхности имеют блестящий отшлифованный вид, то это указывает на исправное состояние кольца. Наличие темных, матовых мест, наволакиваний, рисок, задиров и пр. указывает на истирание поверхности и на необходимость пригонки кольца по штоку. Перед пригонкой колец шток должен быть выверен, а имеющаяся на нем выработка, если она превышает 0,3—0,5 мм, устранена. Риски и царапины на штоке зачищают «бархатным» напильником и зашлифовывают с помощью мелкой шкурки, смоченной маслом. После этого тщательно вытертую поверхность штока покрывают краской и, надев на него кольца, проводят их несколько раз вдоль штока. Покрытые краской места на внутренней поверхности кольца удаляют путем шабровки. Шабровка считается законченной, когда вся поверхность кольца будет равномерно покрываться пятнами краски. Зазор в разрезе кольца, надетого на шток, должен составлять 1—1,5 мм. Конические и торцовые поверхности колец и стаканов притирают друг к другу до матового цвета, используя для этого тертое стекло и машинное масло.

Имеющаяся в сальнике между буксой и телом крышки цилиндра клингеритовая прокладка в случае ее повреждения заменяется новой, покрытой графитом, разведенным на масле.

При сборке сальника нужно обращать особое внимание на абсолютную чистоту его частей и отсутствие на них заусенцев; правильное расположение колец и стаканов, которое обуславливает совпадение их смазочных каналов; не допускать перекоса частей сальника. Ослабевшие или разорвавшиеся стяжные и упорные пружины в сальнике необходимо заменить новыми.

**Клапаны.** Ремонт клапанов заключается в замене поломанных пружин или пластин, а также в притирке пластин к седлу клапана. Герметичность клапанов является необходимым условием для нормальной работы компрессора.

Герметичность клапанов может быть нарушена попаданием под пластину какого-либо постороннего тела, например кусочка нагара. В таких случаях пропуск легко устраняется путем вскрытия и очистки клапана. Неплотное прилегание пластины к седлу можно обнаружить при заполнении клапана керосином. Негерметичность, вызванную выработкой на поверхности пластины, устраняют посредством шлифовки пластины на станке и притирки на плите. При этом можно перевернуть пластину обратной стороной и в таком виде притереть к седлу. Покоробленную пластину выправляют ударами медного молотка, а затем притирают. При повреждении рабочей поверхности седла клапана образовавшиеся на ней вмятины, забоины, риски устраняют шлифовкой седла на станке с последующей притиркой рабочей поверхности.

В случае ослабления или поломки одной или нескольких пружин, что также может явиться причиной неплотности клапана, дефектные пружины заменяют новыми. Осевшую пружину можно временно оставить до замены ее новой, предварительно несколько растянув осевшую пружину.

Если пропуск вызван наличием трещины в корпусе клапана или в пластине, то дефектные части клапана должны быть заменены новыми.

Клапанные пластины изготавливаются из листовой хромоникелевой стали марок Э-10 и Э-12 или из углеродистой стали Ст. 2 и Ст. 6. Пластины из стали Ст. 2 подлежат цементации, а из стали Ст. 6—закалке и отпуску.

Притирку производят на пасте ГОИ (Государственный оптический институт), сначала на более крупных, а затем на более мелких (отделочных) номерах пасты. В процессе притирки пластина поворачивается попеременно вправо и влево вокруг своей вертикальной оси. Притирка считается законченной, когда вся рабочая поверхность приобретает ровный, блестящий вид. После притирки клапан собирают с пружинами и испытывают на плотность керосином. Седла клапанов можно притирать на плите или с помощью специально изготовленных из чугуна притирочных колец.

Пружины клапанов изготавливаются из круглой пружинной проволоки марки ПК-I или ПК-II путем навивки в холодном состоянии. Навивку производят на токарном станке, используя для этого оправку, диаметр которой несколько меньше внутреннего диаметра пружины, так как после снятия с оправки пружина несколько распускается. Оправку ставят в центры токарного станка, конец проволоки вставляют в отверстие, сделанное в оправке, а проволоку пропускают через две деревянные планки, зажатые в суппорте. Этим достигают требуемого при навивке пружины натяжения. Готовую пружину разрезают на куски требуемой длины, концы которых заправляют на наждачном круге. Термообработку пружины после навивки не производят. Готовую пружину проверяют на осадку. Кроме того, нужно проверить, перпендикулярна ли ось пружины ее опорной поверхности.

При сборке и разборке клапана необходимо пользоваться специальными торцовыми ключами во избежание быстрой порчи граней гайки затяжного болта.

Нажатие клапана стопорными болтами нужно производить равномерно, попеременно подтягивая диаметрально-противоположные болты.

**Холодильники.** Ремонт холодильников, кроме очистки от накипи и нагара, заключается также в устранении негерметичности. Пропуск в холодильнике вызывает потери сжатого воздуха, что понижает производительность кислородной установки. Пропуск воды опасен, так как при попадании ее в воздухопроводы, а затем

в цилиндры компрессора возможны гидравлические удары, которые могут вызвать аварию компрессора.

Негерметичность появляется в результате коррозии трубок холодильника или нарушения соединения трубки с решеткой в месте развальцовки. В обоих случаях к этому приводят резкие температурные колебания, возникающие в холодильнике, например при пуске холодной воды в нагретый холодильник. С целью предупреждения этого необходимо сначала открыть поступление воды в холодильник и только затем пускать компрессор в ход.

Дефекты от коррозии, а также трещины в решетках устраняют путем заварки труб или решеток или смены поврежденной части холодильника.

Пропуск в развальцовке устраняют холодной подвальцовкой дефектного места. При постановке новой трубы отверстие под нее тщательно очищают от накипи, нагара и прочих загрязнений и калибруют разверткой для устранения возможной овальности отверстия.

При появлении трещины в трубке змеевикового холодильника лучше удалить лопнувшую часть трубки и сварить вместо нее новый кусок. В медных трубках вместо сварки применяют пайку твердым медно-цинковым припоем. Можно заглушить дефектные трубки, если при этом общая поверхность холодильника не уменьшается более чем на 15%.

**Приводные ремни.** Приводной ремень при его обрыве ремонтируют путем сшивки или склейки. Бесконечные клиновидные ремни сшивке не подлежат и в случае износа заменяются новыми. Кожаные ремни склеивают с предварительным скашиванием концов ремня на длине 100—200 мм и более в зависимости от ширины ремня. Острые концы, получающиеся после скоса, обрезают до толщины 1 мм. При склеивании концы ремня предварительно нагревают; смазанные клеем концы накладывают друг на друга, стягивают между двумя плитами, нагретыми до 100—120 С, и оставляют в таком состоянии на 4—6 час.

Для склейки применяют осетровый клей, который замачивают в слабом растворе уксусной кислоты в течение 1—2 суток. После этого кислоту сливают, а клей варят до полного растворения в течение 6—8 час. Нагрев производят в водяной бане. Применяют также мездровый клей, который замачивают в воде в течение 1 суток. Затем воду сливают, клей растапливают в водяной бане и прибавляют желатину, осетровый клей и немного спирта. Помимо склеивания кожаные ремни можно сшивать сыромятной сшивкой. При этом концы ремня скашивают так же, как и при склейке.

Прорезиненные ремни только склеивают. Предварительно концы их срезают уступами длиной 90—175 мм. Число уступов обычно соответствует числу прокладок в ремне. Для склейки применяют смесь резинового клея № 1 и 2. Клей наносят на поверхность уступов 3—4 слоями, каждый из них наносят после

того, как предыдущий слой достаточно подсохнет. После склейки стык зажимают между двумя нагретыми зажимами и держат в течение 1 суток. Время выдержки сокращают до 4 час., если зажимы нагреты до 100°C.

Тканые, хлопчатобумажные или шерстяные ремни сшивают сыромятными ременными сшивками.

**Обкатка компрессора.** После ремонта компрессор необходимо подвергнуть обкатке без нагрузки для приработки сопряженных движущихся поверхностей деталей. Перед обкаткой из клапанных гнезд компрессора вынимают все клапаны. Затем вал компрессора проворачивают вручную несколько раз для того, чтобы убедиться в свободном ходе всех движущихся частей. Проверяют поступление масла ко всем смазываемым частям компрессора, для чего масляный насос высокого давления прокачивают вручную до появления масла в контрольных отверстиях, расположенных перед обратными клапанами маслопроводов. Проверяют также подачу масла шестеренчатым насосом, пользуясь для этого рукояткой, имеющейся на насосе.

Пустив охлаждающую воду в холодильники и рубашки цилиндров компрессора и убедившись в достаточном поступлении воды, включают электродвигатель компрессора. Когда вал компрессора достигнет полного числа оборотов, двигатель выключают и после остановки компрессор подвергают осмотру. Если при первом пуске компрессор работал спокойно, без стука и вибрации, и смазка нормально поступала ко всем трущимся частям, то компрессор вновь пускают в ход на 3—5 мин., после чего останавливают и проверяют, не греются ли трущиеся части (подшипники, ползун, сальник и пр.). Одновременно проверяют затяжку всех гаек, целостность шплинтов и других крепежных деталей. После устранения всех выявленных дефектов компрессор пускают в ход на 15—20 мин., а затем останавливают для третьего осмотра.

После этого тщательно продувают все трубопроводы, холодильники и цилиндры компрессора для удаления частиц окалины, песка и прочих загрязнений, которые, попадая в отдельные части компрессора, могут вызвать их повреждение. Продувку производят путем ряда запусков компрессора без охлаждающей воды. При этом в продуваемой ступени и предыдущих ступенях все клапаны должны быть установлены и собрана коммуникация; наоборот, в следующих за продуваемой ступенях клапаны должны быть вынуты, а крышки клапанов сняты. В процессе продувки необходимо подвергать обстукиванию воздухопроводы, холодильники и маслоотделители. Продуваемый участок трубопроводов должен быть соединен от последующих ступеней компрессора.

По окончании продувки компрессор останавливают, а его клапаны разбирают и вместе с каналами цилиндров промывают от осевшей на них при продувке грязи. Затем клапаны собирают, проверяют на герметичность с помощью керосина и запускают

компрессор на работу вхолостую в течение 30—60 мин. При этом продувочные вентили на последней ступени компрессора должны быть открыты полностью, а на остальных ступенях частично, так чтобы после каждой ступени давление не превышало 0,5—1 *ати*. Если компрессор работает нормально, то после остановки и осмотра его можно вновь пустить вхолостую для непрерывной работы в течение 6 час.

После первых трех пусков нужно разобрать и промыть керосином сетки масляных фильтров, которые при обкатке компрессора сильно загрязняются, так как на них оседает вся пыль, уносимая маслом. Смазочное масло после 6-часовой обкатки подвергается полной смене или фильтрации через мелкие сетки и фланель.

Устранив все дефекты, выявленные при обкатке компрессора вхолостую, его пускают для работы под нагрузкой в течение 6 час. В процессе нагрузки компрессора постепенно закрывают продувочные вентили, начиная с I ступени. При этом проверяют герметичность всех коммуникаций и устраняют замеченные дефекты. В этот период производят также регулировку предохранительных клапанов на давление, превышающее на 10% величину рабочего давления для данной ступени. Для этого регулируемый клапан ставят на место предохранительного клапана последней ступени, а давление после компрессора регулируют путем открытия продувочного вентиля масловодоотделителя последней ступени.

Если при пробной работе под нагрузкой в течение 6 час. компрессор работает спокойно, без стука и его подшипники не греются, то он может быть введен в нормальную эксплуатацию.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какова схема работы одноступенчатого компрессора?
2. Объясните процесс работы компрессора по индикаторной диаграмме.
3. Что называется вредным пространством и какое значение оно имеет для работы компрессора?
4. Как определяется производительность компрессора и от чего она зависит?
5. В чем состоят преимущества многоступенчатого сжатия?
6. Как устроены основные части компрессора?
7. Какое значение имеет смазка для работы компрессора и как осуществляется смазка шатунно-кривошипного механизма и цилиндров?
8. Как осуществляется сжатие воздуха в рабочем колесе турбокомпрессора, для чего служат направляющие аппараты (диффузоры) и как устроено рабочее колесо турбокомпрессора?
9. Как осуществляется смазка турбокомпрессорного агрегата и какие требования предъявляются к маслу для смазки турбокомпрессора?
10. Как должна производиться разборка и ревизия компрессора?
11. В чем состоит ремонт коленчатого вала, перезаливка и пригонка подшипников, ремонт цилиндров и поршней, ремонт штока и сальниковой набивки, ремонт клапанов?
12. Как испытываются и ремонтируются холодильники, как производится сшивка и склейка ремней?
13. Каков порядок обкатки компрессора после ремонта?
14. Как производится пуск компрессора?



15. В чем состоит обслуживание компрессора во время работы?
  16. Какие причины вызывают неправильное распределение давления по ступеням компрессора?
  17. Какие неполадки могут встретиться при работе компрессора, каковы их причины и способы устранения?
  18. Как производится пуск и обслуживание турбокомпрессора во время работы?
  19. Какие основные неполадки встречаются в работе турбокомпрессора, их причины и способы устранения?
  20. Определить производительность в  $\text{м}^3/\text{час}$  поршневого компрессора для следующих данных: диаметр цилиндра 580 мм, ход поршня 550 мм, 125 об/мин., коэффициент подачи 80%.
  21. Рассчитать суточный расход цилиндрического масла для компрессора марки 5Э-14/220 на основании данных табл. 10.
  22. Подсчитать вес баббита, необходимого для заливки вкладышей подшипника, имеющего следующие размеры: диаметр шейки -- 200 мм, длина вкладыша 300 мм, средняя толщина заливки 8 мм.
-

МАШИНЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ВОЗДУХА

1. ПОРШНЕВЫЕ ДЕТАНДЕРЫ

**Принцип действия.** При расширении воздуха в цилиндре детандера с одновременным производством внешней работы происходит сильное охлаждение воздуха. Рабочий процесс в поршневом детандере противоположен процессу сжатия воздуха в пор-

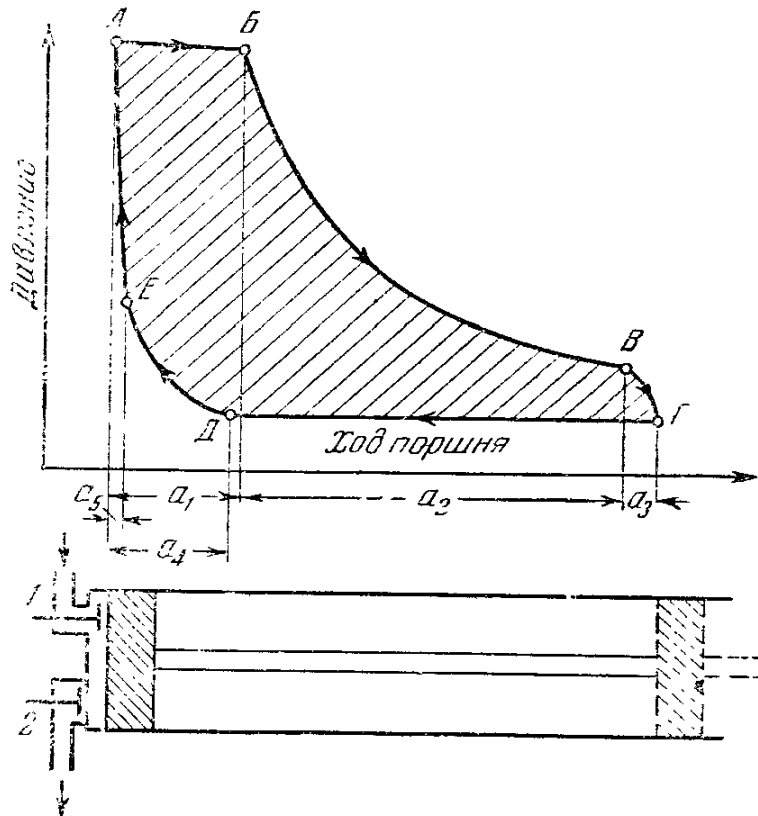


Рис. 67. Диаграмма рабочего процесса в детандере:  
1—впускной клапан; 2—выпускной клапан.

шневом компрессоре. На рис. 67 показана индикаторная диаграмма работы детандера. Внизу под этой диаграммой схематически изображен цилиндр детандера с поршнем и клапанами. Впуск сжатого воздуха происходит через клапан 1 в точке E и продолжается до точки B по линии E—A—B. В точке B, когда поршень пройдет путь  $a_1$ , клапан 1 закроется, и далее поршень будет двигаться на пути  $a_2$  за счет расширения газа в цилиндре детан-

дера. Процесс расширения, изображенный на диаграмме кривой  $B—B$ , сопровождается понижением давления воздуха в цилиндре. В точке  $B$  открывается выпускной клапан 2 детандера, и воздух начинает выходить из цилиндра. Точка  $\Gamma$  соответствует правому крайнему положению поршня. Дойдя до точки  $\Gamma$  поршень вследствие инерции маховика детандера начинает двигаться в обратном направлении, выталкивая расширившийся и охлажденный воздух в выпускной трубопровод. На диаграмме этому процессу соответствует линия  $\Gamma—Д$ . В точке  $Д$  выпускной клапан 2 закрывается, и по линии  $Д—Е$  происходит сжатие оставшегося в цилиндре воздуха. В точке  $Е$  вновь открывается впускной клапан 1 детандера, и процесс повторяется сначала.

Клапаны детандера открываются принудительно от кулачков распределительного вала, а закрываются под действием сильных спиральных пружин. Профиль кулачков рассчитан таким образом, чтобы опережение впуска  $a_3$  составляло 1—1,2%, опережение выпуска  $a_2$  составляло 2—3,5%, а сжатие  $a_1$  составляло 3—6% от хода поршня. Величина наполнения  $a_1$  устанавливается в зависимости от давления воздуха перед детандером. Для детандеров высокого давления  $a_1$  равняется 11—12%, а для детандеров среднего давления 20—40% от хода поршня.

Количество холода, полученное в детандере, пропорционально заштрихованной площади диаграммы, выражающей работу, произведенную воздухом в детандере. Правильное регулирование моментов открытия и закрытия клапанов детандера имеет большое значение для надежности и эффективности его работы. Увеличение хода наполнения  $a_1$ , так же как и повышение давления впуска, увеличивает холодопроизводительность детандера, а уменьшение понижает количество получаемого холода. Преждевременное открытие выпускного клапана уменьшает степень использования работы расширения и получаемое количество холода. Запоздывание начала сжатия вызывает сильные толчки в цилиндре детандера при впуске в него сжатого воздуха, вредно отражающиеся на работе машины. Преждевременное сжатие уменьшает площадь диаграммы, а следовательно, и количество полученного холода. Утечка воздуха через уплотнение поршня детандера также уменьшает его холодопроизводительность.

С целью регулирования холодопроизводительности детандера во время его работы, обычно изменяют или давление впускаемого воздуха, или число оборотов детандера. В некоторых конструкциях детандеров имеется приспособление для поворота распределительного вала или устройства, с помощью которых можно изменять зазор между толкателем и стержнем клапана. При увеличении этого зазора происходит запоздывание впуска, вследствие чего давление воздуха при впуске понижается и рабочая площадь диаграммы детандера уменьшается.

На работу детандера оказывает большое влияние также четкая работа его клапанов. Пропуск впускного клапана

или его заедание при закрытии вызывает повышение кривой расширения на диаграмме, что выражается в повышении давления и температуры воздуха после детандера. Пропуск выпускного клапана вызывает потерю воздуха из цилиндра при впуске и расширении, сопровождающуюся понижением холодопроизводительности детандера и повышением температуры воздуха после него.

**Конструкция детандеров.** Все существующие типы поршневых детандеров в зависимости от рабочего давления и температуры можно разделить на две основные группы:

а) детандеры высокого давления, работающие при давлении впуска 160—200 *ати*, температуре впуска от  $-20^{\circ}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  и температуре выпуска от  $-130^{\circ}$  до  $-170^{\circ}\text{C}$ ;

б) детандеры среднего давления, работающие при давлении впуска 15—50 *ати* и температурах воздуха от  $-70^{\circ}$  (впуск) до  $-170^{\circ}\text{C}$  (выпуск).

В детандерах высокого давления уплотнение поршня производят с помощью обычных металлических (чугунных или из фосфористой бронзы) поршневых колец. Для смазки рабочей поверхности цилиндра используют масло фригус, трансформаторное или веретенное, имеющие температуру замерзания от  $-25^{\circ}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ . В детандерах среднего давления уплотнение поршня осуществляется кожаными манжетами, работающими без всякой смазки. Этот тип уплотнения требует более тихоходных машин со средней скоростью поршня не более 0,5—0,8 *м/сек*, в то время как при уплотнении поршневыми кольцами эта скорость поршня может быть увеличена до 2—3 *м/сек*.

На рис. 68 изображен разрез детандера современной конструкции типа ДВД, применяемого в отечественных кислородных установках. Детандер ДВД представляет собой вертикальную одноцилиндровую машину. Картер 1 детандера имеет два коренных роликовых подшипника, в которых расположен одноколенчатый вал. На картере установлен чугунный средник 2, заодно с которым отлиты направляющие ползуна 3. Шатун 4 соединяет коленчатый вал 5 с пальцем 6 ползуна. На ползуне укреплен поршень 7,двигающийся в цилиндре 8. Впуск воздуха в цилиндр производится через впускной клапан 9, а выпуск—через выпускной клапан 10. На головке детандера установлен предохранительный клапан 11. Коленчатый вал снабжен двумя кулачками: впуска 12 и выпуска 13, открывающими соответствующие клапаны посредством штоков-толкателей 14 и 15. Смазка цилиндра детандера осуществляется от маслонасоса высокого давления 16, а смазка шатунно-кривошипного механизма—от шестеренчатого маслонасоса 17. Развиваемая детандером мощность передается на электрогенератор переменного тока посредством клиноременной передачи. Маховик 18 детандера имеет на ободке шесть канавок.

Регулирование холодопроизводительности детандера осуществляется изменением момента открытия и закрытия (отсечки) впускно-

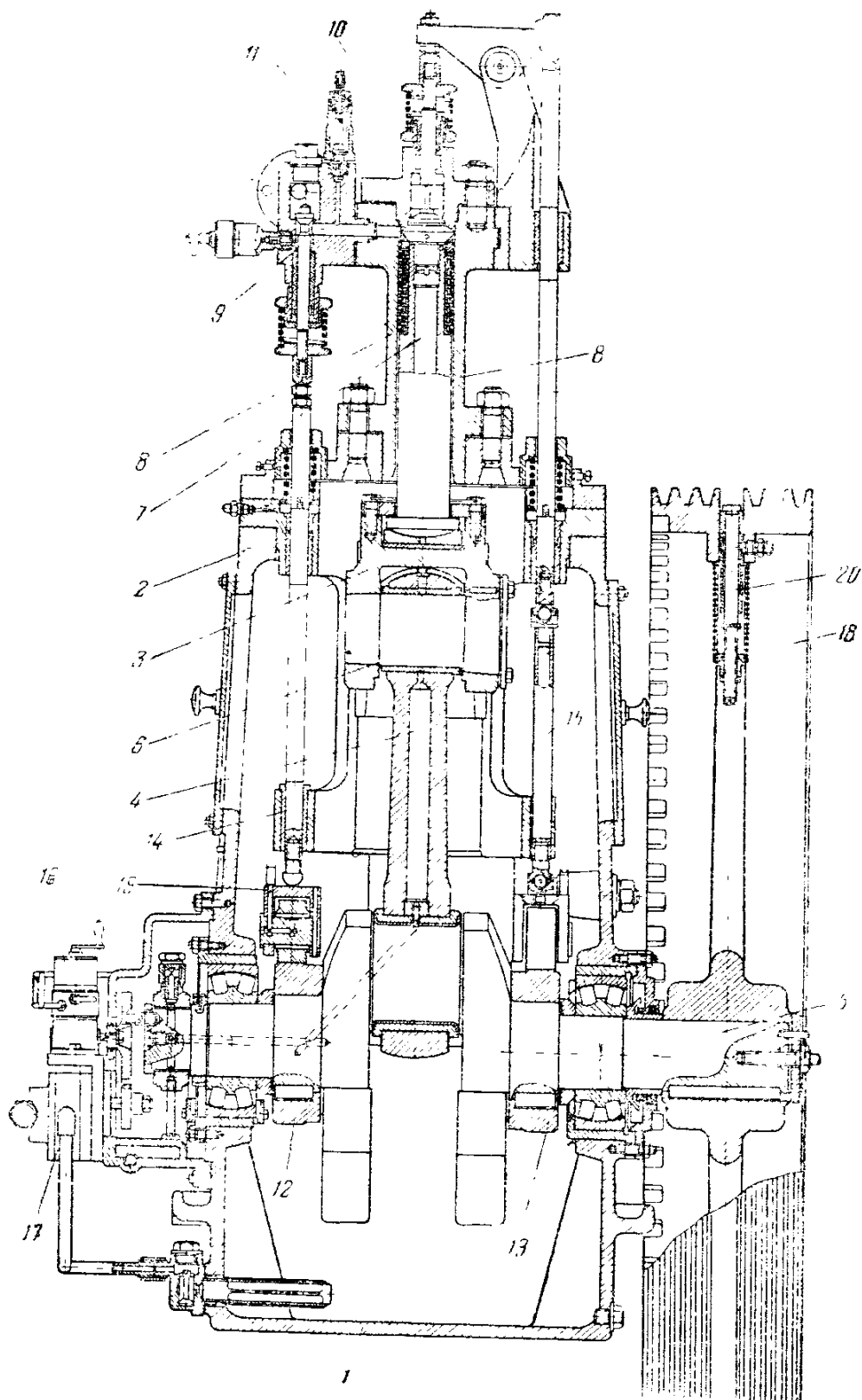


Рис. 68. Разрез детандера типа ДВД-2:

1—картер; 2—средник; 3—ползув; 4—шатун; 5—коленчатый вал; 6—палец ползуна; 7—поршень; 8—цилиндр; 9—впускной клапан; 10—выпускной клапан; 11—предохранительный клапан; 12—кулачок впуска; 13—кулачок выпуска; 14, 15—штоки-толкатели; 16—маслонасос; 17—шестеренчатый маслонасос; 18—маховик; 19—кулачковый механизм; 20—центробежный предохранитель.

го клапана. Для этого в детандере предусмотрен кулисный механизм 19, изменяющий положение ролика, передающего усилие от распределительного кулачка к толкателю клапана. Кроме того, можно изменять также зазор между штангой и толкателем впускного клапана.

Чтобы предохранить детандер от «разноса» в случае, например внезапного сбрасывания его нагрузки (например, при аварийном выключении тока) или заедания впускного клапана, на маховике детандера предусмотрен центробежный предохранитель 20. Если число оборотов маховика превысит допустимое, то груз предохранителя под влиянием центробежной силы выдвинется за обод маховика и ударит по собачке, которая освободит колодочный тормоз, останавливающий шкив. Одновременно собачка разомкнет цепь электрогенератора детандера и включит электромагнитный вентиль, который перекроет поступление в цилиндр детандера воздуха высокого давления.

В табл. 16 приведены технические данные поршневых детандеров отечественных кислородных установок.

О совершенстве конструкции и работы детандера судят по его *адиабатическому коэффициенту полезного действия*, который пред-

Таблица 16

Технические данные поршневых детандеров

Характеристика	Тип детандера		
	ДК-50	ДВД-2	ДВД-4
Тип кислородной установки . . . . .	СК-12	КГ-300 2Д	КТ-1000
Диаметр цилиндра, мм . . . . .	28	70	80
Ход поршня, мм . . . . .	130	180	180
Число об/мин. . . . .	320—340	200	255
Производительность, м <sup>3</sup> /час			
при пуске . . . . .	—	170	430
при нормальной работе . . . . .	60	120	325
Температура воздуха перед детандером, °С . . . . .	30	30	30
Температура воздуха после детандера °С			
при пуске . . . . .	—95	—118	—110
при нормальной работе . . . . .	—80	—85	—88
Давление воздуха перед детандером, <i>ати</i>			
при пуске . . . . .	200	200	200
при нормальной работе . . . . .	180—200	75—90	120
Давление воздуха после детандера, <i>ати</i> . . . . .	5	6	6
Мощность электрогенератора-гормоза, <i>квт</i> . . . . .	—	11	18
Вес детандера, <i>т</i> . . . . .	0,33	1,12	1,15

ставляет собой отношение фактически полученного количества холода к теоретическому количеству холода, которое можно было бы получить на каждый килограмм воздуха, расширяющегося в детандере. Этот коэффициент всегда меньше единицы и для поршневых детандеров равен 0,70—0,75.

*Пример.* При расширении воздуха в детандере с давления 200 ата до 6 ата и начальной температуре 30°С, на 1 кг воздуха получается 29 ккал/кг холода. Теоретически для этих же условий, если бы не было потерь холода в детандере, можно получить 41,5 ккал/кг. Следовательно, адiabатический к. п. д. детандера составит:

$$\frac{29}{41,5} = 0,7, \text{ или } 70\%$$

Цилиндры поршневых детандеров высокого давления смазывают маслом, частицы которого уносятся вместе с холодным воздухом из детандера. Замерзая, масло оседает на стенках теплообменной аппаратуры и забивает в ней проходы для газа. Поэтому для очистки детандерного воздуха от масла устанавливают специальные фильтры (рисунок 69). Фильтр представляет собой латунный сварной сосуд 1 цилиндрической формы с выпуклым дном 2 и плоской крышкой 3. Внутри сосуда вставлены три латунных цилиндрических стакана 4 с отверстиями. На каждый стакан надеты чулки 5 из плотной фланели. Детандерный воздух входит в фильтр снизу, проходит через фланель и выходит из фильтра сверху. Перед фланелевыми фильтрами расположен слой насадки из колец 6, улавливающих более крупные частицы масла. Обычно устанавливают два фильтра, работающие попеременно.

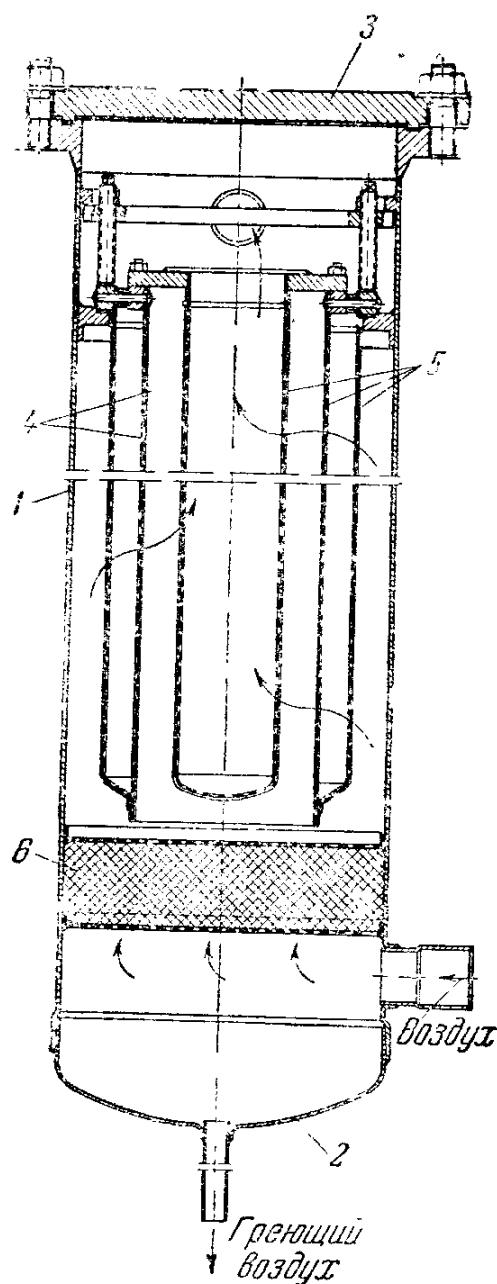


Рис. 69. Детандерный фильтр:  
1—корпус; 2—дно; 3—крышка;  
4—стаканы; 5—фланелевые чулки;  
6—насадка.

## 2. ТУРБОДЕТАНДЕРЫ

Турбодетандеры, так же как и поршневые детандеры, служат для расширения воздуха с целью его охлаждения и получения холода, необходимого для пуска и работы кислородной установки. В отличие от поршневых детандеров турбодетандеры могут быть применимы только в достаточно крупных установках, где при-

ходится расширять большие количества воздуха или азота при сравнительно небольших начальных давлениях, не превышающих 6—7 *атм*.

Процесс расширения воздуха в турбодетандере происходит обратного процессу сжатия его в турбокомпрессоре. В турбодетандере сжатый воздух выполняет определенную работу. Проходя через направляющие сопла и рабочее колесо, воздух расширяется, производя работу вращения колеса, и при этом сильно охлаждается.

Основным преимуществом турбодетандеров является отсутствие у них смазки рабочего пространства, подвергающегося действию низкой температуры расширяемого газа, и клапанов для впуска и выпуска газа.

В кислородных установках применяются два вида турбодетандеров—активного типа и реактивного типа.

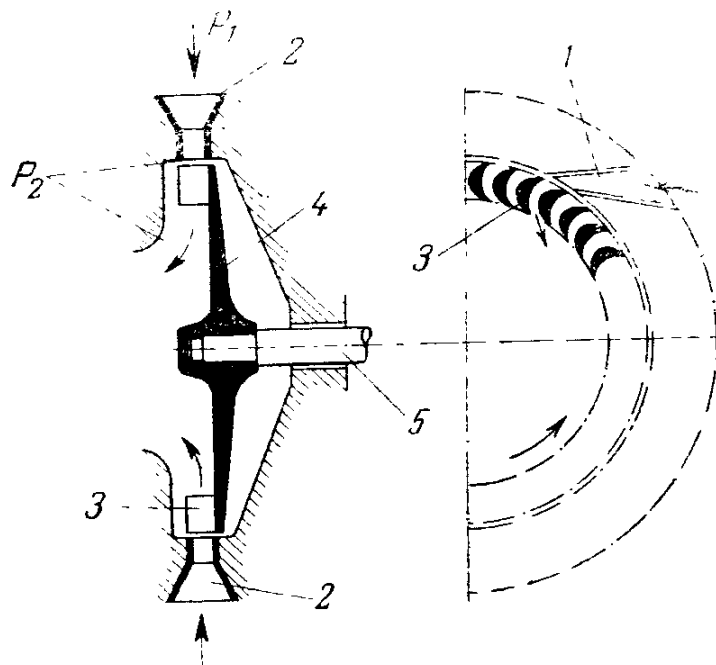


Рис. 70. Схема рабочего колеса турбодетандера активного типа:

1—сопла; 2—направляющий аппарат; 3—лопатки рабочего колеса; 4—диск рабочего колеса; 5—вал.

Схема рабочего колеса турбодетандера активного типа изображена на рис. 70. Сжатый воздух с давлением  $P_1$  поступает в сопла 1 неподвижного направляющего аппарата 2, в котором расширяется до давления  $P_2$ . Выходя с большой скоростью из сопел, струя воздуха ударяет в лопатки 3 рабочего колеса 4 турбодетандера и вращает его в направлении, указанном стрелками. Другой конец вала 5 колеса обычно соединен с электрогенератором, превращающим механическую энергию вращения рабочего колеса в энергию электрическую.

В турбодетандере активного типа газ полностью расширяется в направляющих соплах 1. При этом он приобретает большую скорость, и вся энергия расширившегося газа передается рабочему колесу посредством ударов струй воздуха о лопатки колеса.

В турбодетандерах активного типа необходимо применять очень высокие скорости истечения газа из сопел. Вследствие этого потеря энергии на трение рабочего колеса о воздух, на преодоление центробежных сил и на удар при входе струи в лопатки рабочего колеса достигает значительной величины, состав-



ляющей 40—50% от общего количества энергии. Поэтому адиабатический к. п. д. активных турбодетандеров обычно не превышает 0,5—0,6, в зависимости от режима работы.

На рис. 71 показан общий вид турбодетандерного агрегата для кислородной установки типа КТ-3600 с использованием активного турбодетандера. Сжатый, предварительно охлажденный в теплообменнике газ (азот или воздух) входит через трубу 1 в сопла направляющего аппарата 2, в которых расширяется, увеличивая при этом свою скорость. Ударяя в лопатки 3 рабочего колеса 4, газ вращает колесо, а затем, охладившись, уходит через трубу 5. Рабочее колесо сидит на конце вала 6, имеющего сальник 7. Вращение вала через редуктор 8 и муфту 9 передается

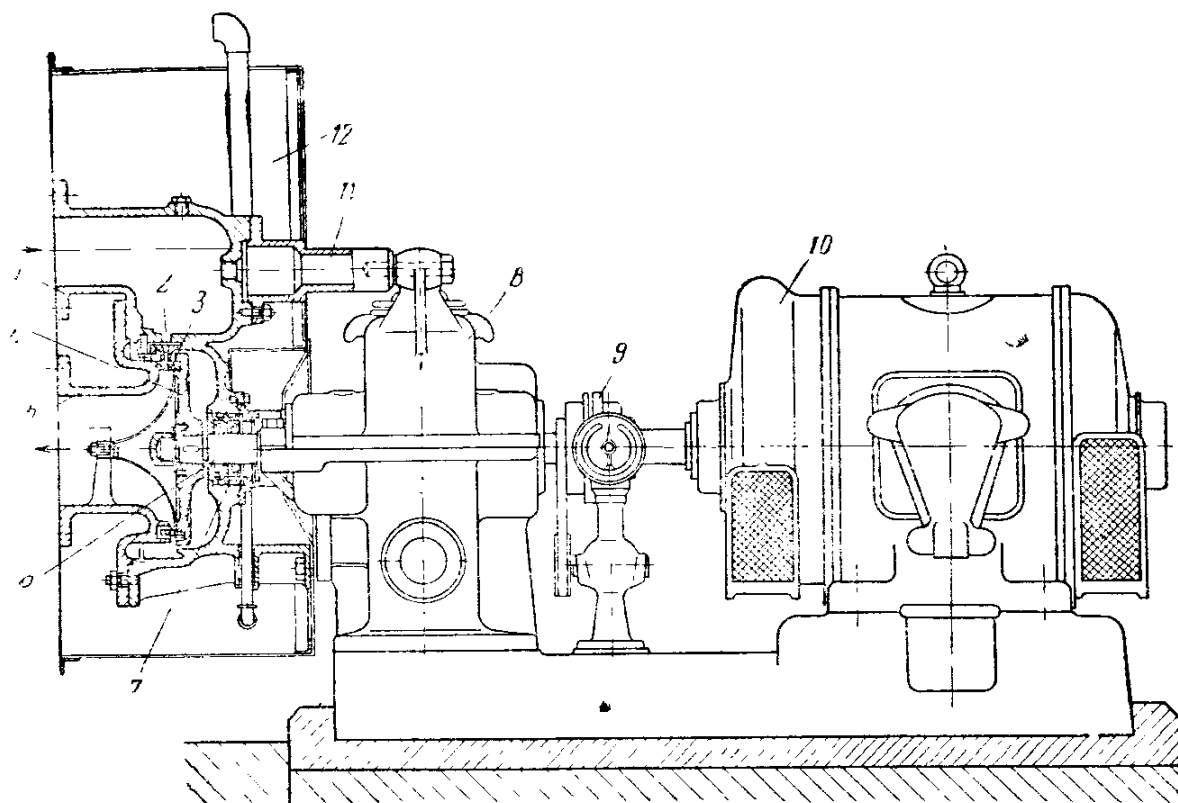


Рис. 71. Общий вид турбодетандерного агрегата для кислородной установки типа КТ-3600:

1—труба входа газа; 2—направляющий аппарат; 3—лопатки рабочего колеса; 4—рабочее колесо; 5—труба выхода газа; 6—вал; 7—сальник; 8—редуктор; 9—муфта; 10—электрогенератор; 11—кронштейн; 12—кожух с изоляцией.

электрогенератору 10. Корпус турбодетандера укреплен на специальном кронштейне 11 и помещен в кожух 12, засыпанный изоляцией из шлаковой ваты. Смазка подшипников производится под давлением от шестеренчатого маслонасоса. Корпус турбодетандера отливается из бронзы, а рабочее колесо и его лопатки изготавливаются из дуралюмина. Вал рабочего колеса делает 7000 об/мин. Впуск сжатого газа в турбодетандер регулируется четырьмя вентилями, каждый из которых может включать или выключать одновременно семь сопел направляющего аппарата. Рабочее колесо турбодетандера установки КТ-3600 имеет наруж-

ный диаметр 352 мм и снабжено 124-мя лопатками, шириной 12 мм каждая. В зависимости от режима работы кислородного аппарата такой детандер может пропустить 800—3000 м<sup>3</sup>/час азота или воздуха при расширении в детандере с давления 5,5—5,6 ата до 1,3—1,2 ата.

Схема рабочего колеса турбодетандера реактивного типа показана на рис. 72. Сжатый газ под давлением  $P_1$  поступает в каналы неподвижного направляющего аппарата 1, где частично расширяется до некоторого промежуточного давления  $P_2$ . Выходя из направляющего аппарата с большой скоростью, струя газа, так же как и в активном турбодетандере, ударяет в лопатки рабочего колеса 2 и вращает его.

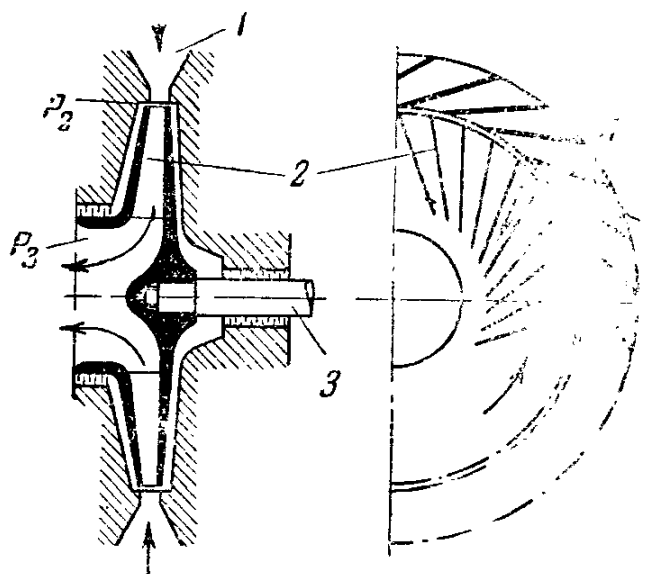


Рис. 72. Схема рабочего колеса турбодетандера реактивного типа:

1—направляющий аппарат; 2—лопатки рабочего колеса; 3—вал.

Лопатки колеса турбодетандера реактивного типа образуют изогнутые каналы, идущие от окружности колеса и расширяющиеся к его центру. Вследствие этого проходящий по каналам рабочего колеса газ дополнительно расширяется до конечного давления  $P_3$ , производя при этом дополнительную работу. Эта работа передается колесу посредством давления, оказываемого частицами движущегося газа на лопатки рабочего колеса (реакции газа). В реактивных турбодетандерах только половина запаса энергии сжатого газа передается колесу в форме удара струй газа. Вторая же половина энергии используется в форме реакции струй газа, расширяющегося в колесе турбодетандера. Благодаря этому в реактивном турбодетандере полезно используемый перепад давления почти в 2 раза превышает таковой для детандеров активного типа.

В реактивном турбодетандере скорости газа могут быть слишком большими, что уменьшает потерю энергии на трение и удар. Кроме того, в реактивном турбодетандере возникающие в колесе центробежные силы частиц плотного холодного воздуха вследствие специальной формы лопаток, способствуют вращению колеса.

В силу указанных особенностей турбодетандеры реактивного типа имеют более высокий к. п. д., равный 0,8—0,83, что почти в 1,5 раза превышает к. п. д. турбодетандеров активного типа

при одинаковых условиях (начальном давлении и температуре). Это обстоятельство имеет очень важное значение для кислородных установок, работающих с использованием воздуха только низкого давления, в которых турбодетандер является основной холодопроизводящей машиной. Поэтому в этих установках применяются турбодетандеры только реактивного типа. Принцип действия и конструкция турбодетандеров реактивного типа впервые были разработаны и использованы в нашей стране (акад. П. Л. Капица) и являются достижением отечественной науки и техники.

### 3. ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОРШНЕВЫХ ДЕТАНДЕРОВ

**Подготовка к пуску и пуск.** Перед пуском необходимо повернуть маховик детандера вручную для того, чтобы убедиться, что машина собрана правильно и ничто не мешает движению ее частей. Затем нужно привести в движение вручную маслонасос высокого давления, избегая обильной подачи масла в цилиндр. При этом следует открыть пробный масляный кран, появление смазки в котором покажет, что трубопровод заполнен маслом.

Поворачивая маховик, поставить поршень в положение, соответствующее началу открытия впускного клапана. Открыть запорный вентиль на трубе, соединяющей детандер с кислородным аппаратом. Открыть продувочный вентиль перед детандерным фильтром и начать осторожно открывать вентиль впуска воздуха высокого давления в цилиндр детандера. При этом детандер начинает работать, постепенно повышая число оборотов. Когда число оборотов вала приблизится к нормальному, можно включить электрогенератор детандера. При этом вал снизит число оборотов, которое можно увеличить дальнейшим открытием вентиля впуска воздуха высокого давления, постепенно открыв этот вентиль полностью. После этого закрыть продувочный вентиль перед фильтром.

Следует помнить о том, что нельзя приводить в движение поршень детандера, имеющий металлические уплотняющие кольца, смазываемые маслом, без впуска в цилиндр детандера воздуха высокого давления. Если это сделать, то произойдет засасывание масла из детандерного фильтра в цилиндр детандера. При последующем впуске в цилиндр воздуха высокого давления это масло замерзнет и забьет выхлопной клапан, нарушив нормальную работу детандера, или вызовет поломку клапана.

**Остановка детандера.** При остановке следует открыть продувочный вентиль и закрыть вентиль на трубопроводе высокого давления. Последний следует закрывать не полностью; окончательно его надо закрыть позже быстрым поворотом маховика вентиля, когда генератор будет уже выключен. Затем нужно выключить генератор и быстро нажать рычаг тормоза для ускорения остановки машины, после чего закрыть запорный вентиль на трубе, идущей к кислородному аппарату.

**Неполадки в работе детандера.** При пропуске в клапанах стрелка манометра начинает колебаться в такт выпуску, и температура выходящего воздуха повышается. Причиной пропуска клапанов чаще всего является намерзание на них масла или износ клапана. При обнаружении пропуска следует притереть клапаны. Притирка клапана производится на толченом стекле, смешанном с маслом. Ширина поверхности уплотнения на клапане, по которой ведется притирка, должна быть в пределах 1—1,5 мм. Поломка выпускного клапана происходит обычно вследствие слишком обильной подачи масла, которое попадает в холодную часть цилиндра и намерзает на клапане. При этом клапан может подвергнуться непосредственному удару поршня, что приведет к его поломке.

Обмерзание тела цилиндра, а не только его головки, является признаком пропусков в поршневых кольцах. Для устранения этого дефекта кольца необходимо заменить новыми. Новые кольца прирабатывают в течение 1—2 час. при снятых клапанах и обильной подаче масла, которую постепенно доводят до нормальной.

Быстрое нагревание цилиндра чаще всего происходит от неправильной пригонки поршневых колец, а нагревание, появляющееся после длительной работы машины, является следствием недостаточной смазки или загрязнения масла. Следует тщательно осмотреть поверхность поршневых колец и цилиндра. При слишком малом зазоре в замке кольца—зазор необходимо увеличить, чтобы дать кольцу возможность свободно выниматься из цилиндра. Обнаруженные на поверхности цилиндра риски могут образоваться вследствие загрязненности масла. В таком случае цилиндр следует тщательно шлифовать.

В тех случаях, когда при разборке цилиндра никаких дефектов не обнаружено, но после сборки он продолжает нагреваться, надо осторожно увеличить подачу смазки. Если увеличение подачи масла не дает результатов, следует вынуть клапаны и, дав цилиндру обильную смазку, пустить машину на 2—3 часа для приработки колец. Затем, удалив из цилиндра излишнее масло, собрать клапан и пустить машину при нормальной подаче масла.

При «заедании» впускного клапана детандер резко увеличивает потребление воздуха, и давление последнего перед детандером падает. Вследствие этого давление и температура воздуха после детандера резко повышаются, предохранительный клапан детандерного фильтра начинает травить, и детандер может начать идти «в разнос». В этом случае нужно немедленно остановить детандер, прекратив подачу воздуха высокого давления, и устранить дефект впускного клапана.

Негерметичность выпускного клапана вызывает утечку воздуха в момент его впуска и расширения. При этом холодопроизводительность детандера падает, давление за детандером возрастает, а температура воздуха на выходе из детандера незначи-

тельно увеличивается. В этом случае также следует остановить детандер и устранить негерметичность клапана. Если выпускной клапан «заел» во время его открытия, то потребление воздуха детандером возрастает, а давление перед ним резко падает; снижается холодопроизводительность детандера, и температура на выходе значительно повышается. Детандер нужно остановить и, сняв клапан, установить и устранить причину заедания. Чаще всего заедание происходит вследствие попадания посторонних частиц в направляющие клапана, искривления его штока, сильной затяжки сальника штока клапана.

#### 4. ОБСЛУЖИВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ

**Подготовка к пуску.** Перед каждым впуском воздуха в турбодетандер тщательно продувают трубопроводы, подводящие к нему газ. Если этого не сделать, то твердые частицы, находящиеся иногда в трубах, могут попасть на лопатки колеса турбодетандера и привести к износу или поломке лопаток. Посредством продувки удаляется также влага, которая, попав в детандер и замерзнув на его лопатках, может вызвать вибрацию колеса. Затем проверяют наличие масла в редукторе турбодетандера, открыв для этого вентиль ручного маслонасоса и подают масло до тех пор, пока манометр на маслопроводе не укажет повышение давления. Если уровень масла при этом упадет ниже красной черты маслоуказателя, то производят доливку масла в резервуар.

Проверяют действие предохранительной заслонки (шибера), закрывающей подачу воздуха в детандер при внезапном прекращении подачи тока к генератору. Заслонка должна автоматически закрываться при выключении рубильника подвода тока к генератору. Если детандер имеет демпфер\*, то проверяют наличие в масленке демпферной жидкости, открыв подачу последней и заполнив демпфер до установленного уровня. При этом жидкость должна пройти во все каналы, зазоры и маслопроводы демпферного пространства. В детандерах, где обогрев подшипников производится посредством воды, регулируют поступление ее в водяные камеры.

**Пуск турбодетандера** производят следующим образом. Сначала включают рубильник на электрощите, подводящем ток к центробежному выключателю и через него к генератору. Если турбодетандер соединен муфтой непосредственно с турбокомпрессором, то сначала пускают турбокомпрессор, а затем открывают вентиль подачи воздуха в турбодетандер.

Если детандер пускают в ход первый раз или после длительной остановки, то его вал поворачивают несколько раз вручную для того, чтобы убедиться в отсутствии помех вращению колеса, например заедания какой-либо части колеса за корпус и т. п.

---

\* Демпфером называется приспособление, предназначенное для поглощения механических колебаний (в данном случае — колебаний вала детандера).

Затем закрывают доотказа впускной вентиль и открывают предохранительную заслонку и вентиль на выпускном трубопроводе детандера. Производят в течение 2—3 мин. прокачку масла ручным насосом, следя за тем, чтобы давление масла до фильтр-холодильника не превышало 4—5 *ати*, а после него—0,5 *ати*. Не прекращая подкачку масла ручным насосом, медленно открывают вентиль впуска сжатого воздуха в турбодетандер, который в это время начинает постепенно набирать обороты. При этом следят за тем, чтобы центробежный выключатель сработал и включил генератор. Если этого не произошло и детандер пошел «в разнос», то немедленно закрывают вентиль впуска газа. Когда детандер достигает нормального числа оборотов и давление масла установится, подкачку масла ручным насосом прекращают и вентиль на всасывающей трубе ручного насоса закрывают. Поддачу воды в холодильник включают в тот момент, когда температура масла достигнет 30°C.

**Обслуживание турбодетандера во время работы.** Обслуживание турбодетандера состоит в наблюдении за давлением, уровнем и температурой масла. Падение давления масла за фильтр-холодильником ниже 0,5 *ати* свидетельствует о загрязнении фильтра. Фильтр можно отключить и прочистить на ходу, не останавливая турбодетандера. При понижении уровня масла ниже красной черты необходимо найти причину утечки масла и устранить ее. В некоторых случаях утечка масла может происходить вследствие негерметичности холодильника. Надо следить за непрерывной подачей воды в маслохолодильник и в случае прекращения подачи воды остановить турбодетандер.

При правильной работе турбодетандер дает ровное гудение, постоянного тона. Температура подшипников не должна превышать 60°C. Находящийся вне изоляции вал детандера не должен сильно обмерзать и покрываться слоем льда. Во всех случаях нарушений нормальной работы турбодетандера, в частности внезапного увеличения числа его оборотов, он должен быть немедленно остановлен. После остановки следует выяснить и устранить причину, нарушившую нормальную работу машины.

**Остановку турбодетандера** производят путем закрывания вентиля для подачи сжатого газа в детандер, после чего выключают рубильник на щите. Затем открывают вентиль на всасывающей трубе ручного маслонасоса и производят прокачивание масла вручную до полной остановки турбодетандера. После этого прекращают подачу воды в маслохолодильник.

Во всех случаях, требующих немедленной остановки турбодетандера, сначала закрывают шибер, пользуясь для этого имеющейся на нем аварийной ручкой, затем закрывают вентиль подачи сжатого газа в турбодетандер, прокачивают ручным насосом масло до полной остановки машины и, закрыв подачу воды в маслохолодильник, выключают рубильник на щите.

## 5. РЕМОНТ ДЕТАНДЕРОВ

Устранение механических дефектов отдельных деталей детандеров производят теми же приемами и средствами, как и дефектов деталей компрессорных машин. Ознакомимся с некоторыми особыми случаями ремонта поршневых, детандеров, имеющими наиболее важное значение для их правильной эксплуатации. Ремонт и сборка турбодетандеров более сложны и требуют обычно привлечения завода-изготовителя. В связи с этим они не описаны в данной книге.

**Ремонт цилиндров.** Цилиндры детандеров изготавливаются коваными из стали. Повреждение рабочей поверхности зеркала цилиндра и появление на ней рисок, задиров, трещин и прочих дефектов вызывает пропуск в поршневых кольцах, который обуславливает уменьшение холодопроизводительности детандера. При этом цилиндр детандера начинает обмерзать снаружи, в то время как при достаточном уплотнении поршня обмерзанию подвергаются только часть головки и выпускной клапан детандера. Для удаления дефектов с зеркала цилиндра его шлифуют или производят расточку с последующей шлифовкой. Если при расточке рабочая площадь цилиндра увеличивается более чем на 10%, то в цилиндр запрессовывают стальную втулку, внутреннюю поверхность которой растачивают до требуемого размера и затем шлифуют.

При сборке детандера необходимо проверить величину линейного вредного пространства цилиндра. Эту величину определяют, закладывая в цилиндр свинцовую проволоку, которая сплющивается при крайнем положении поршня.

Вредное пространство не должно превышать:

Для малых машин до 250 м <sup>3</sup> /час . . .	0,3—0,5 мм
Для средних машин 250—1000 м <sup>3</sup> /час . . .	до 1 мм
Для крупных машин 1000—2000 м <sup>3</sup> /час . . .	1,5—2 мм

Увеличение вредного пространства понижает холодопроизводительность детандера.

**Ремонт клапанов.** В результате ударов, испытываемых клапанами при работе детандера, они изнашиваются, начинают пропускать воздух, а иногда и ломаются. Пропуск устраняют путем притирки клапана к седлу. Сломанный клапан заменяют новым.

Герметичность клапанов следует проверять при каждой смене колец или манжет поршня детандера.

Клапаны изготавливают обычно из стали марки 12ХНЗА. Головки клапанов подвергают цементации, а после окончательной обработки клапанов—закалке при 780—800°С с охлаждением в воде и отпуску при 180—200°С. Следующей стадией обработки клапана является шлифовка. Притирку цилиндрической части клапана производят на токарном станке с помощью бархатной шкурки, прижимаемой к клапану деревянными зажимами с кожаными прокладками. Седло клапана протирают пастой ГОИ или мелко толченым стеклом, замешанным на веретенном масле.

В процессе пригирки клапан поворачивают вправо и влево, слегка прижимая к седлу. По окончании притирки клапан и седло тщательно промывают от остатков пасты и масла.

Клапаны изготовляют также из нержавеющей стали марки Я-1, причем направляющая втулка делается из фосфористой бронзы. Хорошие результаты дает изготовление клапанов из нержавеющей хромоникелевой стали марки ЭИ-10 с последующим азотированием до необходимой твердости. В этом случае седло должно изготовляться из той же стали, но обладающей большей твердостью.

Изготовление уплотнительных колец для сальниковой набивки клапана производится из сплава, состоящего из 80% свинца, 12% олова и 8% сурьмы. Кольца тщательно обрабатываются на станке по размеру отверстия корпуса клапана и диаметра его штока. В детандерах двойного действия, имеющих шток с сальником, сальниковую набивку для него и набивку для сальников штоков клапанов изготовляют из свинцово-графитовых колец. Для этого на станке нарезают свинцовую стружку сечением  $0,2 \times 1$  мм, длиной 100—200 мм, которую слоями укладывают в прессформу, пересыпая слой чешуйчатым графитом и спрессовывают. Готовое кольцо нужного диаметра и высоты разрезают под углом  $45^\circ$  таким образом, чтобы плоскости срезов были перпендикулярны к оси клапана. Для изготовления колец применяется также смесь из 60% свинцового порошка и 40% чешуйчатого графита. В качестве связывающего вещества служит асбест, который закладывают в прессформу в количестве 2—3 прядей диаметром 2—3 мм.

Уплотняющая набивка штоков клапанов не должна быть сильно затянута и шток должен двигаться в сальнике от легкого усилия руки.

Пружины для клапанов детандера изготовляют из стали марки ПЖ-II путем холодной навивки, без термообработки. После навивки пружину подвергают осадке, сжимая ее в специальном приспособлении до полного соприкосновения витков. Сила пружины должна быть достаточной для преодоления трения в сальнике штока клапана. При сборке клапанов необходимо тщательно законтривать гайки клапанных бойков, чтобы во время работы не произошло изменения зазора между бойком и толкателем, что нарушает работу детандера.

**Ремонт кулачков.** Износ кулачков устраняется хромированием рабочей поверхности кулачка или его заменой. Кулачки изготовляют из углеродистой стали Ст. 45. Обработку наружного профиля кулачка производят на фрезерном станке с точностью до 0,05 мм. После этого кулачок шлифуют или опиляют вручную с проверкой по угольнику и специально изготовляемому шаблону, а затем зачищают мелкой шкуркой. Готовый кулачок подвергают цементации или закалке с последующим отпуском до требуемой твердости. Во время нагрева кулачка следят, чтобы на нем не



образовался слой окалины. После термообработки кулачок окончательно зачищают мелкой шкуркой.

На маховике детандера делают риски, способствующие правильной установке кулачков распределения и облегчающие регулировку клапанов.

**Смена и изготовление кожаных манжет.** Ряд конструкций импортных детандеров среднего давления имеет поршень, уплотняемый кожаными манжетами. При износе манжет они начинают пропускать сжатый воздух, что обнаруживается по уменьшению разности между температурой воздуха до и после детандера. Холодопроизводительность детандера при этом падает и для поддержания нормального режима работы аппарата приходится повышать давление воздуха перед детандером. В таком случае износившиеся манжеты при первой остановке аппарата на отогрев заменяют новыми.

Манжеты изготовляют из хромового или хромового муфтового чепрака толщиной 4,25—4,5 мм и влажностью не свыше 16%. Кожа для манжет должна иметь гладкую лицевую поверхность. Предварительно кожу тщательно обезжиривают промывкой в 10-кратном к весу кожи количестве дихлорэтана. Промывку производят в течение 24 час. при комнатной температуре и двукратной смене растворителя, после чего кожу сушат на воздухе.

Обезжиренную кожу пропитывают расплавленным парафином при 75°C или церезином (искусственным воском) при 95° путем 3-минутного погружения кожи в эти вещества. При этом вес кожи увеличивается на 30% за счет поглощения ею пропитывающего вещества. После пропитки поверхность кожи очищают от остатков парафина или церезина. Затем манжету штампуют в горячем состоянии при 80—85°C с охлаждением в штампе до комнатной температуры. При штамповке лицевая часть кожи должна быть обращена наружу. Диаметр манжеты должен быть на 2—3 мм больше внутреннего диаметра цилиндра. На рабочей поверхности манжеты не должно быть складок и повреждений. Готовые манжеты хранятся в прохладном месте, собранными на деревянных болванках, в закрытом цилиндрическом футляре из жести, латуни или меди.

При установке в поршень манжету не следует затягивать слишком сильно во избежание очень плотного прилегания манжеты к цилиндру и быстрого ее износа. Манжета должна быть равномерно прижата ко всей внутренней поверхности стенки цилиндра. Между манжетой и цилиндром недопустимо попадание твердых посторонних частиц, так как это приводит к порче зеркала цилиндра и самой манжеты. Проверку состояния манжет детандера следует производить при каждой остановке аппарата на отогрев. Смена поршневых колец в детандере осуществляется аналогично смене колец в компрессоре.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Как протекает рабочий процесс в детандере и какое значение имеет работа клапанов?
2. Что такое адиабатический к. п. д. детандера и чем он определяется?
3. Как регулируется холодопроизводительность детандера?
4. Каков принцип работы турбодетандера активного типа?
5. Каков принцип работы турбодетандера реактивного типа и в чем преимущества этой машины?
6. В чем состоит ремонт детандера и как он осуществляется?
7. В чем заключаются основные элементы техники безопасности при обслуживании детандеров?
8. Что следует предпринять, если детандер превысил нормальное число оборотов и пошел «в разнос»?
9. Какое значение имеет правильная смазка детандера для безопасности и надежности его работы?
10. Как производится пуск и остановка детандера?
11. Какие неполадки встречаются во время работы детандера, их причины и меры устранения?
12. В каком порядке производится пуск и обслуживание турбодетандера?
13. Как производится нормальная и аварийная остановки турбодетандера?
14. Определить к. п. д. детандера, фактическая холодопроизводительность которого равна  $20 \text{ ккал/кг}$  воздуха при теоретической холодопроизводительности  $41,5 \text{ ккал/кг}$ .

## ГЛАВА IX

# АППАРАТУРА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ, СЖИЖЕНИЯ И РЕКТИФИКАЦИИ ВОЗДУХА

### 1. ТЕПЛООБМЕННИКИ

**Назначение и устройство.** Теплообменники предназначены для осуществления процесса передачи тепла между потоками различных газов. При этом один из газов охлаждается, отдавая свое тепло другому газу, который, наоборот, нагревается. Передача тепла в теплообменниках происходит через стенку, разделяющую потоки теплообмениваемых газов.

Конструкция теплообменников бывает самой различной и определяется свойствами газов, а также их давлением и температурой.

Наиболее часто применяются трубчатые теплообменники, в которых газ с более высоким давлением идет внутри трубок, а газ с более низким давлением—между трубками. Для лучшей передачи тепла трубки в теплообменниках располагаются так, чтобы поток газа, омывающий их снаружи, был направлен перпендикулярно трубкам. Такие теплообменники называются поперечноточными.

Для теплообменников, работающих при низкой температуре, применяются цельнотянутые трубки из красной меди. Обечайки таких теплообменников изготавливаются из листовой латуни или красной меди. Для аммиачных теплообменников применяют только сталь, так как аммиак разрушает цветные металлы. Из углеродистой стали изготавливаются также теплообменники, работающие при положительной температуре и не соприкасающиеся с чистым кислородом. Как известно, кислород, содержащий влагу, вызывает сильную коррозию обычной стали. Кроме того, эта сталь при низкой температуре теряет свою пластичность и становится очень хрупкой.

На рис. 73 показана конструкция поперечноточного теплообменника, устанавливаемого над верхней ректификационной колонной кислородного аппарата производительностью  $130 \text{ м}^3/\text{час}$ . Основой теплообменника служит конический барабан 1, свернутый из листовой стали и покрытый сверху полудой. На барабан накручены в виде спиралей трубки из красной меди, уложенные рядами, плотно друг к другу. Первые 8 рядов трубок состав-

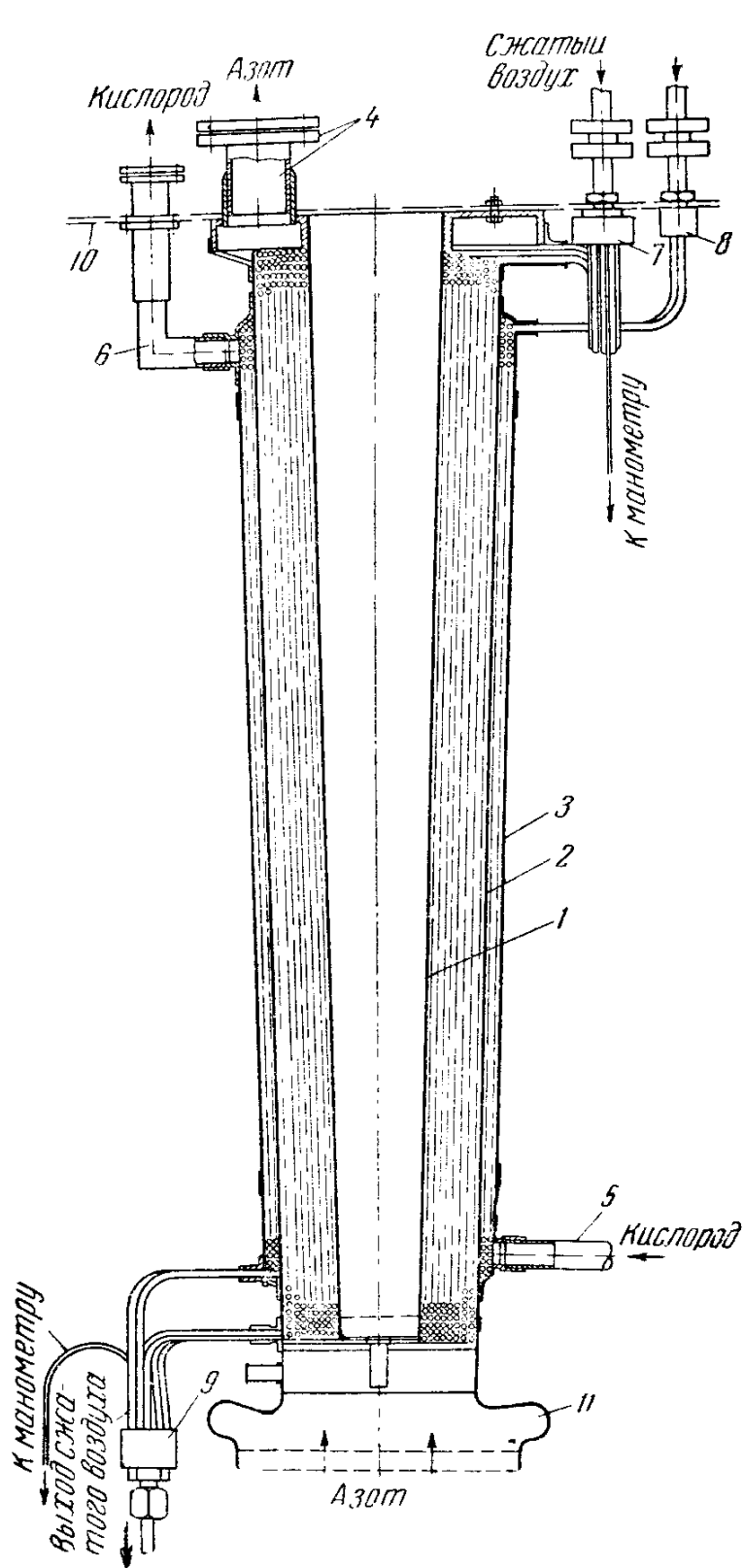


Рис. 73. Теплообменник кислородного аппарата:

1—барабан из листовой стали; 2—обечайка внутренняя; 3—обечайка наружная; 4—патрубок для выхода азота; 5—труба для входа кислорода; 6—патрубок для выхода кислорода; 7, 8, 9—коллекторы входа и выхода воздуха высокого давления; 10—крышка и выхода азота; 11—компенсаторы колонны.

ляют азотную секцию теплообменника; они покрыты обечайкой 2 из листовой латуни толщиной 0,8 мм. Первые 6 рядов азотной секции имеют трубки диаметром  $7 \times 10$  мм, седьмой ряд— $8 \times 12$  мм и восьмой ряд— $10 \times 14$  мм. Поверх обечайки азотной секции наверху еще два ряда трубок диаметром  $7 \times 10$  мм, образующих кислородную секцию теплообменника. Эти трубки защищены второй обечайкой 3 из латуни толщиной 0,8 мм.

Холодный азот из верхней ректификационной колонны входит в теплообменник снизу, проходит поперек трубок и, омывая их, отдает свой холод протекающему в трубках сжатому воздуху, а сам при этом нагревается. Нагретый азот уходит в атмосферу через патрубок 4. Холодный кислород входит также в нижнюю часть теплообменника по трубе 5 и, нагревшись за счет тепла сжатого воздуха, идущего внутри трубок, выходит в газгольдер через патрубок 6. Сжатый воздух поступает в трубки теплообменника сверху, через два коллектора 7 и 8 и уходит из него охлажденным через коллектор 9. Таким образом в теплообменнике осуществлено движение

воздуха навстречу потокам азота и кислорода.

Для удобства изготовления все соединения обечаек теплообменника делаются на пайке мягким припоем ПОС-40 и ПОС-33, содержащим соответственно 40 и 33% олова, остальное — свинец. Трубки высокого давления спаиваются в раструб медно-цинковым твердым припоем ПМЦ-51, содержащим 51% меди и 49% цинка. Максимальное давление в межтрубном пространстве теплообменника равно  $0,7 \text{ атм}$ , испытание производится на  $1,7 \text{ атм}$ . Трубки теплообменника испытываются гидравлически на  $330 \text{ атм}$ . Правильно намотанный теплообменник при продувке межтрубного пространства его секций соответствующим количеством воздуха должен давать сопротивление в пределах  $0,3—0,5 \text{ атм}$ .

Если трубки теплообменника навиты слишком слабо, то скорость воздуха в теплообменнике будет недостаточна и теплопередача в нем будет идти менее интенсивно, что выразится увеличением разности температур между входящим воздухом и уходящими азотом и кислородом на теплом конце теплообменника. При нормальной работе теплообменника эта разность составляет в среднем около  $5^\circ$ .

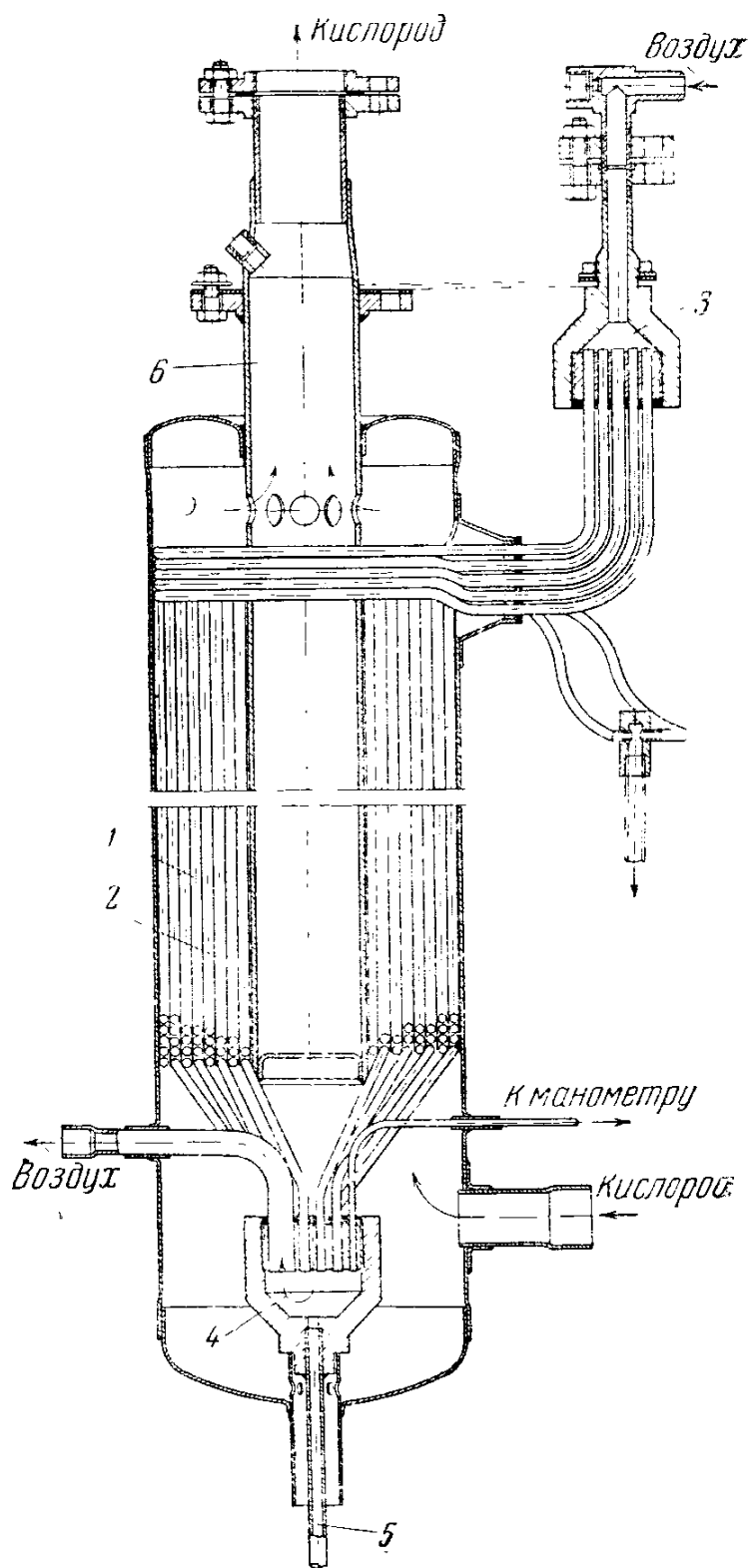


Рис. 74. Теплообменник кислородного аппарата КГ-300-2Д:

1—обечайка; 2—трубка теплообменника; 3—впускной коллектор; 4—выпускной коллектор; 5—продувочная трубка; 6—средняя труба теплообменника.

На рис. 74 показан поперечноточный теплообменник кислородного аппарата КГ-300-2Д. По трубкам идет сжатый воздух, а между трубок — отходящий кислород. Направление потоков указано стрелками.

**Ремонт теплообменников.** Дефектом теплообменников является негерметичность трубок и соединений, вызываемая разрывами трубок, обечаек, мест пайки и пр. Если пропуск имеется в трубках кислородной секции, то это сказывается на изменении чистоты отходящего кислорода, что определяется его анализом. Пропуск в обечайке кислородной секции и в трубках азотной секции вызывает уменьшение производительности аппарата. О наличии пропуска в наружной обечайке указывают следы промерзания изоляции аппарата в данном месте. Пропуски в обечайке устраняются запаиванием дефектного места мягким припоем. При пропуске в трубке дефектную трубку заглушают с обоих концов медными пробками и запаивают. Допускается заглушать не более 20% от всего количества трубок теплообменника, в противном случае надлежит подвергнуть теплообменник полному ремонту (перемотке) или заменить новым.

## 2. РЕГЕНЕРАТОРЫ

**Принцип работы и устройство.** В кислородных установках регенераторы выполняют ту же роль, что и теплообменники, т. е. служат для охлаждения основного потока воздуха, поступающего в кислородный аппарат. Наряду с этим регенераторы выполняют еще и другую функцию — они очищают проходящий через них воздух от влаги и углекислоты, которые вымерзают на насадке регенератора.

Конструкция регенераторов такова, что их целесообразно применять только на установках низкого давления, не превышающего 5—6 *ати*, и при больших объемах проходящего через них газа. Поэтому регенераторы широко применяются в средних и крупных кислородных установках производительностью свыше 300 *м<sup>3</sup>/час*, работающих с применением воздуха низкого давления.

При непрерывном процессе получения кислорода обычно ставят несколько (не менее двух) регенераторов. Проследим принцип работы двух регенераторов по схеме рис. 75. Пусть через один регенератор, например левый, проходит поток сжатого воздуха из компрессора в кислородный аппарат. В этом случае у левого регенератора будут открыты клапаны 1 и 2, и воздух, пройдя через него, охладится от соприкосновения с холодной насадкой. В этот период теплого дутья насадка регенератора несколько подогреется, имея все время внизу, у холодного конца регенератора, минусовую температуру, а вверху, у теплого конца регенератора, плюсовую температуру. За период теплого дутья температура проходящего через регенератор воздуха понижается с 20—30°C до —160 или —170°C. В это же время через второй регенератор (правый) идет обратный поток холодного азота или кислорода,

отводимый из воздуходелительного аппарата. В этот период холодного дутья у второго регенератора открывают клапаны 3 и 4. Поток холодного азота или кислорода охлаждает насадку регенератора и сам, дойдя до верхнего теплого конца регенератора, нагревается до плюсовой температуры. Таким образом насадка регенератора воспринимает «холод» уходящих из аппарата кислорода или азота и, вновь отдавая его потоку теплого воздуха, охлаждает последний. Насадка как бы сохраняет или восстанавливает (регенерирует) холод, имеющийся в кислородном аппарате. Отсюда регенераторы и получили свое название.

Через некоторое время (0,5—3 мин.) происходит автоматическое переключение потоков газа в регенераторах: охлаждаемый воздух начинают пропускать через правый регенератор, а холодные азот и кислород—через левый. Соответственно меняется и положение клапанов. В этот период в открытом состоянии находятся клапаны 5, 6, 7 и 8. Клапан 9 является перепускным. В момент переключения регенераторов он, перепуская часть оставшегося сжатого воздуха из одного регенератора в другой, выравнивает в них давление. Таким образом посредством перепускного клапана потери сжатого воздуха, неизбежные при переключении регенераторов, уменьшаются.

Очистка в регенераторах воздуха от влаги и углекислоты происходит следующим образом.

Когда воздух проходит регенератор, то влага оседает на насадке в виде капелек жидкости в той части регенератора, где температура насадки еще выше  $0^{\circ}$ . В пределах от  $0^{\circ}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  на насадке высаживается влага уже в виде инея, снега и плотного льда. Наконец при температуре от  $-135$  до  $-170^{\circ}$  на насадке начинает оседать и углекислота в виде снега. При продувании регенератора потоком обратных газов—азотом или кислородом, которые не содержат водяных паров и углекислоты—осевшие на насадке примеси вновь испаряются этими газами и уносятся с ними из регенератора. Следовательно, периодически при каждом переключении регенераторов происходит самоочистка насадки одного из них.

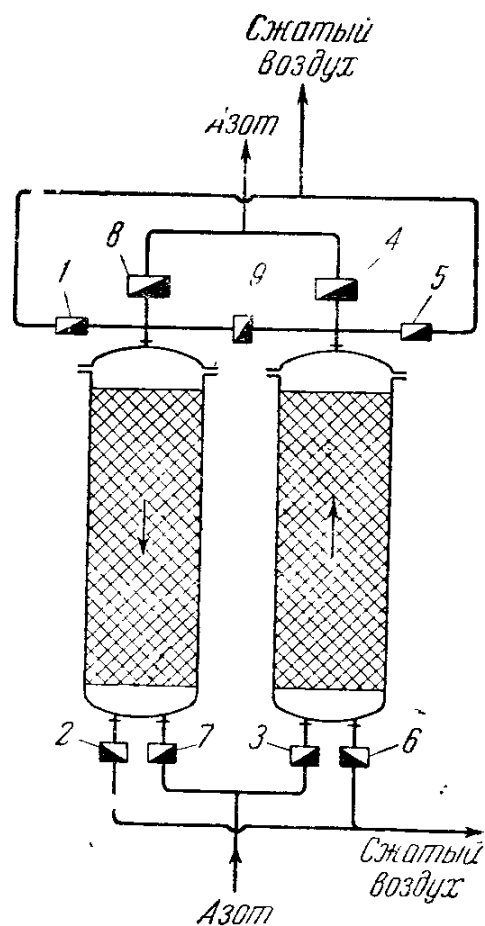


Рис. 75. Схема работы двух регенераторов:

1, 2, 7, 8 — переключающие клапаны первого регенератора; 3, 4, 5, 6 — клапаны второго регенератора; 9 — перепускной клапан.

Для полного удаления влаги и углекислоты необходимо, чтобы количество газов обратного потока несколько превышало (на 3—5%) количество воздуха прямого потока. Для этого меньшую часть воздуха прямого потока подают под более высоким давлением через теплообменники, помимо регенераторов. Содержащаяся в этой части воздуха углекислота поглощается в скрубберах раствором едкого натра. Обратный же поток кислорода и азота пропускают через регенераторы.

Вследствие этого количество воздуха, проходящего через регенератор в период теплого дутья, меньше, чем количество обратных газов, проходящих через регенератор в период холодного дутья, что обуславливает полную очистку регенераторов от осевшей в них влаги и углекислоты за время рабочего периода регенераторов.

Регенератор (рис. 76) представляет собою цилиндрический кожух 1, сваренный из листовой малоуглеродистой стали. В кожухе уложена насадка 2 в виде дисков (галет), свернутых из гофрированной алюминиевой ленты толщиной 0,2—0,3 мм и шириной 35—50 мм. Высота гофра ленты берется равной 2—3 мм при шаге 3—5 мм. Диск насадки регенераторов (рис. 77) свернут из двух лент, гофры которых направлены в противоположные стороны. Вследствие этого в насадке образуется большое число извилистых каналов, способствующих перемешиванию потока воздуха и более тесному соприкосновению последнего с поверхностью насадки. Такая конструкция дисков позволяет в 1 м<sup>3</sup> объема получить поверхность насадки, равную 2000 м<sup>2</sup> при весьма небольшом (в пределах 0,05—0,1 атм) сопротивлении потоку газов.

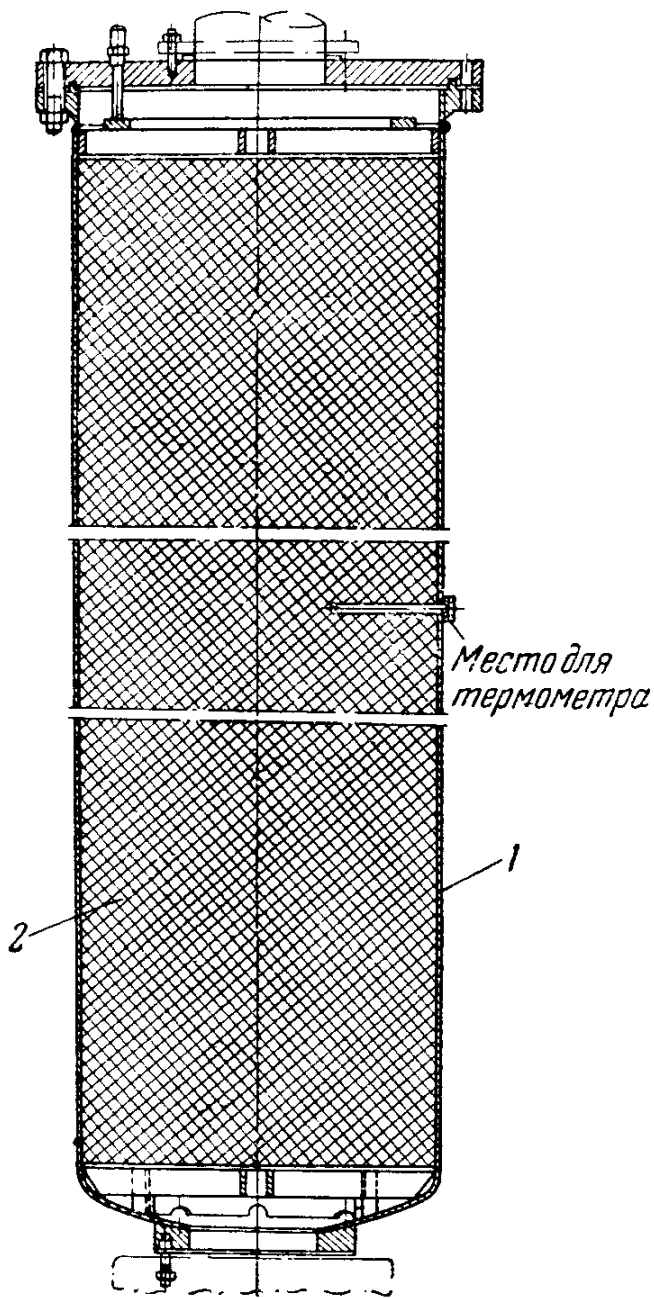


Рис. 76. Регенератор:  
1—кожух; 2—насадка.

ствующих перемешиванию потока воздуха и более тесному соприкосновению последнего с поверхностью насадки. Такая конструкция дисков позволяет в 1 м<sup>3</sup> объема получить поверхность насадки, равную 2000 м<sup>2</sup> при весьма небольшом (в пределах 0,05—0,1 атм) сопротивлении потоку газов.



**Клапанное устройство регенераторов.** Переключение потоков газа в регенераторах осуществляется с помощью клапанов. На теплом конце ставятся клапаны с принудительным открытием, а на холодном конце — автоматические, открываемые посредством напора газа и закрываемые с помощью пружин. Устройство клапана принудительного действия показано на рис. 78. Клапан состоит из корпуса 1, в котором расположен двухседельный клапан 2, сидящий на штоке 3. На одном конце штока находится поршень 4, вставленный в цилиндр 5. В этот цилиндр впускается воздух под давлением 12—15 *ати*, который открывает и закрывает основной клапан. На другом конце штока укреплен поршень 6,двигающийся в цилиндре 7, заполненном маслом. Этот поршень является амортизатором, смягчающим удары при посадке клапана. Уплотнение штока обеспечивается сальниками 8.

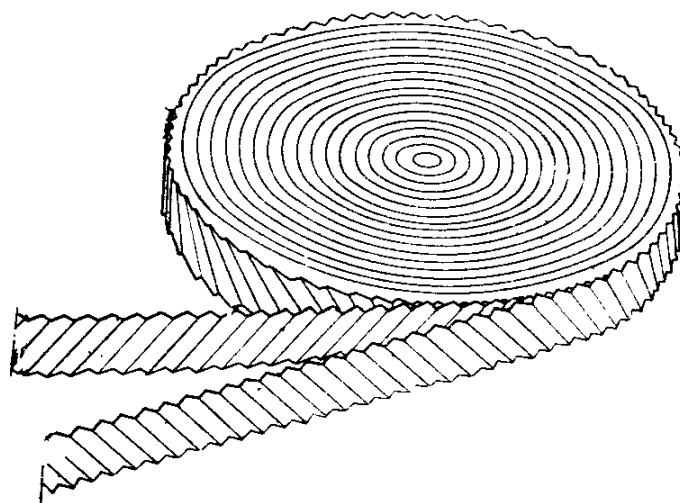


Рис. 77. Диск насадки регенератора.

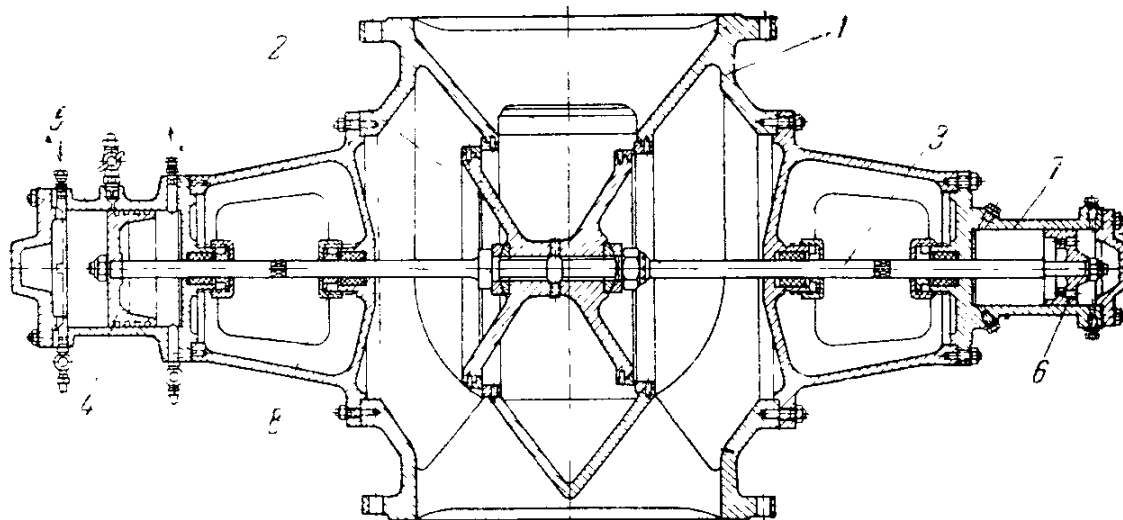


Рис. 78. Клапан принудительного действия:

1 — корпус; 2 — двухседельный клапан; 3 — шток; 4 — поршень; 5 — цилиндр; 6 — поршень амортизатора; 7 — цилиндр амортизатора; 8 — сальники.

Впуск и выпуск сжатого воздуха в пневматический цилиндр клапана принудительного действия осуществляется с помощью специального переключающего механизма, снабженного системой клапанов. Эти клапаны поочередно открываются посредством

кулачков, посаженных на распределительный вал, который вращается с заданным числом оборотов от отдельного электродвигателя.

Схема механизма управления клапанами регенераторов показана на рис. 79. Сжатый воздух поступает в коллектор 1, в котором

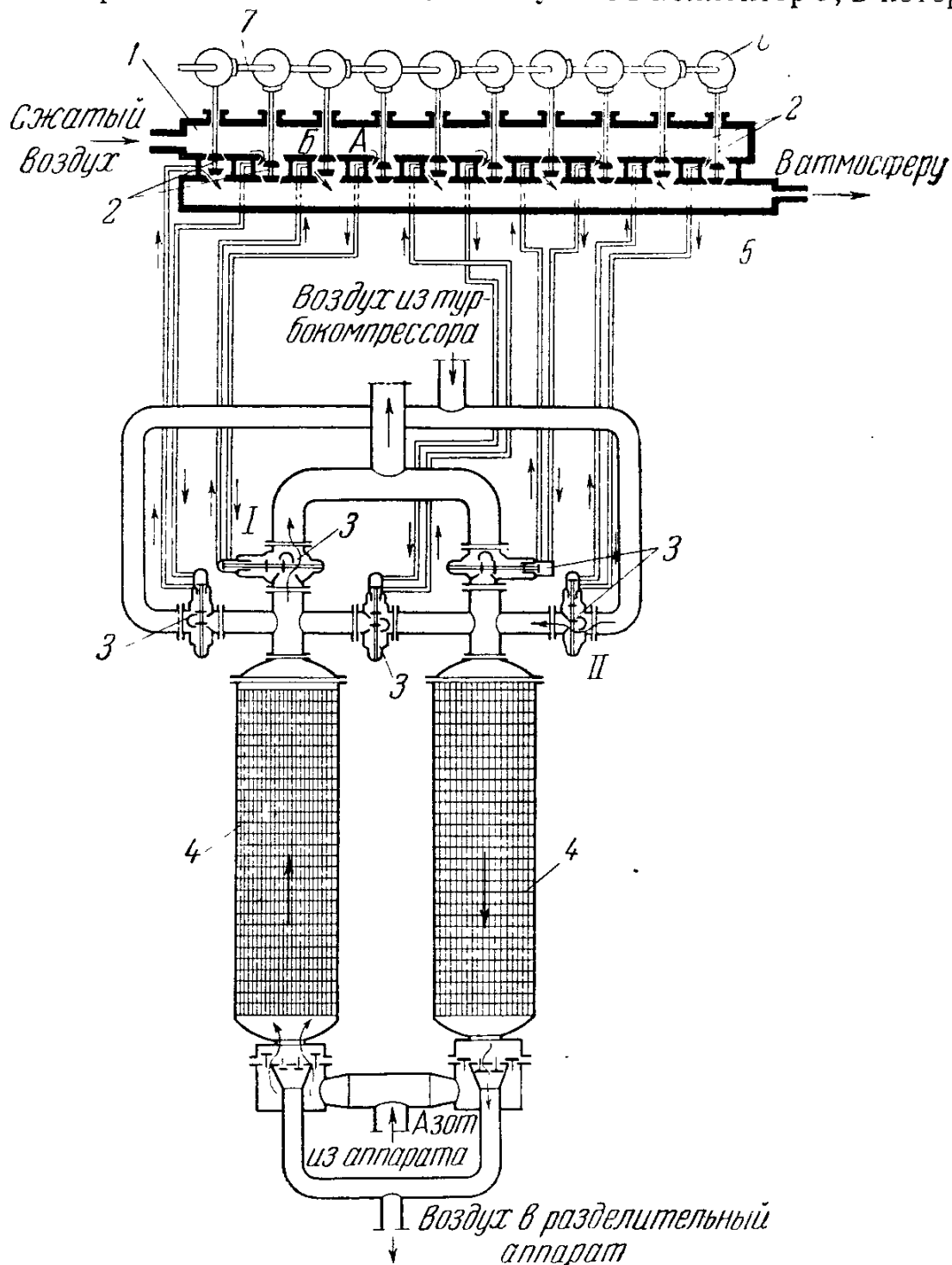


Рис. 79. Схема механизма управления клапанами регенераторов:

1—впускной коллектор; 2—распределительные клапаны; 3—клапаны принудительного действия; 4—регенераторы; 5—коллектор выхлопной; 6—кулачки; 7—распределительный вал.

расположен ряд двухседельных распределительных клапанов 2. Эти клапаны посредством трубок сообщают пневматические цилиндры

принудительных клапанов 3 регенераторов 4 с впускным коллектором 1 и выхлопным коллектором 5. Клапаны 2 открываются под действием кулачков 6, сидящих на валу 7, а закрываются с помощью пружин (на схеме пружины не показаны). Проследим по схеме взаимодействие какой-либо пары распределительных клапанов, например А и Б, с принудительными клапанами I и II. При положении клапанов, указанном на схеме, сжатый воздух через распределительный клапан А поступает в правую полость цилиндра принудительного клапана I и толкает его поршень влево. В это же время вторая полость цилиндра через распределительный клапан Б сообщается с выхлопным коллек-

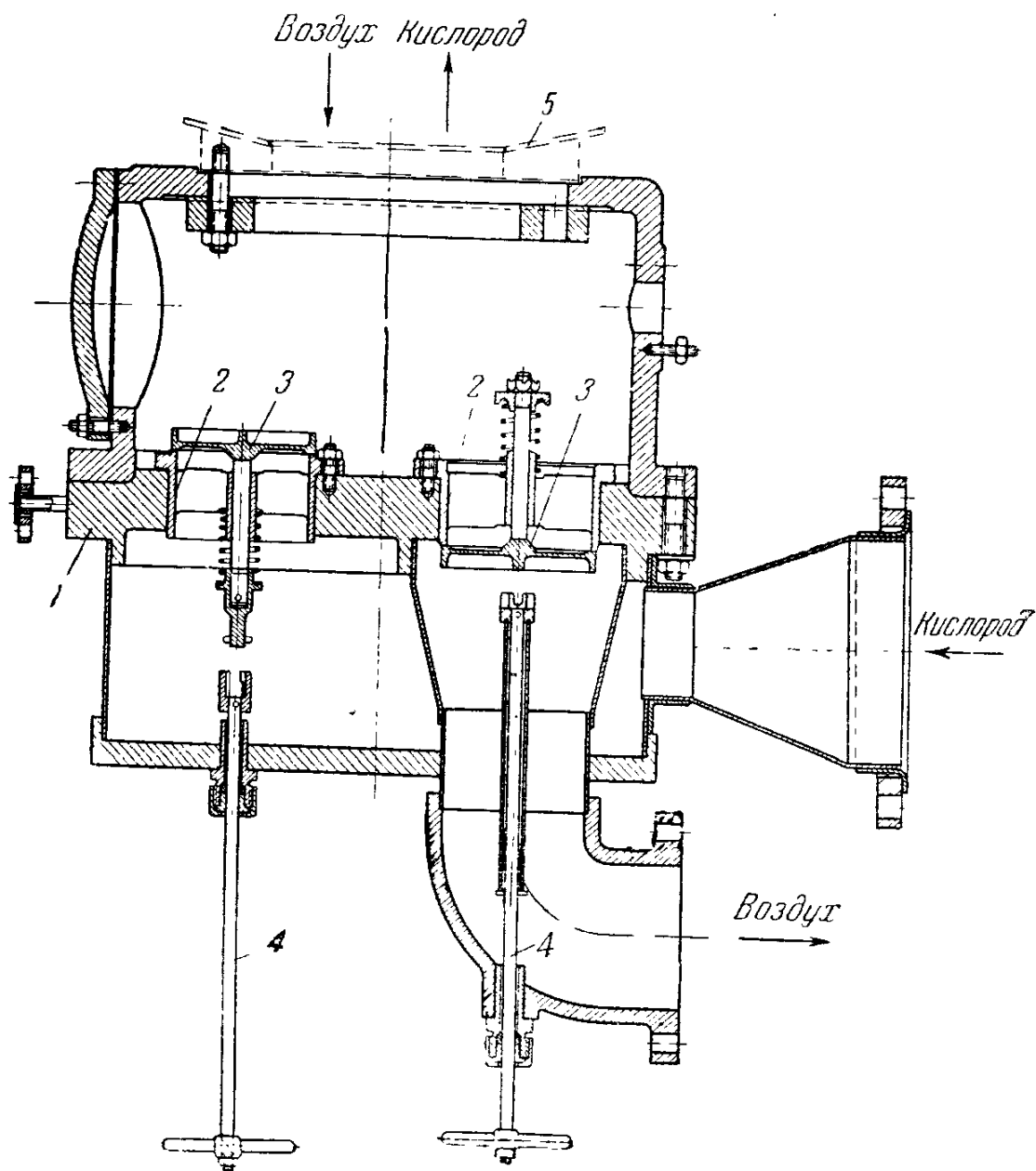


Рис. 80. Устройство автоматических клапанов регенератора:

1—плита; 2—штулки; 3—клапаны; 4—стержень; 5—дно регенератора.

тором, куда выходит воздух из левой полости цилиндра принудительного клапана I. Вследствие этого клапан I закрывается

и азот начинает проходить через левый регенератор. Аналогично изменяется положение принудительного клапана *II*, расположенного на воздушной линии турбокомпрессора, соответственно чему идущий из турбокомпрессора поток воздуха направляется в правый регенератор.

Устройство автоматических клапанов холодного конца регенератора показано на рис. 80. Клапан состоит из бронзовой плиты *1*, в которую вставлено несколько отдельных втулок *2* с пружинными тарельчатыми клапанами *3*. Часть этих клапанов служит для пропуска воздуха прямого потока, а другая часть, открывающаяся в противоположную сторону,—для пропуска обратного потока азота или кислорода. Втулки *2* изготавливаются из бронзы, а тарелки клапанов *3*—из дуралюмина с целью уменьшения сил инерции клапана при его открывании потоком газа и смягчения ударов при закрытии клапана пружиной. Стержни *4* служат для повертывания (шуровки) клапанов в случае примерзания тарелок к седлу или заедания штоков клапанов во втулках.

Основными неполадками в работе регенераторов являются пропуск или поломка частей клапанов принудительного и автоматического действия, а также клапанов распределительного механизма. Этим нарушаются установленное распределение потоков газов в регенераторах и температурный режим работы теплообменных аппаратов. Обнаруженные дефекты необходимо устранять заменой вышедших из строя частей. Пропуски в клапанах устраняют путем шлифовки и притирки рабочей поверхности к посадочным плоскостям клапана.

### 3. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсатор служит для сжижения (конденсации) паров азота, поступающих в него из ректификационной колонны. В аппаратах двукратной ректификации конденсатор располагается между верхней и нижней ректификационными колоннами и представляет собой трубчатый теплообменный аппарат, обычно вертикального типа. Концы трубок впаяны в две горизонтальные трубные решетки.

На рис. 81 показан конденсатор кислородного аппарата производительностью  $30 \text{ м}^3/\text{час}$ . Верхняя *1* и нижняя *2* решетки изготовлены из листовой меди и вылужены. В решетки впаяны медные трубки *3* размером  $6 \times 7 \text{ мм}$ , в количестве 630 шт. Общая поверхность теплообмена такого конденсатора составляет около  $6 \text{ м}^2$ . Верхняя решетка закрыта колпаком *4*, а к нижней решетке припаяна наружная обечайка *5*, верхняя часть которой соединяется с ректификационной колонной. Снизу к решетке *2* припаян конус *6*, соединяющий конденсатор с нижней колонной. Азот конденсируется в трубках, а кислород кипит в межтрубном пространстве конденсатора. Труба *7* служит

для отвода газообразного кислорода в газгольдер, а трубы 8 идут к предохранительным клапанам верхней и нижней колонны. Труба 9 предназначена для слива жидкого кислорода.

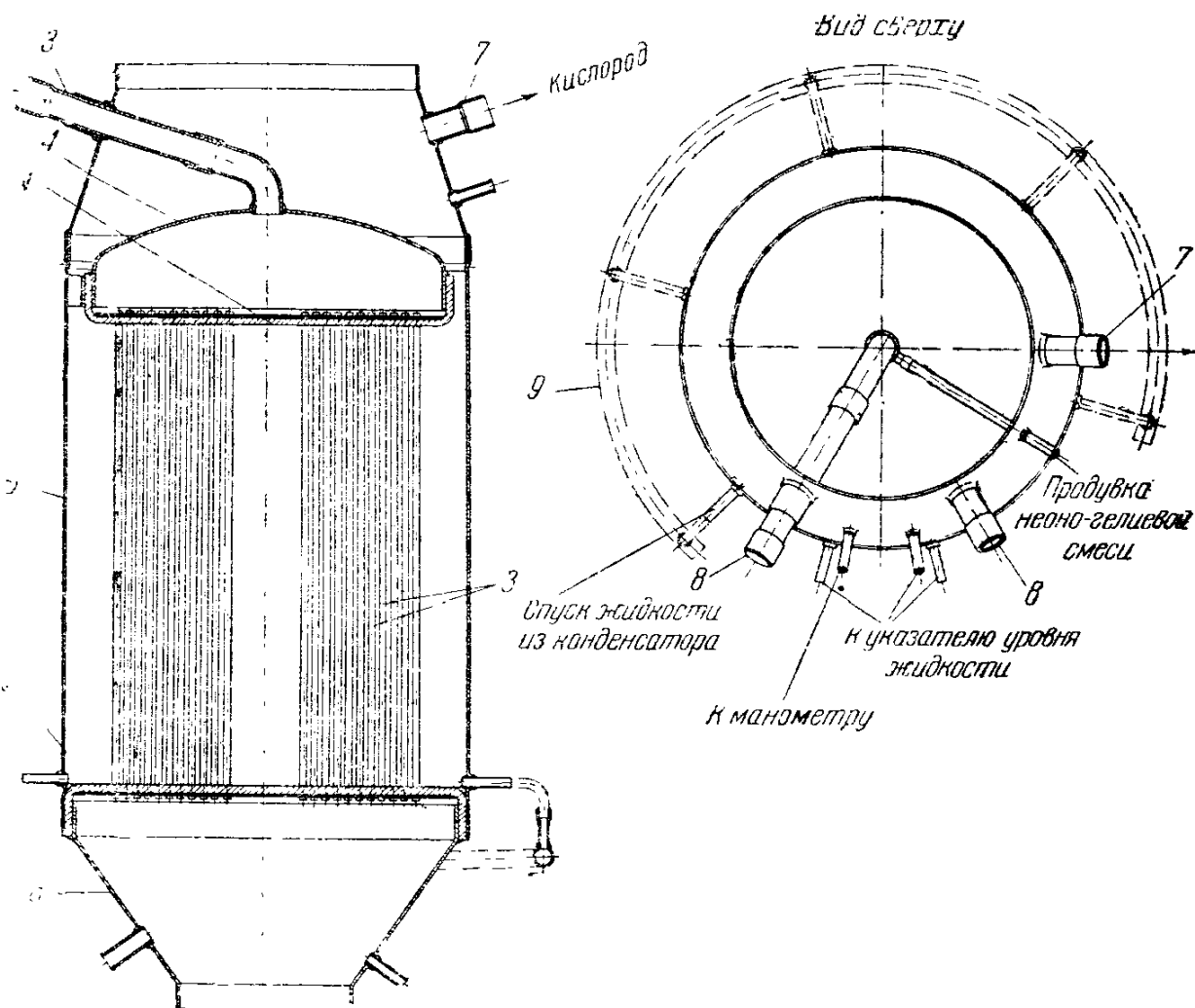


Рис. 81. Конденсатор аппарата производительностью 30 м<sup>3</sup>/час:

1—верхняя решетка; 2—нижняя решетка; 3—трубки; 4—колпак; 5—обечайка; 6—конус; 7—труба для отвода кислорода; 8—трубы к предохранительным клапанам; 9—труба для слива жидкого кислорода.

На рис. 82 изображен конденсатор крупной установки типа КТ-3600 производительностью 3600 м<sup>3</sup>/час кислорода. Этот конденсатор имеет решетки 1 и 2, отлитые из специального сплава ЛЖМЦ, содержащего 56% меди, 41% цинка, 1% свинца, 1% марганца и 1% железа. В конденсаторе находится 17 000 трубок размером 6×7 мм, общая поверхность которых равна 714 м<sup>2</sup>. Нижняя решетка конденсатора имеет форму конуса с целью облегчения слива кислорода по трубе 3. При такой форме решетки твердый ацетилен в случае выделения его из жидкого кислорода не оседает в конденсаторе, а удаляется вместе со сливаемой жидкостью.

В современных конструкциях кислородных аппаратов начинают применять так называемые обращенные конденсаторы, в ко-

торых кислород кипит в трубках, а азот конденсируется в межтрубном пространстве. Вследствие того, что пузырьки кислорода, поднимаясь по трубкам вверх, вызывают усиленную циркуляцию жидкости, такой конденсатор работает более интенсивно и имеет более высокий коэффициент теплопередачи. Поэтому при одинаковой производительности аппарата размеры и габариты обращенного конденсатора получаются меньшими, чем у конденсатора обычного типа.

Если в конденсаторе появляется пропуск газа, то азот, находящийся в конденсаторе под более высоким давлением, чем кислород, переходит в пространство, занятое кислородом. Вслед-

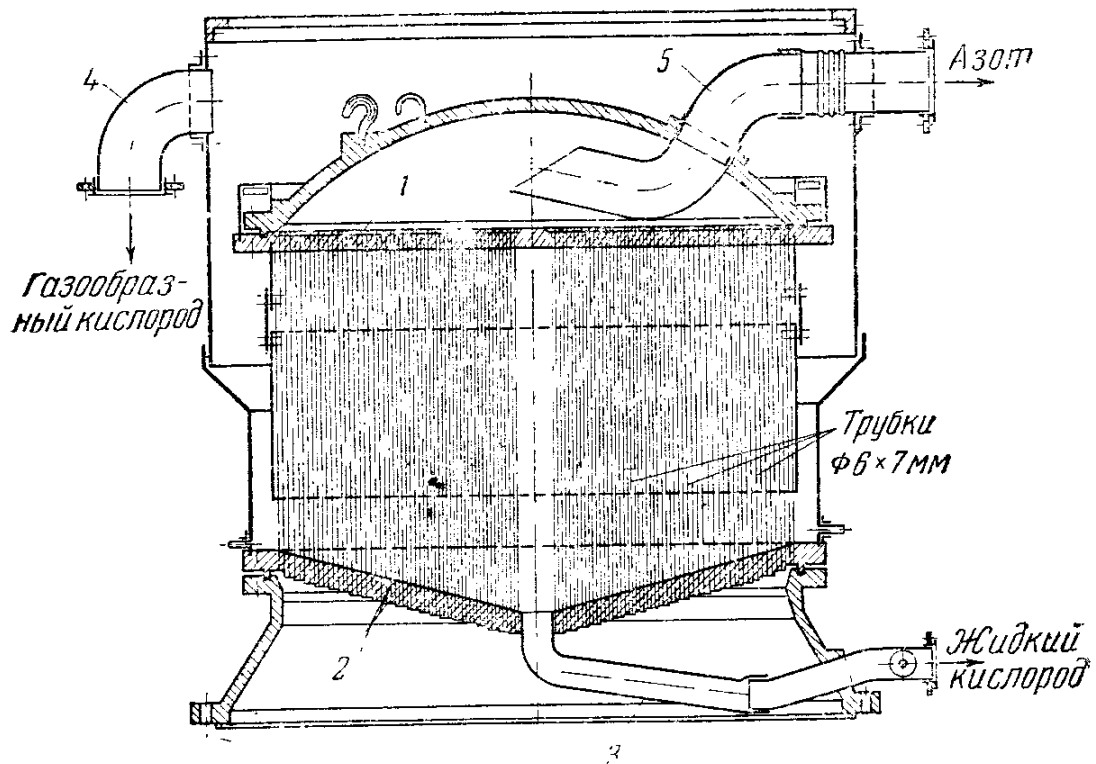


Рис. 82. Конденсатор установки типа КТ-3600:

1, 2—верхняя и нижняя решетки; 3—труба для слива кислорода; 4—отвод газообразного кислорода; 5—отвод азота в турбодетандер.

ствие этого чистота кислорода резко понижается и ее уже не удастся восстановить регулированием процесса работы аппарата.

Чтобы произвести ремонт конденсатора, его надо снять с установки, для чего приходится разбирать весь кислородный аппарат. Определив место пропуска путем пневматического испытания конденсатора в водяной ванне, производят запайку конденсатора мягким припоем марки ПОС-40. Если пропуск обнаружен в трубках, то дефектные трубки заглушают с обоих концов медными пробками и запаивают. Допускается заглушать не более 10% от общего количества трубок. После ремонта все трубки конденсатора тщательно продувают воздухом для их просушки, а затем каждую трубку отдельно прочищают проволокой. Особенно

опасно случайное запаивание нижних концов трубок, так как в запаиваемой трубке может скопиться влага, которая при пуске аппарата замерзнет и разорвет трубку, что потребует новой разборки аппарата для ремонта.

#### 4. РЕКТИФИКАЦИОННЫЕ КОЛОННЫ

В этих колоннах осуществляется процесс ректификации жидкого воздуха с целью разделения его на кислород и азот. В зависимости от назначения колонны, в результате процесса ректификации, может получаться или почти чистый кислород или обогащенная кислородом жидкость.

Ректификационные колонны применяются также для разделения кислородно-аргоно-азотной смеси с целью получения продукта, богатого аргоном.

Ректификационные колонны небольших аппаратов однократной ректификации производительностью до  $10 \text{ м}^3/\text{час}$ , а также нижние колонны аппаратов двукратной ректификации, производительностью до  $100 \text{ м}^3/\text{час}$ , обычно делаются насыпными. Такие колонны представляют собой латунную трубу небольшого диаметра (до  $250 \text{ мм}$ ), заполненную латунными кольцами размером  $10 \times 10 \text{ мм}$ . Колонны для более крупных кислородных аппаратов, а также все верхние колонны аппаратов двукратной ректификации изготавливаются тарельчатого типа. В зависимости от конструкции применяемых тарелок и требуемой чистоты продуктов разделения воздуха количество тарелок в верхней колонне обычно составляет 36 или 48 шт.

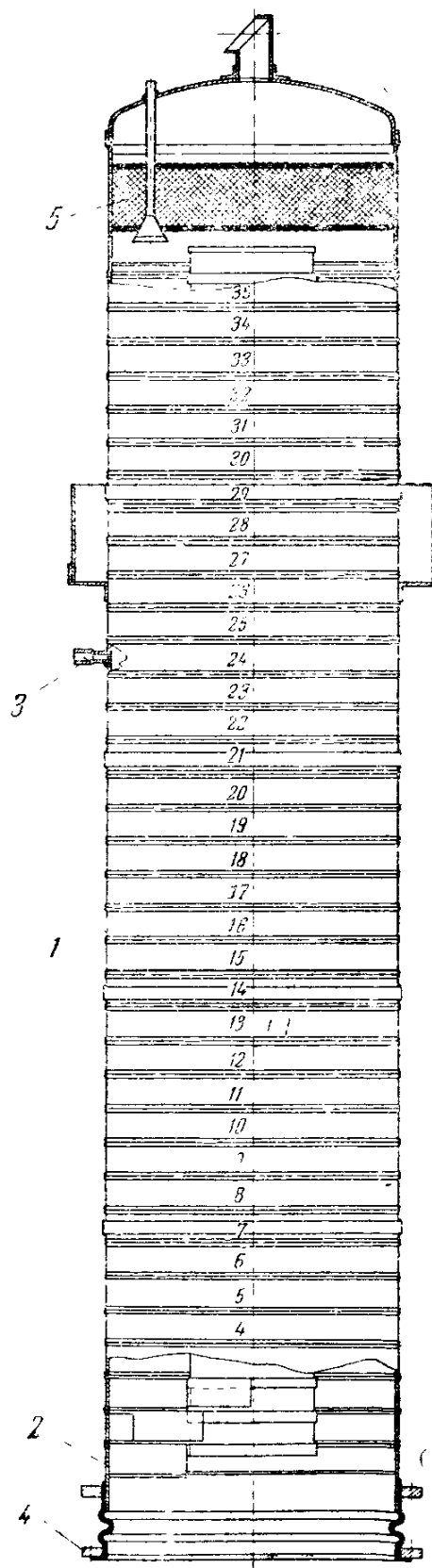


Рис. 83. Разрез верхней колонны аппарата производительностью  $300 \text{ м}^3/\text{час}$

1 — обечайка; 2 — тарелки; 3 — место ввода жидкости из куба нижней колонны; 4 — компрессор; 5 — каплеотбойник.

На рис. 83 показан разрез верхней колонны аппарата производительностью  $300 \text{ м}^3/\text{час}$ . Обечайка 1 верхней колонны, имеющая зигованную боковую поверхность, изготавливается из латуни и испытывается на давление  $1,7 \text{ атм}$ . Между двумя смежными зигами обечайки расположены тарелки 2, которые укреплены по окружности проволоочными кольцами и пропаяны. Расстояние между двумя парами зигов определяет расстояние между тарел-

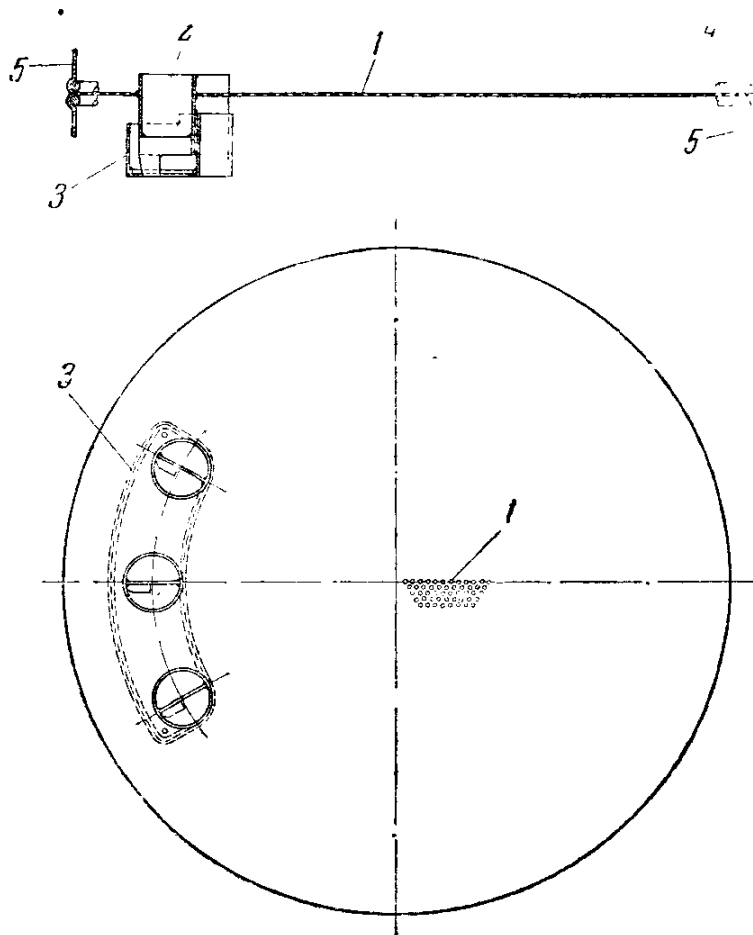


Рис. 84. Одинарная сетчатая тарелка:

1—сетка; 2—сливные стананы; 3—подвесной сосуд гидравлического затвора; 4—проволоочные кольца, заложенные в зиги; 5—обечайка.

ками. Колонна устанавливается по отвесу, строго вертикально, для того чтобы все тарелки лежали в горизонтальной плоскости.

Одинарная сетчатая тарелка изображена на рис. 84. Она изготавливается из латунного листа толщиной  $0,8—1 \text{ мм}$ , в котором штампом пробиты отверстия диаметром  $0,8—0,9 \text{ мм}$ , расположенные в шахматном порядке. На  $1 \text{ м}^2$  сетки приходится около  $110\,000$  шт. таких отверстий при расстоянии между их центрами  $3,25 \text{ мм}$ .

В отечественных конструкциях установок применяются исключительно сетчатые тарелки ввиду большей простоты их изготовления. В импортных установках используются также колпач-



ковые тарелки, снабженные штампованными медными колпачками. Изготовление таких тарелок обходится дороже, но особых преимуществ перед сетчатыми они не имеют.

На рис. 85 показано устройство кольцевых сетчатых тарелок. В центре их расположен глухой цилиндр, выключаящий центральные части тарелок из процесса ректификации, что обуславливает протекание жидкости по кольцевым окружностям тарелок. При таком направлении жидкости сохраняется постоянная разность концентраций азота и кислорода в жидкости на тарелках и в парах над нею, вследствие чего тарелки работают более эффективно. Кольцевые тарелки, позволяющие получить необходимую степень разделения воздуха на кислород и азот при меньшем числе тарелок, используются на всех крупных современных аппаратах.

Обычные неполадки при работе ректификационных колонн состоят в появлении пропусков в местах пайки. О наличии такого пропуска свидетельствуют промерзание в данном месте изоляции аппарата и появление снеговых пятен на его кожухе. Обнаруженные места неплотностей устраняют пайкой мягким припоем при очередном ремонте аппарата. Если герметичность нарушена в месте крепления тарелки к обечайке, то возможно ухудшение процесса ректификации, выражающееся обычно в резком снижении чистоты отходящего азота. Это становится особенно заметным, когда по каким-либо причинам несколько тарелок выйдут из своих пазов, осядут или накренятся в колонне. В таком случае необходимы демонтаж аппарата, распайка колонны и установка тарелок вновь, с тщательной пропайкой их по всей окружности.

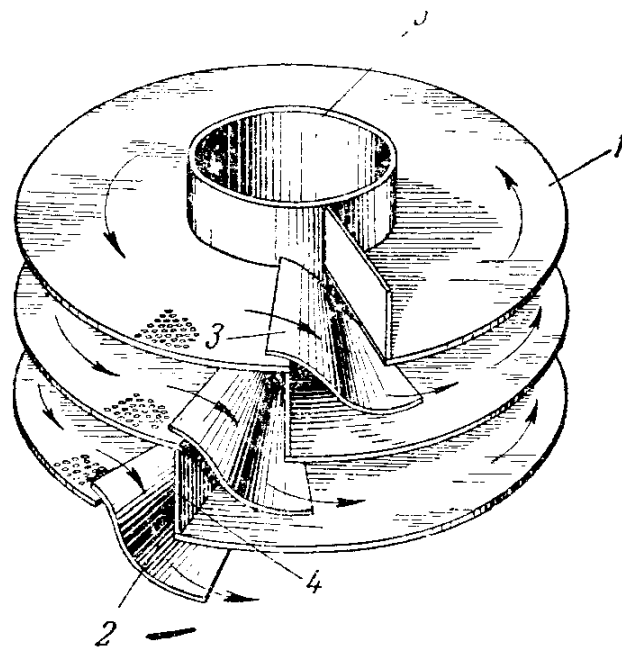


Рис. 85. Кольцевые сетчатые тарелки:

1—сетка; 2—сливные отверстия; 3—порожек слива; 4—вертикальная стенка; 5—внутренний цилиндр.

## 5. АППАРАТУРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ АЦЕТИЛЕНА

Ацетилен, хотя и в очень незначительных количествах, всегда содержится в атмосферном воздухе. Содержание ацетилена в  $1 \text{ м}^3$  воздуха обычно колеблется в пределах  $0,002—0,1 \text{ см}^3$ . Если вблизи от места засоса воздуха воздушным компрессором нахо-

дится ацетиленовая станция с ямами для карбидного ила, то количество ацетилена в  $1 \text{ м}^3$  засасываемого воздуха может возрасти до  $0,5—1 \text{ см}^3$  и даже до  $3 \text{ см}^3$ , особенно, если ветер будет в направлении от ацетиленовой станции. Такое содержание ацетилена в воздухе является очень высоким и крайне опасным для работы аппарата.

Образование ацетилена и других углеводородов возможно также и в самом воздушном компрессоре в результате разложения масла в том случае, если оно ненадлежащего качества или если температура воздуха в конце сжатия в компрессоре слишком высока (например, при наличии пропусков в нагнетательных клапанах, недостаточном охлаждении воздуха и пр.).

Ацетилен переходит в твердое состояние уже при  $-83,6^\circ\text{C}$ . Поэтому, попадая вместе с воздухом в кислородный аппарат, где температура значительно ниже, он переходит в твердое состояние и в таком виде накапливается в аппарате.

Твердый ацетилен растворяется в жидком кислороде. В  $1 \text{ л}$  жидкого кислорода может раствориться около  $5 \text{ см}^3$  ацетилена, что соответствует пределу насыщения раствора ацетилен—жидкий кислород.

Избыток ацетилена выделяется в твердом виде и находится в жидком кислороде во взвешенном состоянии в виде белых хлопьев.

Накопление ацетилена происходит почти всегда в конденсаторе разделительного аппарата, т. е. там, где жидкий кислород находится в состоянии кипения, постоянно испаряясь. При этом ацетилен практически полностью остается в жидком кислороде вследствие очень малой упругости своих паров. В ряде случаев наблюдалось накопление твердого ацетилена также и в сосуде испарителя нижней колонны.

Возможность накопления в аппарате твердого ацетилена определяется содержанием газообразного ацетилена в засасываемом воздухе. При содержании в  $1 \text{ м}^3$  атмосферного воздуха менее  $0,037 \text{ см}^3$  ацетилена последний находится в жидком кислороде конденсатора только в растворенном виде; при более высоком содержании ацетилена в воздухе происходят выделение его из раствора и накопление в конденсаторе твердого ацетилена.

Наличие в конденсаторе аппарата твердого, плавающего в жидком кислороде ацетилена представляет опасность и грозит взрывом аппарата.

В практике эксплуатации кислородных аппаратов установлены случаи взрывов кислородных аппаратов от накопления в них твердого ацетилена. Причина, по которой происходит взрыв ацетилена в жидком кислороде, еще окончательно не установлена. Имеются предположения, что взрыв происходит вследствие трения и ударов твердого ацетилена о трубки конденсатора, присутствия в жидком кислороде окислов азота и пере-

кислых органических соединений, жидкого озона, образования статического электричества. Озон, всегда присутствующий в жидком кислороде, куда он попадает вместе с воздухом, является активным окислителем.

Чтобы не допустить накопления такого количества ацетилена, которое опасно для работы кислородного аппарата, необходимо один раз в смену производить анализ жидкого кислорода из конденсатора аппарата на содержание в нем ацетилена. Метод анализа и предельные нормы содержания ацетилена указаны на стр. 302 В зависимости от результатов анализа аппарат или допускают к дальнейшей работе, или производят частичный слив жидкого кислорода, или останавливают и сливают из него всю жидкость.

В настоящее время основным способом защиты кислородных аппаратов от попадания и накопления в них ацетилена является способ, разработанный лауреатами Сталинской премии И. П. Ишкиным и П. З. Бурбо. Этот способ заключается в фильтрации жидкого воздуха через слой силикагеля, который удерживает ацетилен на поверхности стенок своих пор.

Очистку жидкого воздуха от ацетилена производят в специаль-

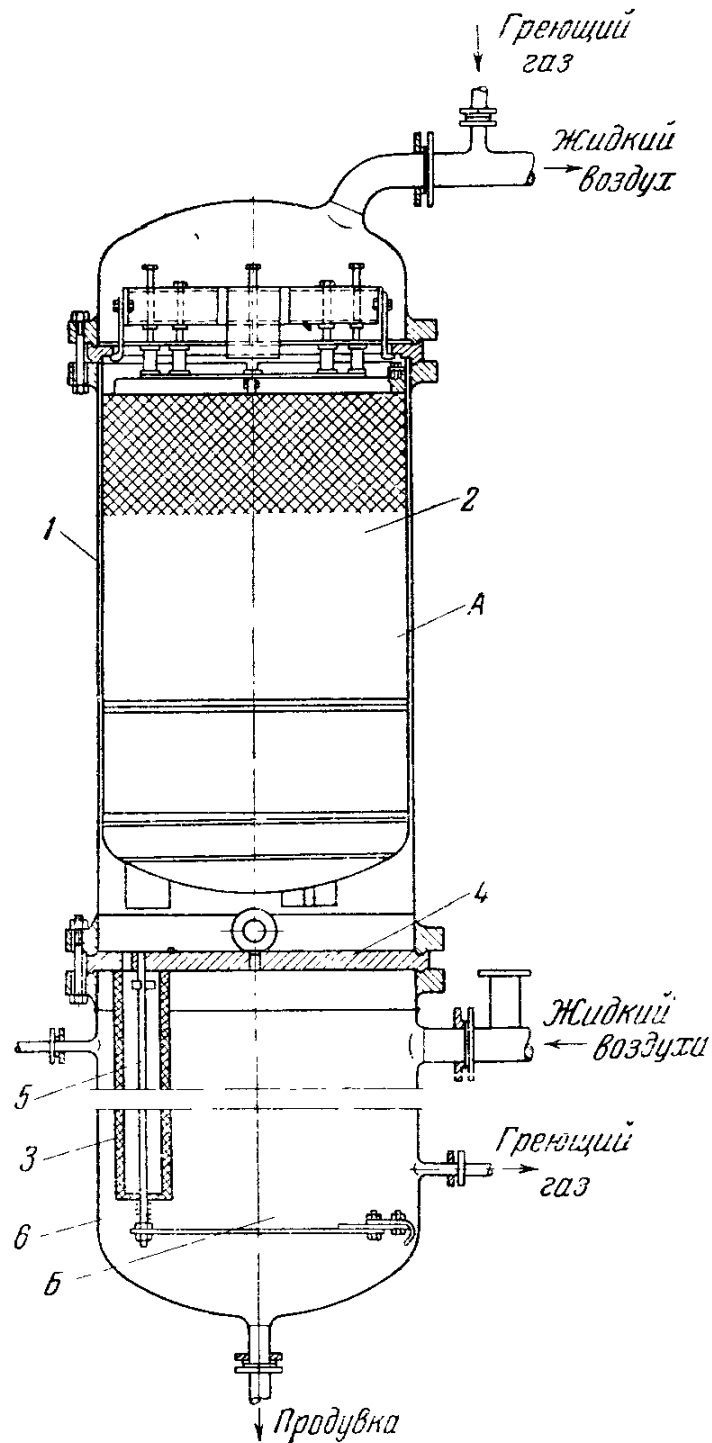


Рис. 86. Ацетиленовый адсорбер с углекислотным фильтром:

А—адсорбер ацетилена; Б—фильтр для углекислоты; 1—корпус адсорбера; 2—слой силикагеля; 3—керамическая трубка; 4—решетчатое днище; 5—болты; 6—пружина.

ных аппаратах, называемых *ацетиленовыми адсорберами*. Разрез ацетиленового адсорбера показан на рис. 86. Адсорбер представляет собой латунный цилиндрический сосуд 1, заполненный зернами силикагеля грануляции 2—3 мм. Для аппаратов большой производительности устанавливают два адсорбера, работающих попеременно. Малые аппараты могут иметь один адсорбер.

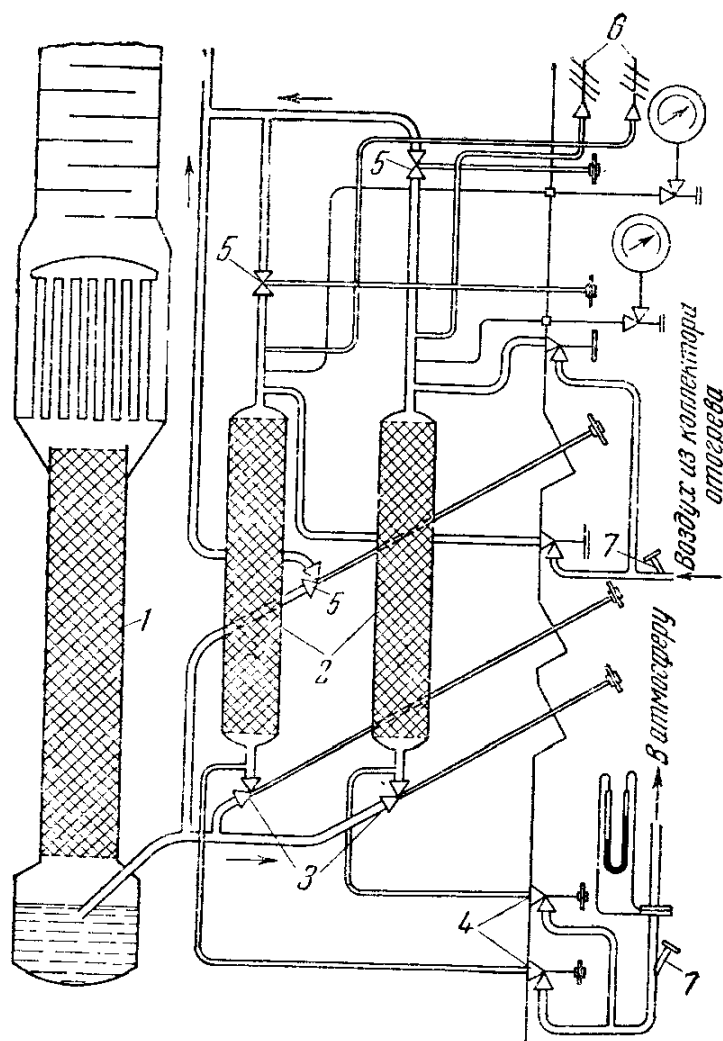


Рис. 87. Схема включения адсорберов ацетилена:

1—нижняя колонна; 2—адсорберы; 3—вентили для включения и выключения адсорберов; 4—вентили для отогревания адсорберов; 5—расширительные вентили; 6—предохранительные клапаны; 7—термометры.

Адсорберы согласно схеме, изображенной на рис. 87, включают в трубопровод, подающий жидкий обогащенный кислородом воздух из испарителя нижней колонны в верхнюю колонну. Таким образом адсорбер работает при давлении, имеющемся в нижней колонне, т. е. при 5—6 *ати*. Включение и выключение каждого из адсорберов производят с помощью соответствующих вентилей. Если анализом жидкого кислорода установлено присутствие ацетилена, то это означает, что силикагель в адсорбере уже насытился ацетиленом и нуждается в регенерации.

В этом случае поток жидкого воздуха переключают на второй адсорбер. Первый адсорбер отогревают путем продувки азотом или сухим воздухом нормальной температуры (25—30°C), а затем подогретым до 70—80°C. Скорость подачи воздуха при отогреве составляет 250—500 л/мин. Продувку адсорбера производят до тех пор, пока выходящий из него азот или воздух не будет иметь температуру 30—40°C. После этого адсорбер вновь включают в работу, так как поглощающая способность находящегося в нем силикагеля полностью восстановлена.

В некоторых конструкциях адсорбер объединяют с керамиковым фильтром (рис. 86). Фильтры применяют в установках, работающих с регенераторами. Фильтр очищает жидкий воздух от частиц твердой углекислоты, проскакивающих в некотором количестве через регенераторы. Если не применять очистки воздуха, то твердая углекислота, накапливаясь, будет откладываться в расширительных вентилях и на тарелках ректификационной колонны. Постепенно она закупорит их отверстия и нарушит процесс работы кислородного аппарата.

Фильтр для углекислоты состоит из нескольких пористых керамических трубок 3 (на схеме изображена только одна), изготовляемых из обожженной массы, состоящей из смеси инфузальной земли, шамота или кварцевого песка и наполнителя. Каждая трубка имеет диаметр 120 × 80 мм и длину 1000 мм. Трубки прижимаются к решетчатому днищу 4 адсорбера с помощью длинных болтов 5, через пружины 6. Фильтруемый воздух, проходя через керамиковые трубки, поступает снизу в адсорбер А ацетилена. Обычно устанавливают два фильтра и они работают попеременно. Забивающийся углекислотой фильтр через каждые 6—8 суток отогревают азотом, подогретым до 70—80°C.

## 6. ИЗОЛЯЦИЯ БЛОКОВ РАЗДЕЛЕНИЯ

Кожух кислородного аппарата заполняется изоляцией, которая служит для уменьшения потерь холода в окружающую среду. Таким образом качество самой изоляции и ее набивка имеют чрезвычайно большое значение для экономичности работы кислородной установки. Единственным распространенным изоляционным материалом для кислородных аппаратов в настоящее время служит шлаковая вата, являющаяся негорючим материалом (см. стр. 54).

Практически лучшие результаты в качестве изоляционного материала дает вата при плотности набивки 300—350 кг на 1 м<sup>3</sup> объема. Плотность набивки изоляции имеет очень большое значение. Объясняется это тем, что шлаковая вата, как и всякий пористый материал, усиленно поглощает влагу из атмосферного воздуха. Влага сильно снижает изоляционные свойства материала, так как является достаточно хорошим проводником тепла. Так, например, если шлаковая вата впитает влагу в количестве,

равном 30% от ее собственного веса, то коэффициент теплопроводности такой ваты возрастет в 4 раза.

Влажную и осевшую изоляцию нужно заменять новой. Присутствие значительного количества влаги в изоляции удлиняет время пуска аппарата, так как при его охлаждении потребуется непроизводительная затрата холода на превращение этой влаги в лед.

Чем тоньше волокна ваты и чем меньше в ней шлаковых шариков, тем выше ее качество. С повышением плотности набивки шлаковой ваты в кожух аппарата, количество влаги, которое может впитать вата, уменьшается, что повышает ее изоляционные свойства. Кожух аппарата, как правило, негерметичен, и влага окружающего воздуха попадает в изоляцию. Вот почему необходимо следить за тем, чтобы при каждом ремонте кислородного аппарата закладываемая в его кожух шлаковая вата была совершенно сухой и подвергалась тщательной утрямке, хотя при очень сильном уплотнении ваты ее теплозащитные свойства несколько ухудшаются.

За последнее время появился новый изоляционный материал, так называемая мипора (микропористая пластмасса). Мипора очень легка, высокопориста и совершенно не впитывает влаги. 1 м<sup>3</sup> мипоры весит всего 15—20 кг. Пропитанная особым раствором для придания ей негорючести, мипора может применяться как высококачественный изоляционный материал для кислородных аппаратов и сосудов для хранения жидкого кислорода.

Категорически запрещается в качестве изоляции применять органические вещества (шерсть, войлок и пр.) ввиду их горючести и взрывоопасности при насыщении жидким или газообразным кислородом.

Кожух блока разделения делается из листового железа, приваренного к рамам из углового железа. Рамы образуют отдельные щиты, которые собираются на резиновых прокладках с помощью болтов. В соответствующих местах кожуха делаются люки для выемки изоляции и доступа к аппаратам.

## 7. ЩИТЫ УПРАВЛЕНИЯ

На наружной стороне кожуха укрепляется щит управления аппаратом. На щите располагаются вся основная арматура и контрольно-измерительные приборы кислородного аппарата.

Щит управления кислородного аппарата производительностью 30 м<sup>3</sup>/час изображен на рис. 88. На щите расположены расширительные вентили: вентиль 1 для воздуха, подаваемого из змеевика испарителя в нижнюю колонну; вентиль 2 для обогащенного кислородом воздуха, подаваемого из испарителя на середину верхней колонны; вентиль 3 для азота, подаваемого из карманов конденсатора на верхнюю тарелку верхней колонны. На щите расположены также манометры 4, 5, 6 и 7, показывающие, соот-

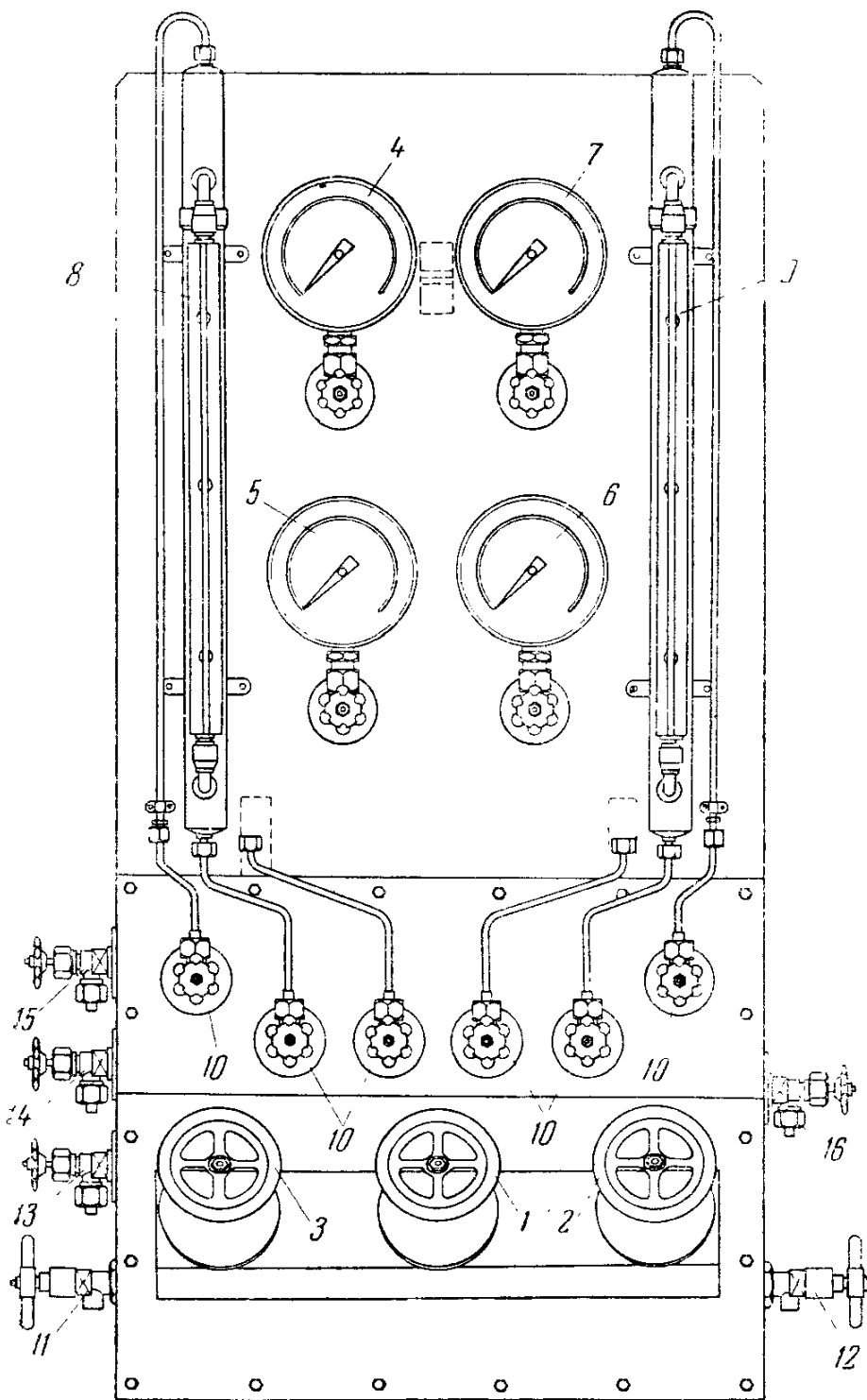


Рис. 88. Щит управления кислородного аппарата:

1, 2, 3—расширительные вентили; 4, 5, 6, 7—манометры; 8, 9—указатели уровней; 10—запорные вентили указателей уровней; 11, 12—продувочные вентили; 13, 14, 15—вентили для анализа жидкостей; 16—вентиль для продувки пено-гидневой смеси.

ветственно, давление после теплообменника, в нижней колонне, в верхней колонне и в адсорбере. По бокам щита установлены два указателя уровня жидкости: в сосуде испарителя—указатель 8 и в конденсаторе—указатель 9. На щите управления установлены также запорные вентили 10 указателей уровня жидкости, вентиль 11 для продувки воздушного расширительного вентиля 1, вентиль 12 для продувки коллектора и влагоотделителя теплообменника, вентили для взятия проб жидкости на анализ (так называемые анализные вентили): 13—из испарителя, 14—из карманов конденсатора, 15—из конденсатора и вентиль 16 для продувки неона-гелиевой смеси.

Около щита управления обычно располагают также коллектор с вентилями для подачи теплого воздуха в аппарат при его отогреве. В крупных кислородных установках, имеющих большое количество аппаратов и контрольно-измерительных приборов, щит управления имеет более сложное устройство. В этом случае он выполняется в виде ряда щитов (панелей), расположенных на площадке обслуживания перед блоком разделения.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Каково назначение теплообменников и из каких материалов они изготавливаются?
  2. Как обнаружить и устранить неплотности в теплообменниках?
  3. Каким образом происходит в регенераторах очистка воздуха от углекислоты и влаги?
  4. Как устроены и работают клапаны принудительного и автоматического действия в регенераторах?
  5. Как устроены конденсаторы кислородных аппаратов?
  6. Как устроена ректификационная колонна и ее тарелки?
  7. Как устроена кольцевая тарелка и каковы ее преимущества?
  8. Как устроен адсорбер ацетилена?
  9. Каково назначение и устройство керамикового фильтра для углекислоты?
  10. Какие требования предъявляются к изоляции кислородного аппарата?
  11. Какая арматура и контрольно-измерительные приборы имеются на щите кислородной установки?
  12. Определить приблизительно общую поверхность насадки регенератора, если его кожух имеет следующие размеры: внутренний диаметр 1280 мм, высота насадки 4000 мм.
  13. Определить поверхность теплообмена конденсатора, имеющего 3600 трубок диаметром 6×7 мм и длиной 700 мм.
-



## ГЛАВА X

### ХРАНЕНИЕ И СЖАТИЕ КИСЛОРОДА

#### 1. ГАЗГОЛЬДЕРЫ

Газгольдер применяется для кислородных установок, вырабатывающих газообразный кислород. Он служит промежуточной емкостью, необходимой для того, чтобы сгладить несоответствие между выработкой и потреблением кислорода, которое возникает вследствие неравномерного расхода газа.

Для небольших и средних установок производительностью до 300 м<sup>3</sup>/час чаще всего применяют мягкие («сухие») газгольдеры из прорезиненной ткани.

Для газгольдеров обычно выделяют отдельное помещение в здании кислородной станции. В этом помещении газгольдеры подвешивают вертикально, для чего применяют ручные лебедки, с помощью которых газгольдер можно опустить вниз для проверки и ремонта. Газгольдер регулярно осматривают снаружи и изнутри на отсутствие повреждений его ткани. Если обнаруживают потертое, пересохшее место или разрыв материала, то подобные дефекты устраняют посредством заплат, наклеиваемой изнутри газгольдера. Мягкий газгольдер следует предохранять от действия прямых лучей солнца и атмосферных осадков, так как их воздействие ускоряет износ и разрушение оболочки газгольдера. Температура помещения, в котором хранятся газгольдеры, должна составлять 5—25°C. Чтобы газгольдер не разорвало слишком большим давлением газа, на его впускной трубе устанавливают гидравлический предохранительный затвор. При повышении давления в газгольдере выше допустимого вода в затворе вытесняется и избыточный газ выходит в атмосферу. Уровень воды в затворе должен находиться на установленной высоте. Максимально допустимое давление для мягкого газгольдера составляет 150 мм вод. ст.

Для крупных кислородных станций, производящих тысячи кубических метров кислорода в час, применяют металлические, так называемые мокрые газгольдеры. Такой газгольдер, устанавливаемый под открытым небом на территории завода, представляет собой наполненный водой резервуар, в котором плавают колокол соответствующего размера. Под колоколом собирается газ, количество которого определяет высоту поднятия

колокола. Вес колокола создает в газгольдере соответствующее давление, под которым кислород подается в трубопроводы, идущие к местам потребления. Чтобы предохранить воду, находящуюся в резервуаре газгольдера, от замерзания в зимнее время, в газгольдере прокладывают змеевики, по которым циркулирует пар.

При эксплуатации газгольдера необходимо следить при помощи имеющегося указателя за положением колокола и давлением в газгольдере, не допуская переполнения последнего кислородом. Нельзя также допускать образования в газгольдере разрежения (вакуума), так как при этом может произойти подсос атмосферного воздуха, который загрязнит кислород. Для предохранения металлического газгольдера от ржавчины наружные и внутренние стенки газгольдера систематически окрашивают суриком, разведенным на олифе. Герметичность колокола и соединений трубопроводов проверяют не реже 1 раза в 3 месяца.

## 2. ТАНКИ И ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

**Конструкция танков.** Жидкий кислород хранят и перевозят в специальных сосудах—*танках* и *цистернах*, снабженных хорошей тепловой изоляцией. В зависимости от назначения танки и цистерны бывают *стационарные* и *транспортные*.

Стационарные танки устанавливают в непосредственной близости от кислородного аппарата и соединяют трубой с конденсатором: по этой трубе, по мере накопления жидкого кислорода в аппарате, производится слив его в танк. Стационарный танк (рис. 89) состоит из внутреннего тонкостенного латунного шара 1, подвешенного на цепях 2 внутри кожуха 3 из листового железа. В верхней части шара расположен закрытый крышкой и запаянный люк 4, предназначенный для осмотра внутренности шара во время ремонта и очистки танка. Снизу с наружной стороны к шару припаян отстойник 5 для собирания грязи и масла. Стенка шара имеет в этом месте ряд отверстий для стока осадка в отстойник. От отстойника наружу выведена труба 6 для продувки танка и удаления грязи. Нижняя часть кожуха танка опирается на цилиндрическую подставку 7. Между стенками кожуха и латунного шара насыпан толстый слой изоляции из углекислой магнезии. Кожух танка имеет съемную крышку, оканчивающую сверху колпаком 8.

Для наполнения танка жидким кислородом служит труба 9, соединяющая его с конденсатором кислородного аппарата. Испаряющийся в танке кислород возвращается обратно в конденсатор по трубе 10, впаянной в верхнюю часть латунного шара. Сливание жидкости из танка производят через трубу 11, доходящую одним концом до дна латунного сосуда и соединенную другим концом с вентилем 12 для слива жидкости. К этому вентилю посредством специального затвора присоединяют гибкий металли-

ческий рукав, второй конец которого соединен с транспортным танком. Рукав снаружи снабжен тепловой изоляцией. Имеющееся в танке давление вытесняет жидкий кислород через сливную трубу 11 и вентиль 12 в транспортный танк.

Для повышения давления в танке, во время слива из него жидкости, служит испаритель 13, в котором можно испарить

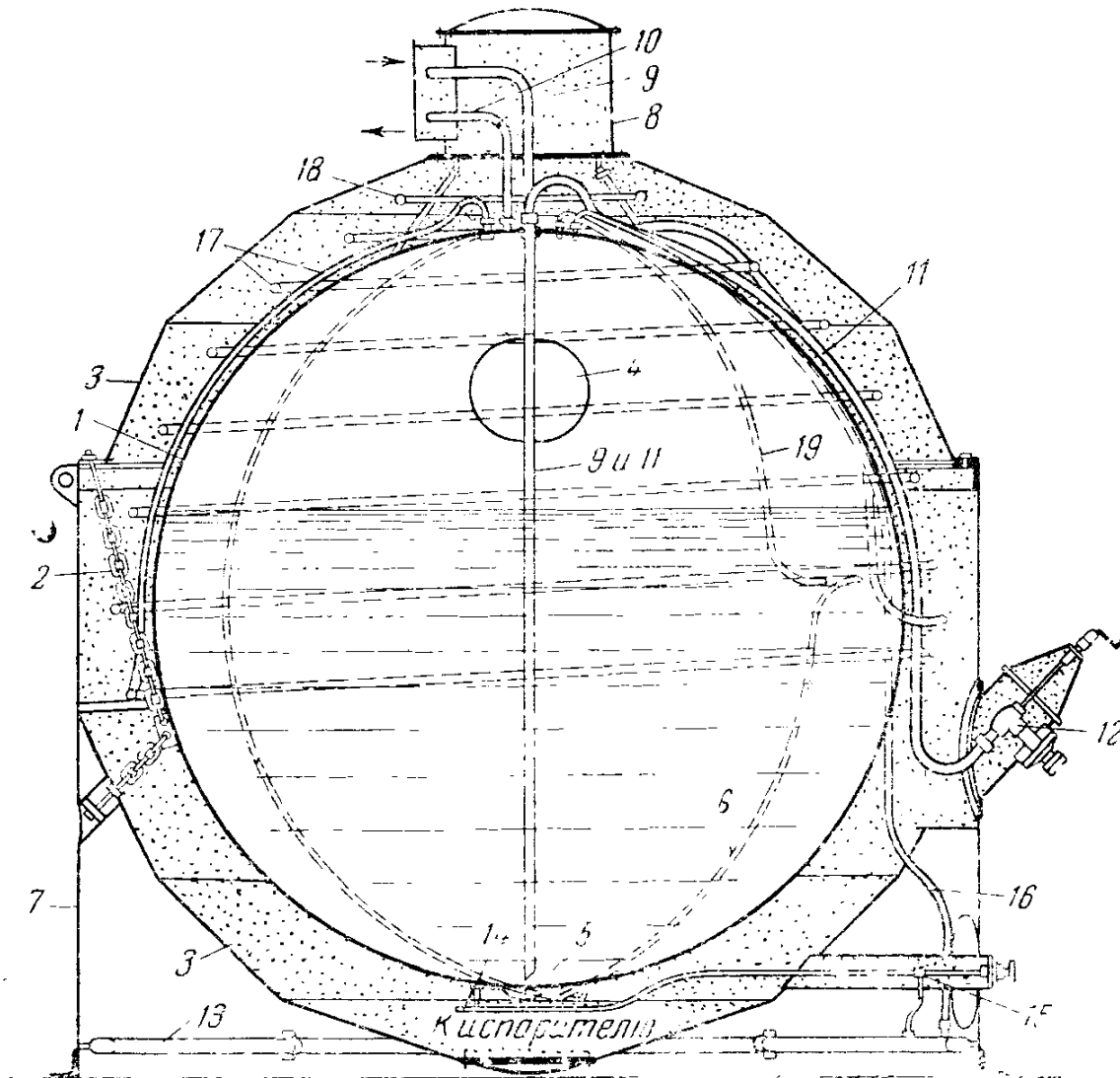


Рис. 89. Стационарный танк:

1—шар; 2—цепи для подвески шара; 3—ножух; 4—люк; 5—отстойник; 6—продувочная труба; 7—подставка; 8—колпак; 9, 11—трубы для наполнения и опораживания танка; 10—труба для отвода газообразного кислорода; 12—вентиль для слива жидкого кислорода; 13—испаритель; 14—змеевик испарителя; 15—вентиль испарителя; 16—труба для поднятия давления в танке; 17—труба-змеевик для охлаждения изоляции; 18—подвод кислорода в изоляцию; 19—труба предохранительного клапана.

часть жидкого кислорода. Жидкость поступает в испаритель по змеевику 14 через вентиль 15, а образующийся газ направляется в верхнюю часть латунного шара по трубе 16.

Для отвода газообразного кислорода из танка в газгольдер служит труба-змеевик 17, которая проложена в изоляции танка и служит для ее охлаждения. Кроме того, имеется трубка 18 с отверстиями, по которой газообразный кислород посту-

пает непосредственно в изоляцию танка. Вследствие этого при охлаждении заключенного в порах изоляции воздуха не образуется разрежения и, следовательно, в изоляцию не проникает извне влажный воздух, который ухудшил бы ее изолирующие свойства.

Танк снабжен манометром на предельное давление 2 *ати* и указателем уровня жидкости со шкалой, имеющей деления через каждые 10  $m^3$ .

Труба 19 ведет к пружинному предохранительному клапану, установленному на предельное давление 0,6 *ати*; кроме того, танк снабжен предохранительной разрывной мембраной, рассчитанной на максимальное давление 1,5—2 *ати*. Указатель уровня жидкости наполняют четырехбромистым ацетиленом (тетрабромметан) в количестве около 250 г. Трубки указателя уровня жидкости следует время от времени продувать. Во время эксплуатации танка необходимо предохранять всю его арматуру от попадания масла и жиров. Шпиндели всех вентилей во избежание примерзания следует часто проворачивать и не открывать вентили до отказа. Раз в три года танк вскрывают, люк шара распаивают и шар подвергают внутреннему осмотру и тщательной очистке. После запаивания люка шар и всю коммуникацию испытывают на герметичность пневматическим давлением на 1 *ати*.

Промышленность изготавливает танки емкостью на 1200, 2800, 4800 и 7500 л жидкого кислорода, что в переводе на газообразный кислород соответствует 1000, 2400, 4000 и 6600  $m^3$ .

Для перевозки жидкого кислорода применяют транспортные танки.

В отличие от стационарного, транспортный танк имеет добавочную трубу с вентилем для непосредственного выпуска газа в атмосферу. Танк снабжается манометром, пружинным предохранительным клапаном, указателем уровня жидкости и предохранительной разрывной мембраной. Пружинный предохранительный клапан отрегулирован на максимальное рабочее давление 0,6 *ати*.

Транспортный танк перевозят на грузовом автомобиле соответствующей грузоподъемности.

Емкость транспортных танков обычно составляет 1200 и 2800 л кислорода, что соответствует 1000 и 2400  $m^3$  газообразного кислорода.

Часовая потеря жидкого кислорода на испарение в стационарном и транспортном танках колеблется в пределах 0,4—0,7% от содержащегося в танке количества кислорода. Фактическая испаряемость иногда сильно отличается от паспортной, так как испарение зависит от качества и состояния изоляции. Если изоляция плохого качества, находится во влажном состоянии или осела, то испаряемость значительно возрастает по сравнению с указанными выше пределами. Испытания танков емкостью 1000  $m^3$  (по газу), длительно находящихся в эксплуатации,

показали, что испарение в них составляет  $7,2—10 \text{ м}^3/\text{час}$  т. е.  $0,7—1\%$  от емкости. Это указывает на недопустимо низкое качество изоляции танков, подвергавшихся испытаниям. На плохое состояние изоляции танка указывает наружное обмерзание кожуха, которое обычно начинается в верхней части кожуха, так как там наиболее возможно оседание изоляции. Танк с обмерзающим кожухом не должен быть допущен в эксплуатацию. Необходимо добавить в кожух изоляцию или сменить отсыревшую.

Для хранения или дальних перевозок больших количеств жидкого кислорода применяют стационарные и транспортные цистерны, которые изолируют, так же как танки, углекислой магнезией.

Транспортные цистерны устанавливают на железнодорожных платформах соответствующей грузоподъемности. Изготавливаются цистерны емкостью 13,5 и 30 *t* жидкого кислорода, что соответствует  $9500 \text{ м}^3$  и  $21000 \text{ м}^3$  кислорода в пересчете на газообразный.

Опыт перевозки жидкого кислорода в цистернах показал, что средняя испаряемость его при этом составляет  $10—12 \text{ м}^3/\text{час}$ , т. е. около  $0,11—0,12\%$  от емкости цистерны. В настоящее время цистерны для облегчения их порожнего веса и уменьшения потерь жидкого кислорода вместо углекислой магнезии изолируют мипорой.

**Обслуживание танков.** При наполнении танка или цистерны жидким кислородом закрывают вентиль поднятия давления в танке и открывают вентиль выпуска газообразного кислорода из танка в атмосферу или в газгольдеры, а также вентили к указателям уровня жидкости. Если жидкий кислород переливают из одного танка в другой (например, из стационарного в транспортный или наоборот), то их соединяют гибким теплоизолированным шлангом. Затем повышают давление в опорожняемом танке до  $0,6 \text{ атм}$  и открывают на обоих танках главные вентили для слива жидкости. Во время наполнения танка необходимо следить за показаниями его манометра и указателя уровня жидкости. Давление в танке не должно превышать  $0,6 \text{ атм}$ . Нельзя допускать наполнения танка жидким кислородом сверх установленного для него количества.

При наполнении часть жидкого кислорода испаряется вследствие охлаждения металла и изоляции танка или цистерны до соответствующей температуры. Чтобы уменьшить испарение, заливку жидкого кислорода в цистерны следует производить после предварительного охлаждения последних. Испарившийся при наполнении цистерны или танка кислород отводится по шлангу обратно в газгольдер. Наполненный танк или цистерна несколько часов стоят на заводе, чтобы их изоляция полностью охладилась. Затем их снова доливают жидким кислородом до полной емкости и только после этого отправляют потребителю. Во время перевозки и стоянки наполненного транспортного танка или

цистерны вентиль для выпуска паров кислорода в атмосферу должен быть открыт. Если в процессе переливания жидкости из одного танка в другой давление в опорожняемом танке понизится, то его следует вновь увеличить до 0,5—0,6 *атм*. Во время переливания жидкости вентиль для выпуска газа в атмосферу или в газгольдер на опорожняемом танке должен быть закрыт, а на наполняемом — открыт.

Иногда масло из детандера попадает в кислородный аппарат и в виде твердых частичек заносится в танк вместе с жидким кислородом. Поэтому не реже одного раза в год танки отогревают, промывают от масла растворителем и продувают сухим горячим воздухом или азотом.

В качестве растворителя используют дихлорэтан, трихлорэтилен или четыреххлористый углерод. Растворитель наливают в специальный сосуд, подогреваемый горячей водой или паром. Пары растворителя по трубе подаются в танк, где конденсируются. Жидкий растворитель удаляют из танка через продувочную пробку. Танк после промывки необходимо тщательно продуть сухим горячим азотом или воздухом.

При пользовании дихлорэтаном нужно соблюдать правила по технике безопасности (см. стр. 254).

### 3. КИСЛОРОДНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

**Особенности конструкции.** В кислородных компрессорах происходит сжатие газообразного кислорода при накачивании его в баллоны. Конструкция этих компрессоров несколько отличается от конструкции воздушных компрессоров, что объясняется свойством сжатого кислорода при соприкосновении с маслом вызывать иногда вспышку последнего и взрыв.

Вероятность взрыва тем больше, чем выше давление и температура кислорода, так как в этом случае окисление масла кислородом происходит интенсивнее, чем при обычном давлении и температуре.

Поскольку при сжатии кислорода всегда имеет место высокое давление, применение масла для смазки цилиндров кислородных компрессоров недопустимо. Это обстоятельство делает невозможным использование чугунных поршневых колец в качестве уплотнителей для поршней в цилиндрах кислородного компрессора. Вместо колец поршни кислородных компрессоров снабжаются фибровыми манжетами, а для смазки их применяют чистую дестиллированную воду, иногда с примесью 10% химически чистого глицерина, который удлиняет срок службы манжет. Дестиллированная вода не содержит минеральных солей, растворенных в обычной воде и образующих на рабочих поверхностях цилиндров и клапанов. Применяя для кислородного компрессора поршни с манжетами, целесообразно использовать вертикальную конструкцию машины, так как при этом износ манжет получается более равномерным.

На рис. 90 показаны разрезы вертикального четырехступенчатого кислородного компрессора марки 2РК-1,5.220, изготовляемого отечественными заводами.

В компрессоре III степень расположена над I, а VI степень — над II ступенью. Поршни уплотнены фибровыми манжетами. Холодильники компрессора вынесены и размещены сбоку станины. Между ползуном и цилиндрами I и II ступеней расположены промежуточные буферные коробки с маслоснимающими кольцами для предупреждения попадания в цилиндры масла по штоку. Смазка шатунно-кривошипного механизма компрессора производится под давлением от шестеренчатого маслососа. Картер компрессора служит также резервуаром для масла. Технические данные компрессора следующие:

Производительность, $\text{м}^3/\text{час}$ . . . . .	90
Конечное давление, <i>ати</i> . . . . .	220
Число об/мин . . . . .	240
Диаметры цилиндров, <i>мм</i> . . . . .	280/150;70/35
Давление сжатия по ступеням, <i>ати</i>	
I . . . . .	3—4
II . . . . .	12—16
III . . . . .	50—60
IV . . . . .	220
Ход поршня, <i>мм</i> . . . . .	150
Расход охлаждающей воды, $\text{м}^3/\text{час}$ . . . . .	4,5
Диаметры патрубков	
всасывающего, <i>мм</i> . . . . .	60
нагнетательного, <i>мм</i> . . . . .	16
Потребная мощность электродвигателя, <i>квт</i> . . . . .	28

Все части кислородных компрессоров, соприкасающиеся со сжатым влажным кислородом, делают из бронзы или нержавеющей стали во избежание их быстрого износа от коррозии. Для изготовления поршней, крышек и втулок цилиндров, корпуса клапанов употребляется бронза или латунь марки ЛЖМЦ-59-1. Пружины клапанов делают из фосфористой бронзы. Крепежные болты и гайки поршней, пластины и соединительные болты клапанов, а также цилиндрические втулки для III ступени изготавливают из хромоникелевой нержавеющей стали марки Я-1. На некоторых кислородных заводах, с целью экономии цветного металла, в виде опыта устанавливались цилиндрические втулки I и II ступеней не бронзовые, а отлитые из мелкозернистого серого чугуна (перлитового). Результат оказался положительным: втулки, проработав несколько месяцев, не показали значительного износа от коррозии.

Как уже указывалось, особую опасность представляет попадание масла в цилиндры кислородных компрессоров. В практике заводов по этой причине имели место вспышки, особенно в цилиндрах III и IV ступеней. Масло попадает в компрессор при неаккуратной сборке и ремонте его, когда рабочий берет детали кислородного компрессора масляными руками. Во избе-

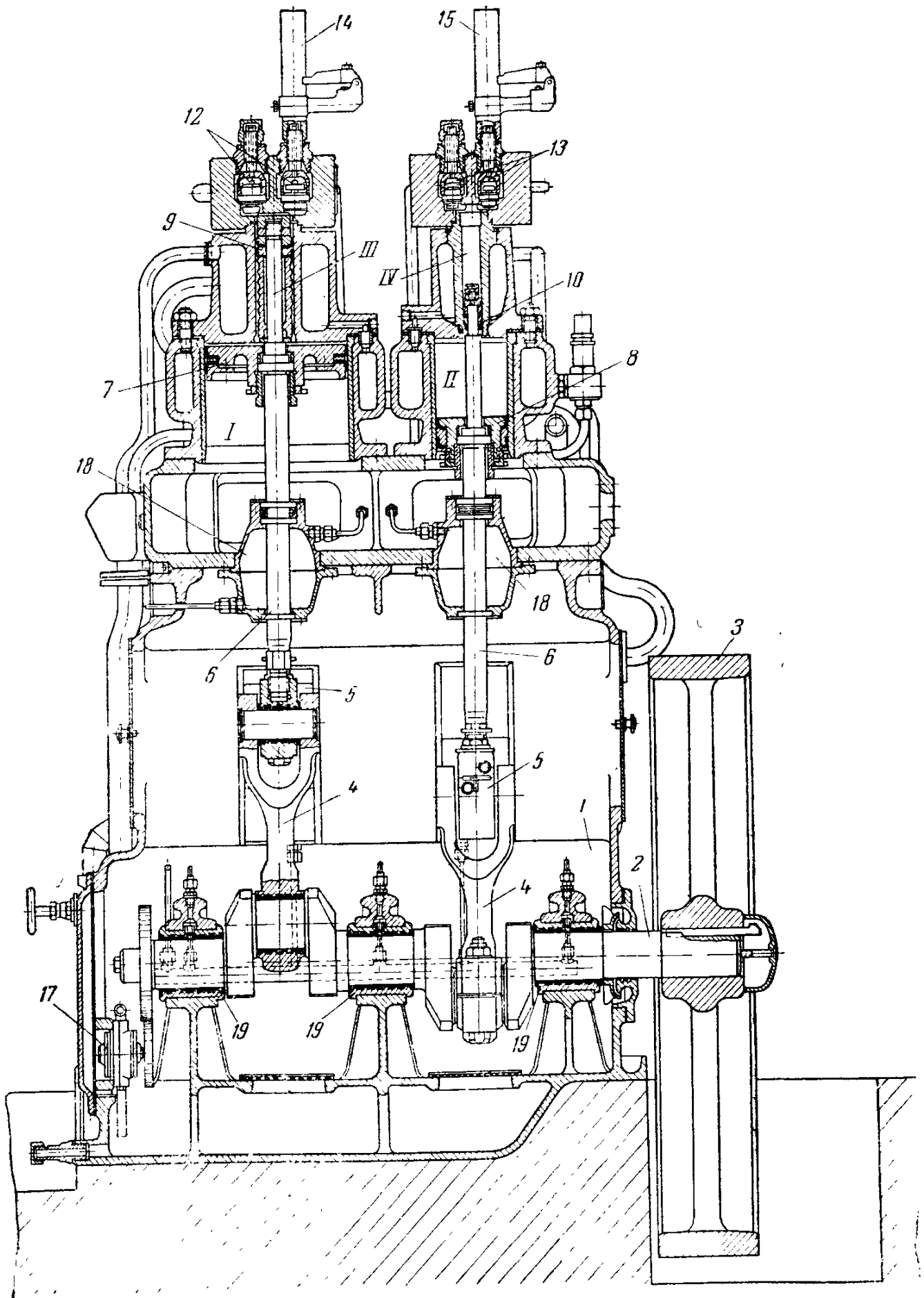
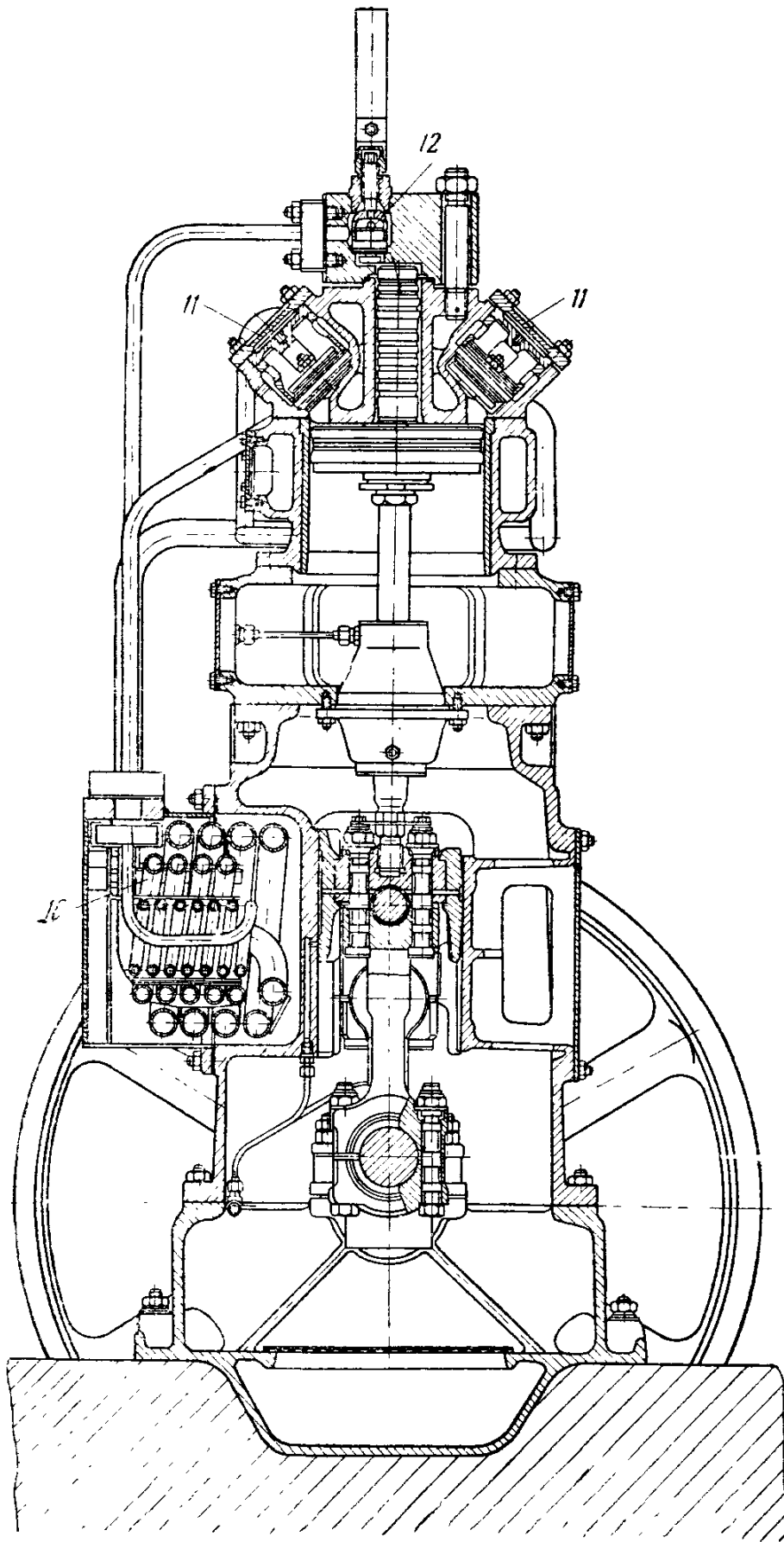


Рис. 90. Кислородный компрессор

1—картер; 2—вал; 3—шків-маховик; 4—шатуны; 5—ползуны; 6—штоки;  
 сьваючі і нагнетательні клапани; 14, 15—предохранительные клапаны  
 кривошипного механизма; 18—промежуточные буферные коробки с маслом





марки 2PK 1,5, 220:

7, 8, 9, 10—поршни соответственно I, II, III, IV ступеней; 11, 12, 13—всасывающие, IV ступеней; 16—холодильники; 17—маслоотделитель для смазки шатунно-соединяющими болтами; 19—коренные подшипники.

жание этого для ремонта и хранения деталей кислородного компрессора необходимо отвести специальные рабочие места и шкафы, которые должны содержаться в полной чистоте. В таком случае возможность замасливания деталей будет исключена. Перед установкой в компрессор детали, соприкасающиеся с кислородом, должны быть предварительно обезжирены путем промывки их дихлорэтаном, чистым спиртом, авиационным бензином или другими растворителями масел и жиров. После промывки детали тщательно просушивают.

Масло может быть занесено в компрессор и с дистиллированной водой, употребляемой для смазки. Во избежание этого необходимо строго следить за состоянием и чистотой резервуаров и трубок, служащих для хранения и подачи дистиллированной воды в компрессор.

Устройство для смазки цилиндров кислородного компрессора дистиллированной водой изображено на рис. 91. Оно состоит из бачка 1, укрепленного на всасывающей трубе компрессора и снабженного плотной крышкой. Бачок имеет водомерное стекло 2, показывающее количество дистиллированной воды в бачке. Вода из бачка поступает в U-образную трубку 3 через кран 4, которым регулируется количество подаваемой воды. Второй конец трубки 3 соединен со всасывающей трубой 5 первой ступени кислородного компрессора. Между трубкой 3 и краном 4 имеется стекло 6 для наблюдения за поступлением воды. Высота колена трубки 3 должна на 50—100 мм превышать величину разрежения (измеренного в мм вод.ст.), создаваемого поршнем во всасывающей трубе компрессора. В противном случае атмосферный воздух будет засасываться в компрессор и загрязнять кислород. Обычно разрежение во всасывающей трубе компрессора составляет 200—250 мм вод.ст., и поэтому высота колена трубки равна 300—350 мм. Нормальная подача воды составляет 15—20 л на 100 м<sup>3</sup> кислорода. Излишняя подача воды может вызвать в компрессоре гидравлический удар, а недостаточная подача воды приводит к

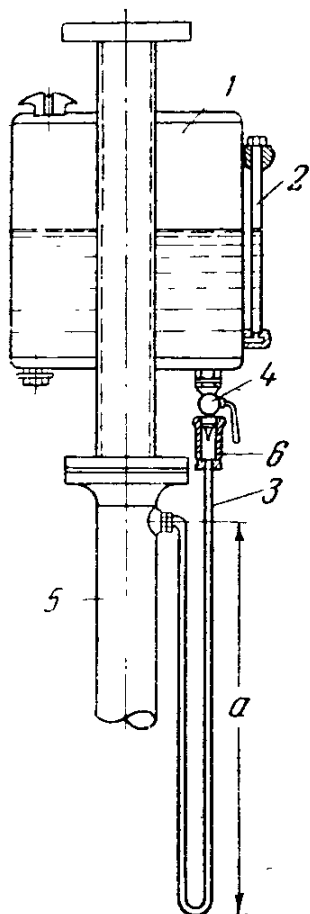


Рис. 91. Устройство для смазки цилиндров компрессора дистиллированной водой:

1—бачек; 2—водомерное стекло; 3—U-образная трубка; 4—регулирующий кран; 5—всасывающая труба цилиндра I ступени; 6—смотровое стекло.

быстрому износу манжет.

Для улавливания дистиллированной воды и кислорода, теряемых при продувке водоотделителя кислородного компрессора, применяют устройство, схема которого изображена на рис. 92. При продувке водоотделителя кислород с дистиллированной во-

дой поступают в водоуловитель 1, где вода остается, а кислород уходит по трубе в газгольдер. Из водоуловителя вода спускается в сборник 2, откуда давлением сжатого воздуха, подаваемого из баллона через редуктор, перекачивается в напорный бак 3. Пройдя через фильтр 4, находящийся в напорном баке, вода по трубке 5 самотеком поступает к бачкам, установленным на кислородных компрессорах. Напорный бак 3 имеет крышку, пробка которой затянута несколькими слоями мелкой сетки и полотна, которые свободно пропускают воздух, но препятствуют попаданию в бак пыли. Все сборники дистиллированной воды рекомендуется делать из латуни или красной меди. При изготовлении сборников из железа внутренняя поверхность их должна быть покрыта полудой.

В цилиндр компрессора масло может попасть по штоку с ползуна и шатуна, сочленения которых смазываются машинным маслом. В практике известны случаи, когда взрывы в цилиндрах кислородных компрессоров происходили вследствие попадания в цилиндры масла по штоку компрессора. Для предохранения от этого под цилиндром каждой ступени ставят маслоулавливающий сальник или специальную кожаную манжету для съема масла со штока. При обслуживании компрессора необходимо постоянно следить за состоянием и правильной работой этих предохранительных устройств и своевременно заменять их.

Рабочий процесс сжатия газа в кислородном компрессоре ничем не отличается от сжатия воздуха в воздушном компрессоре, поэтому останавливаться на описании этого процесса нет необходимости.

В некоторых современных конструкциях кислородных компрессоров уплотнение поршней производят не фибровыми манжетами, а поршневыми кольцами из оловянисто-фосфористой бронзы.

Втулки и поршни цилиндров в этом случае делают из чугуна, клапаны—из бронзы, а их пластины—из нержавеющей стали. Смазку цилиндров таких компрессоров производят специальной эмульсией (см. стр. 53).

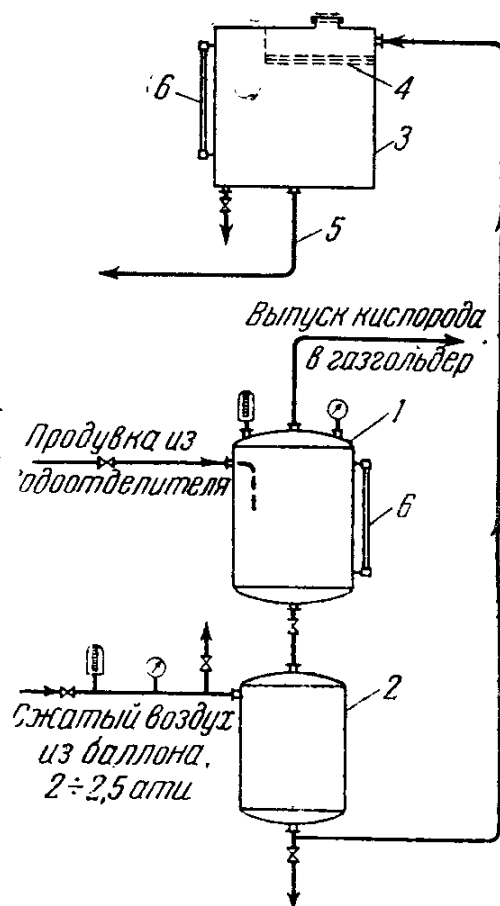


Рис. 92. Схема устройства для улавливания дистиллированной воды и кислорода:

1 — водоуловитель; 2 — сборник дистиллированной воды; 3 — напорный бак с дистиллированной водой; 4 — фильтр; 5 — трубка; 6 — водомерные стекла.

В настоящее время начинают применять также уплотняющие кольца из специального сорта графита. Опыты показали, что компрессоры с такими кольцами работают вполне удовлетворительно и не требуют никакой смазки цилиндров. Последнее обстоятельство является преимуществом графитового уплотнения, так как водяная и эмульсионная смазки увлажняют сжимаемый кислород и вызывают необходимость его сушки.

**Обслуживание компрессоров.** Перед пуском компрессора необходимо проверить надежность всех креплений, состояние приводного ремня, количество смазочного масла в центральной масленке и в подшипниках, а также количество дистиллированной воды в бачке для смазки цилиндров и наличие газа в газгольдере.

Затем открывают продувочный вентиль водоотделителя, вентиль на всасывающем трубопроводе из газгольдера, кран охлаждающей воды и краники центральной масленки. Вентили на всасывающей воздушной трубе закрывают. Маховик компрессора поворачивают от руки на 1—2 оборота, чтобы убедиться в отсутствии помех при ходе поршня. Убрав все посторонние предметы, находящиеся около компрессора, насухо обтирают компрессор и пол вокруг него.

Пуск кислородного компрессора и обслуживание его во время работы производят следующим образом. Сначала предупреждают наполнительную о пуске компрессора. Затем открывают краник бачка с дистиллированной водой и отрегулировывают ее подачу.

Когда маховик компрессора получит нормальное число оборотов, проверяют:

- а) действие масляных капельниц и капельниц, подающих дистиллированную воду;
- б) герметичность маслопроводов и подачу масла;
- в) подачу охлаждающей воды в ванну холодильника;
- г) отсутствие стука в кривошипно-шатунном механизме и в цилиндрах компрессора.

Убедившись в исправном действии смазочной и охлаждающей систем компрессора и нормальной работе механизмов, открывают запорный вентиль на нагнетательной трубе и сообщают в наполнительную о пуске компрессора.

При одновременной работе нескольких компрессоров на одну рампу необходимо сначала выравнивать давление последней ступени пускаемого компрессора с давлением в сети и только после этого открывать запорный вентиль высокого давления на нагнетательной трубе компрессора, включаемого в сеть.

Во время работы кислородного компрессора необходимо тщательно следить за нормальной работой смазочной системы, своевременно добавлять масло в масленки, подшипники и дистиллированную воду в бачок для смазки цилиндров компрессора, а также следить за давлением во всех ступенях компрессора.

Предохранительные клапаны компрессоров нужно продувать не реже одного раза в смену, а водоотделитель компрессора—каждые 15—20 мин.

**Ремонт компрессоров.** Ремонт деталей и узлов кислородных компрессоров производят также, как и ремонт соответствующих деталей воздушных компрессоров.

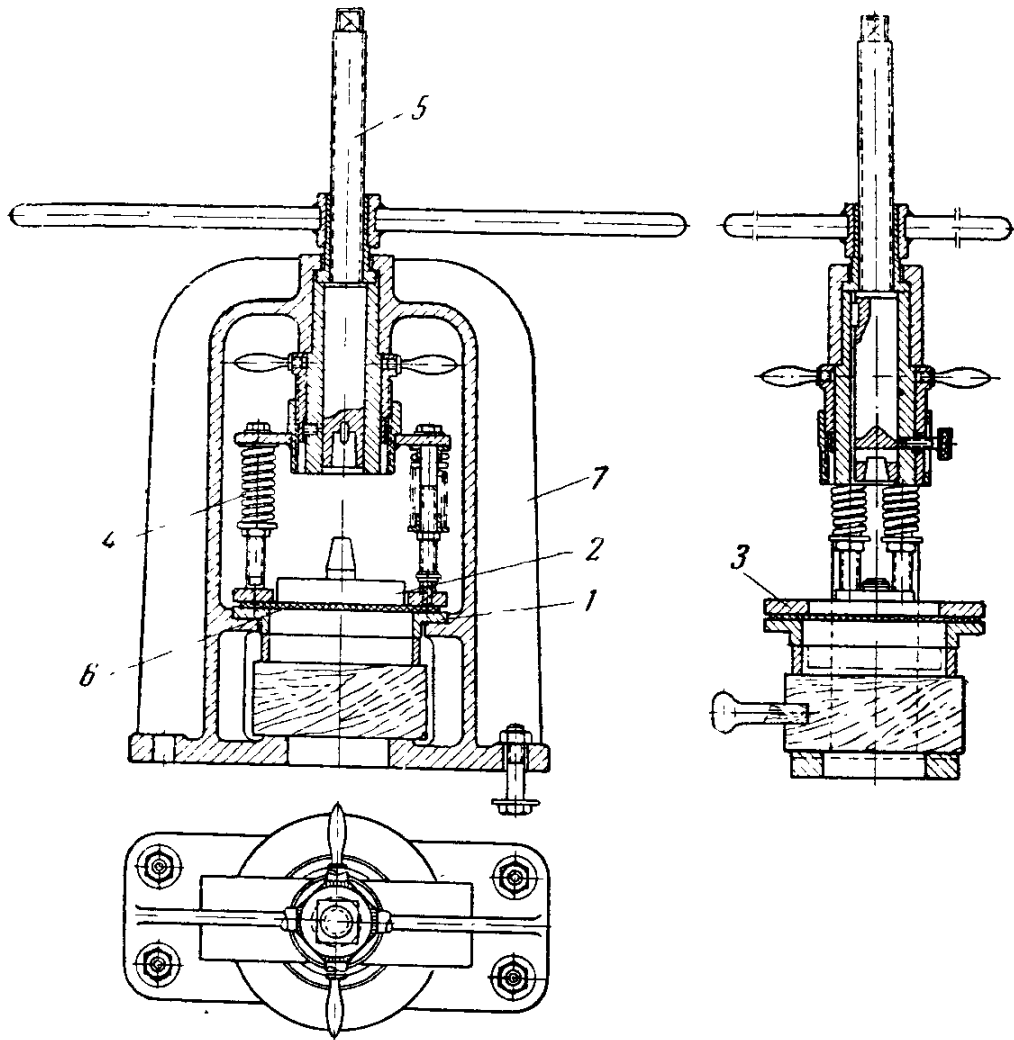


Рис. 93. Штамп для изготовления манжет:

1—матрица; 2—пуансон; 3—складдержатель; 4—пружины; 5—винт нажимный; 6—диск из фибры; 7—рама пресса.

Дополнительным требованием является тщательное обезжиривание всех деталей компрессора, соприкасающихся с кислородом, и хранение их в таких условиях, которые исключали бы возможность попадания на детали малейших следов масла или жиродержащих веществ.

Расточка цилиндра или втулки допускается в том случае, если площадь поперечного сечения цилиндра при этом увеличится не более чем на 10%. В противном случае втулку или цилиндр следует заменить новыми. Поршень цилиндра, подвергшегося расточке, должен быть заменен новым в том случае, если зазор

между стенкой цилиндра и поршнем получается больше толщины манжеты.

Наиболее частым видом ремонта кислородных компрессоров является смена фибровых манжет поршней компрессора, которая обычно делается при очередных остановках аппарата для отогревания. Для изготовления манжет следует применять фибру только строго определенного качества (см. стр. 54). Фибру нарезают квадратами требуемого размера и замачивают в воде при 60—70° в течение 8—10 час. Затем из квадратов вырезают диски, диаметр которых подбирается практически или рассчитывается по размерам поршня. Диски подвергают прессованию в штампе. Сушку манжет производят в штампе или в специальном стакане, диаметр которого равен диаметру манжет. При штамповке диаметр пуансона должен быть меньше диаметра матрицы на величину, равную тройной толщине размоченной фибры. Штамповка манжет, во избежание образования складок, ведется в штампе (рис. 93), снабженном складкодержателем. При этом пуансон 2 должен быть расположен точно в центре отверстия матрицы 1, а складкодержатель 3 затянут с соответствующим усилием. При слабой затяжке складкодержателя на манжете получаются складки, а при слишком сильной—фибра рвется. Высушенные манжеты обрезают на токарном станке, снимая фаску кромки под углом 45°, а затем вырезают центральное отверстие, соответствующее размерам поршня. Наружную (боковую) рабочую поверхность манжеты следует шлифовать шкуркой, а затем отполировать фетром. При хранении готовые манжеты следует набрать на деревянные оправки, стянуть болтом и поместить в закрытые металлические чехлы—трубки из жести или латуни.

#### 4. НАСОСЫ ДЛЯ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

**Конструкция насосов.** За последние годы советские специалисты разработали и продолжают усовершенствовать способ непрерывной газификации жидкого кислорода при помощи насосов. Принцип этого способа состоит в том, что жидкий кислород из резервуара (танка) непрерывно подается в рабочее пространство цилиндра поршневого кислородного насоса специальной конструкции, откуда перекачивается в змеевик испарителя. В последнем происходит превращение жидкого кислорода в газ соответствующего давления.

Основными затруднениями при конструировании и постройке таких насосов является создание надежного износоустойчивого уплотнения плунжера в цилиндре насоса и в связи с этим разработка конструкции основных частей насоса: плунжера, цилиндра, а также клапанов. При эксплуатации насоса этим частям приходится работать в атмосфере жидкого кислорода, т. е. при очень низкой температуре. Значительный вклад в разрешении этих вопросов внесли советские инженеры-изобрета-

тели и конструкторы Ю. Н. Рябинин, И. П. Дробинин, С. Е. Дунаев, К. С. Буткевич и др.

Наиболее распространенной конструкцией жидкостного кислородного насоса, показавшего себя весьма надежным в эксплуатации, является насос высокого давления, применяемый в кислородных установках вместо кислородного компрессора. Схема

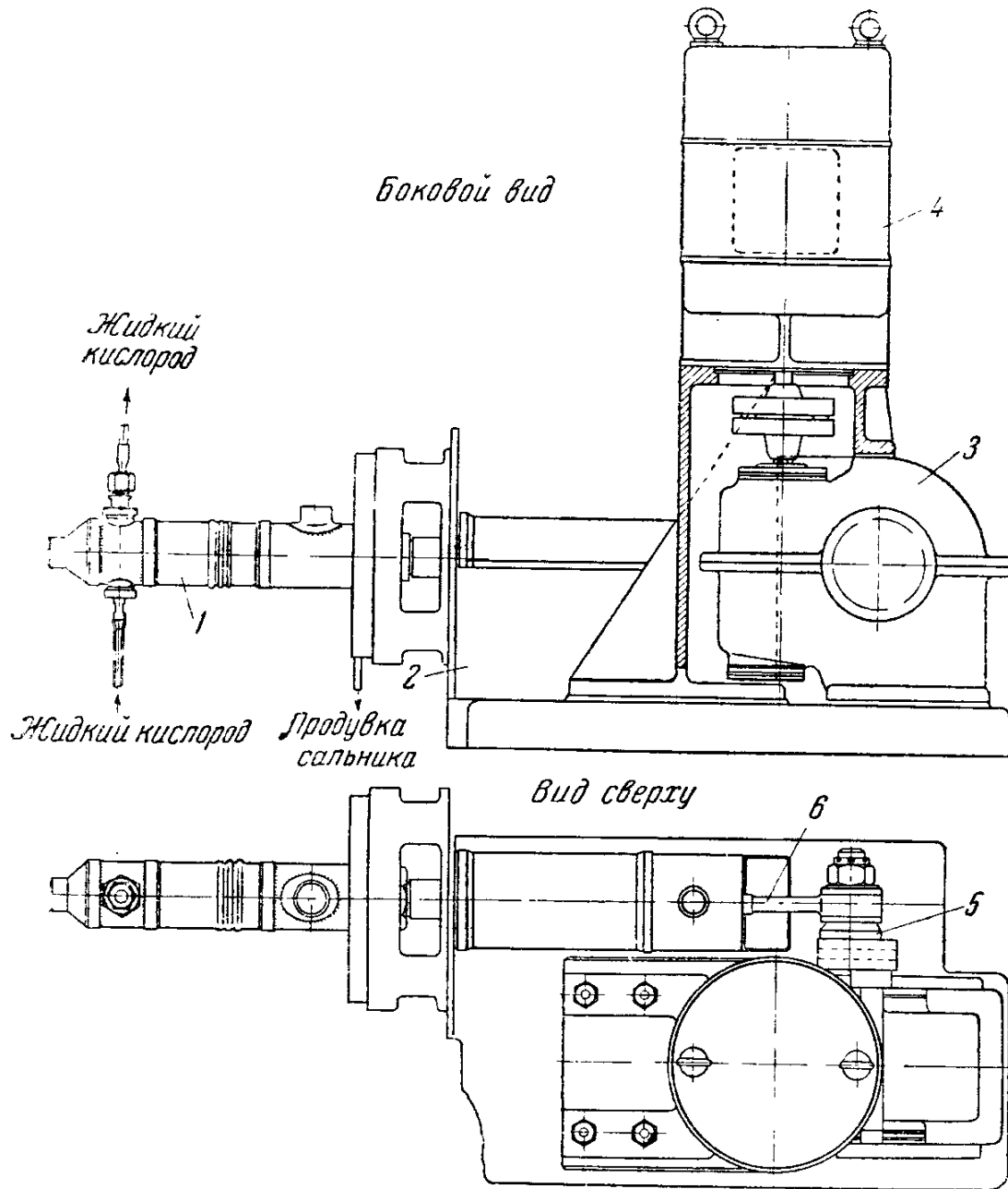


Рис. 94. Насос для жидкого кислорода:

1—кожух цилиндра; 2—станина; 3—редуктор; 4—электродвигатель; 5—кривошип; 6—шатун.

включения и принцип работы такого насоса были разобраны выше при описании установки типа КГН-30 (см. гл. IV). Здесь мы более подробно рассмотрим устройство самого насоса.

Внешний вид насоса изображен на рис. 94. Кожух цилиндра 1 насоса помещен в изоляции кислородного аппарата (на рисун-

ке насос показан без изоляции). Станина 2 имеет сбоку червячный редуктор 3, который передает вращение ротора электродвигателя 4 коленчатому валу насоса. На валу последнего имеется кривошип 5, соединенный с шатуном 6,двигающим поршень.

Ниже приведена техническая характеристика насоса:

Производительность, л. час. . . . .	40
Максимальное давление, <i>ати</i> . . . . .	200
Число оборотов вала в минуту . . . . .	100
Диаметр плунжера, мм . . . . .	15
Ход плунжера, мм . . . . .	50
Потребляемая мощность, л. с. . . . .	0,6

В зависимости от режима работы кислородного аппарата производительность насоса изменяют, увеличивая или уменьшая этим отбор кислорода из аппарата. Для регулирования производительности насоса изменяют число оборотов его вала, вследствие чего изменяется число ходов плунжера. Если насос работает от электродвигателя постоянного тока, то число оборотов изменяют с помощью реостата, включенного в электрическую цепь электродвигателя. Электродвигатель переменного тока имеет постоянное число оборотов. Поэтому, в этом случае между ним и редуктором устанавливают так называемый вариатор скоростей, который изменяет передаточное число между валами электродвигателя и насоса. Вследствие изменения передаточного числа приводного механизма число оборотов вала насоса также будет соответственно изменяться.

На рис. 95 показаны в разрезе цилиндр и сальник насоса. Всасывающий 1 и нагнетательный 2 шариковые клапаны расположены в головке 3 насоса, сделанной из латуни марки ЛЖМЦ-59-1. Плунжер 4 сделан из монель-металла\* или из нержавеющей стали. Его длина должна быть достаточно большой для уменьшения потерь холода вследствие теплопроводности. Корпус втулки 5 цилиндра выполнен из латуни марки ЛС-59-1. Плунжер не касается стенок головки, а движется в бронзовой направляющей втулке 10. К этой втулке прижаты уплотнительные кольца 6 плунжера, сделанные из прографиченного асбеста. Между кольцами засыпан чешуйчатый графит 7. Далее поставлена графитовая втулка 8 и латунная направляющая втулка 9. Азот для охлаждения цилиндра поступает в наружную рубашку 11 и выходит по трубе 12. Холодная (по чертежу—левая) часть насоса отделена от теплой (правой) текстолитовым тепловым мостиком 13. На теплом конце плунжера поставлен двойной сальник 14, уплотненный графитовой втулкой 15 и асбестовой набивкой 16. От станины насоса сальник отделен тепловым мостиком в виде

\* Монель-металл — сплав, содержащий 25—30% меди, 60—70% — никеля и не более 3% алюминия, марганца и железа.



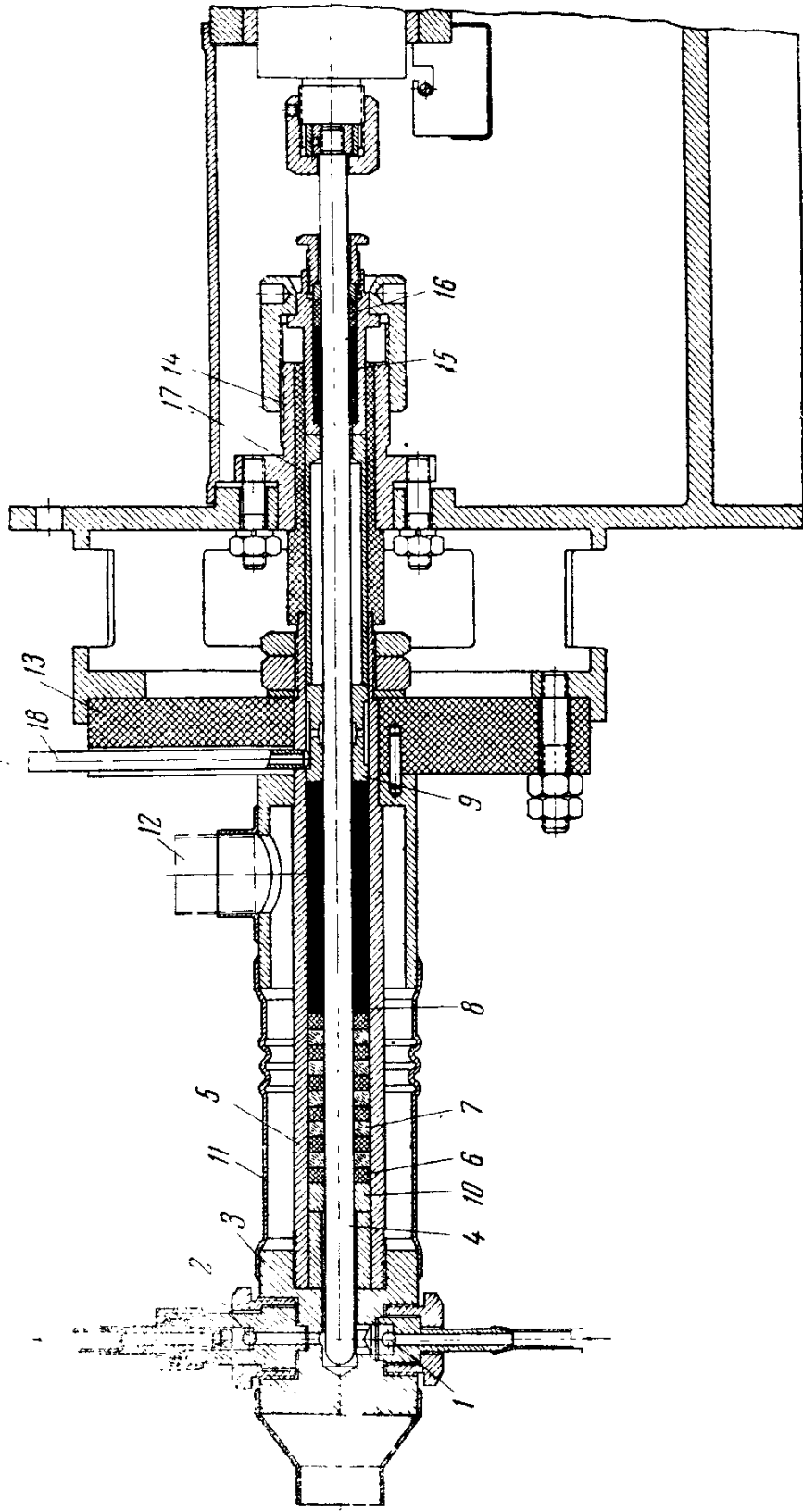


Рис. 95. Разрез цилиндра и сальника насоса для жидкого кислорода:

1—всасывающий клапан; 2—нагнетательный клапан; 3—головка насоса; 4—пестунок; 5—штулка цилиндра; 6—кольцо из прографитованного асбеста; 7—чешуйчатый графит; 8—графитован иулка; 9 латушная иулка; 10—бронзовая иулка; 11—рубанка насоса; 12—труба для отвода азота; 13—текстолитовый теклоной мостик; 14—сальник; 15—графитован иулка; 16—асбестовая набивка; 17—текстолитовая иулка; 18—труба для отвода газообразного кислорода.

текстолитовой втулки 17. Просочившийся по плунжеру газообразный кислород отводится наружу по трубе 18.

Неполадки в работе насоса, выражающиеся обычно в понижении его производительности, происходят вследствие следующих причин: пропусков в сальнике плунжера, неисправности клапанов, недостаточного охлаждения насоса азотом, забивки трубопровода на линии всасывания и пр. Иногда наблюдается сильное нагревание муфты сальника, вызываемое перекосом сопряженных деталей насоса, односторонним износом графитовой втулки, сильным трением плунжера о втулку сальника.

Для устранения обнаруженных дефектов требуется разборка насоса, которую производят при остановке аппарата на отогрев.

Асбесто-графитовые кольца для сальниковой набивки насоса изготовляют из шнурового асбеста (диаметром 2—3 мм), который разрезают на куски длиной 500 мм. Куски промывают в четыреххлористом углероде или дихлорэтане и тщательно высушивают. Затем каждый кусок шнура обваливают в чешуйчатом графите и заплетают из 18—24 кусков один квадратный шнур. Этот шнур режут на куски длиной 80 мм, срезая концы под углом 45°. Отрезки квадратного шнура закладывают в прессформу, располагая косые срезы друг под другом в горизонтальной плоскости, пересыпают кольца чешуйчатым графитом и сжимают пуансоном под прессом или в тисках. Руки рабочего, изготовляющего набивку, должны быть обезжирены растворителем. Зольность применяемого чешуйчатого графита не должна превышать 13%.

На рис. 96 показана схема двухступенчатого насоса для жидкого кислорода высокого давления конструкции инж. И. Н. Дробинина и С. Е. Дунаева, применяемого для газификации жидкого кислорода с целью наполнения баллонов. Насос состоит из цилиндра I ступени 1 и цилиндра II ступени 2, в которых движутся плунжеры. Цилиндры и плунжеры изготовлены из специальных сортов стали, подвергнутой соответствующей термической обработке. Жидкий кислород через силикагелевый фильтр 3 (адсорбер) поступает сначала в приемный бачок 4, а затем в рубашку цилиндра I ступени. В бачке отделяется газообразная фаза от жидкого кислорода и создается некоторый напор жидкого кислорода, необходимый для заполнения цилиндра насоса через отверстия, имеющиеся в стенке цилиндра. При ходе плунжера вниз жидкий кислород через клапаны 5 и 6 подается в цилиндр II ступени, откуда через клапан 7 идет в змеевик испарителя, обогреваемый горячей водой или паром. В испарителе кислород превращается в газ давлением до 170 *атм*. Под этим давлением кислород накачивается в баллоны. Уплотнение плунжера осуществлено с помощью сальника, имеющего асбесто-графитовую набивку. Смазка плунжера производится жидким кислородом. Обратный клапан 8 служит для перепуска части жидкого кислорода, прошедшего через зазор между плунжером и цилиндром II ступени, обратно во всасывающую

линию II ступени. Манометр 9 показывает давление после I ступени. По змеевикам 10 и 11 проходит газообразный кислород, направляющийся в газгольдер, что способствует уменьшению притока тепла из окружающей среды к насосу. По указателю уровня 12 наблюдают за количеством жидкости в бачке 4.

В зависимости от размеров цилиндров такой насос перекачивает 50—100 л/час жидкого кислорода, который превращается в газ, имеющий давление 150—170 атм.

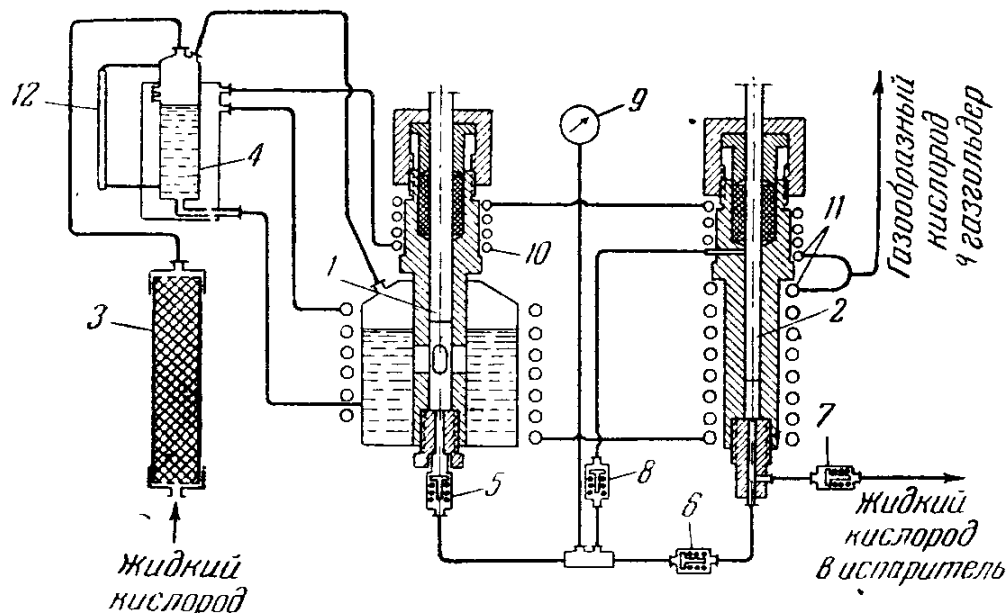


Рис. 96. Схема двухступенчатого насоса высокого давления системы Дробинина и Дунаева:

1—цилиндр I ступени; 2—цилиндр II ступени; 3—фильтр; 4—приемный бачок; 5, 6—нагнетательные клапаны I ступени; 7—нагнетательные клапаны II ступени; 8—промежуточный обратный клапан; 9—манометр; 10, 11—охлаждающие змеевики; 12—указатель уровня.

Для безотказной работы насоса требуется строгое наблюдение при его сборке за чистотой и сухостью плунжера и гильзы и тщательная фильтрация жидкого кислорода с целью очистки его от твердых частиц—кусочков льда, твердой углекислоты, металлических частиц и пр.

**Обслуживание насосов.** Пуск и остановка кислородного насоса производятся аппаратчиком путем включения и выключения рубильника электродвигателя насоса. Предварительно перед пуском насоса необходимо проверить поступление масла в подшипники электродвигателя и редуктора; затем открыть вентили для продувки кислородопровода и вентиль для отвода кислорода из сальникового уплотнения плунжера насоса. После этого присоединить к рампе крожные кислородные баллоны, открыть вентили, сообщающие баллоны с рампой, и включить рубильник электродвигателя насоса. Число оборотов вала насоса установить на требуемую производительность в соответствии с режимом работы воздухоразделительного аппарата. Производительность на-

соса надо регулировать таким образом, чтобы из аппарата отводилось наибольшее количество кислорода заданной чистоты. Пропуски, появляющиеся в сальнике насоса, устраняют путем подтягивания сальника или смены набивки.

## 5. ГАЗИФИКАТОРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В газификаторах высокого давления (теплые газификаторы) происходит превращение всего залитого в них жидкого кислорода в газ, которым наполняют баллоны. Устройство теплового газификатора показано на рис. 97.

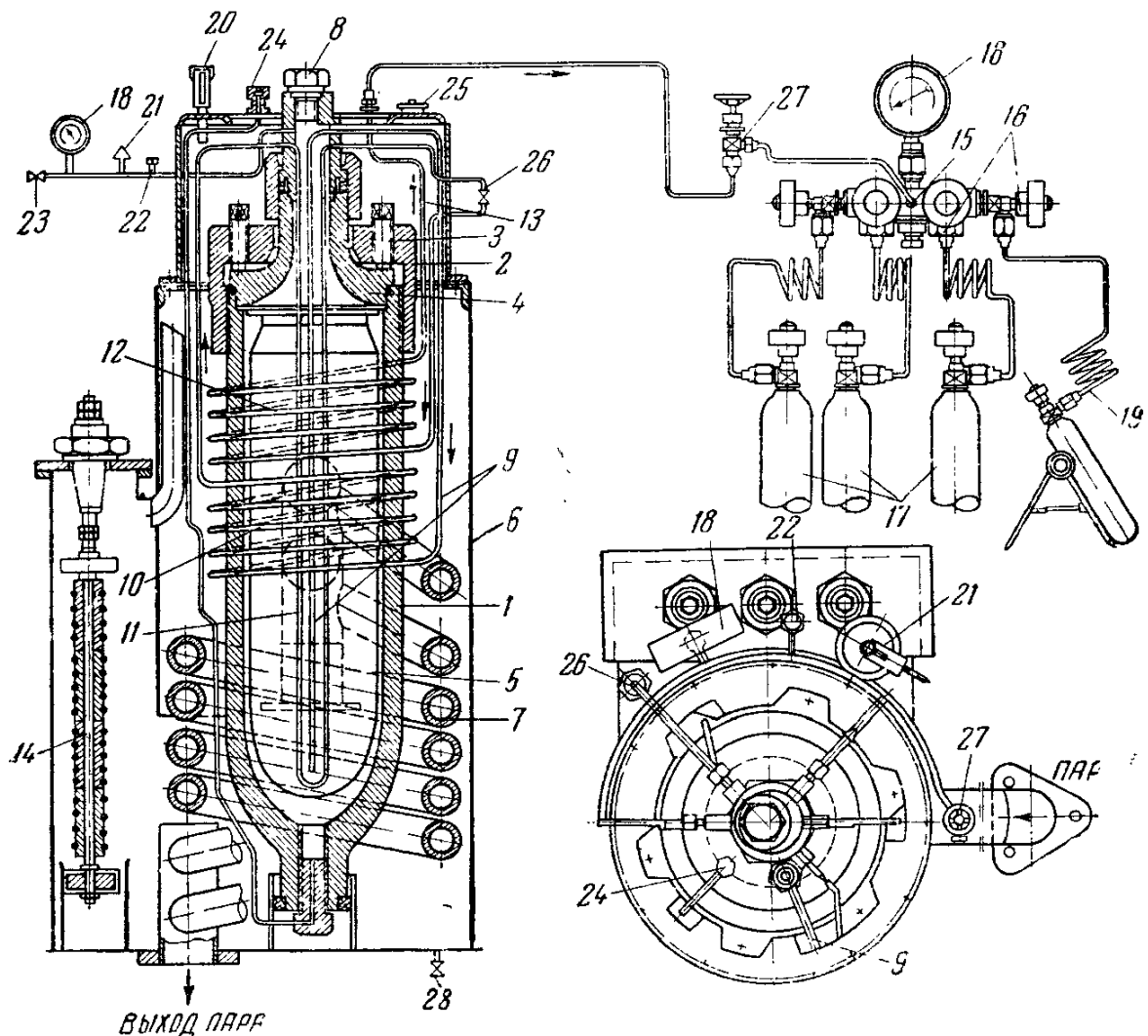


Рис. 97. Схема теплового газификатора высокого давления:

1—стальной сосуд; 2—наружная крышка; 3—нажимные шпильки; 4—внутренняя крышка; 5—латунная вставка; 6—ванна; 7—трубы парового подогревателя; 8—пробка; 9—трубка для выхода жидкого кислорода; 10, 12—змеевики; 11—испаритель; 13—трубка для газообразного кислорода; 14—электроподогреватель; 15—наполнительная рампа основная; 16—рамповые вентили; 17—баллоны; 18—манометры; 19—наполнительная рампа для малолитражных баллонов; 20—термометр; 21—предохранительный клапан; 22—пробка с предохранительной мембраной; 23—вентиль для спуска давления; 24—пробка для продувки междустенного пространства газификатора; 25—штуцер для наливания воды в ванну; 26—обратный клапан; 27—грушевой вентиль; 28—кран для слива воды из ванны.

Газификатор представляет собой цилиндрический толстостенный сосуд 1 из стали, на верхнюю часть которого накручена по резьбе крышка 2. Эта крышка с помощью нажимных шпилек 3 прижимает внутреннюю уплотняющую крышку 4. Внутри стального сосуда имеется латунная вставка 5, емкостью 15 л, которая наполняется жидким кислородом. Так как между вставкой 5 и стенкой сосуда 1 имеется газовая прослойка, являющаяся плохим проводником тепла, то температура стенок стального цилиндра будет положительной, поскольку цилиндр снаружи смачивается теплой водой, находящейся в ванне 6. Малый вес латунной вставки 5 способствует уменьшению потерь кислорода на испарение при заливке газификатора, так как вставка быстро охлаждается до температуры жидкого кислорода. Подогрев воды в ванне осуществляется или паром, подаваемым по трубам 7, или электроподогревателем 14. Наполнение газификатора жидким кислородом производят через отверстие, закрываемое пробкой 8.

После наполнения газификатора жидким кислородом пробку 8 закрывают и в ванну пускают пар. Жидкий кислород начинает интенсивно испаряться, давление в сосуде повышается и жидкость по трубке 9 передавливается в змеевик 10, где испаряется и поступает во внутренний испаритель 11, увеличивая при этом испарение кислорода в сосуде газификатора. Из испарителя кислород через обратный клапан 26 снова идет в наружный змеевик 12, испаряется и подогревается в нем, а затем по трубке 13 в виде газа поступает в баллоны наполнительной рампы. От одной заливки газификатора жидким кислородом можно наполнить два 40-литровых кислородных баллона до давления 150—165 *атм*. Процесс наполнения газификатора и испарения всего кислорода занимает 30—40 мин. Таким образом один такой газификатор может зарядить кислородом 4 баллона в час, т. е. дать 24  $\text{м}^3/\text{час}$  газообразного кислорода.

Потери жидкого кислорода на испарение при заливке теплого газификатора зависят от длины коммуникации, ее изоляции, формы и веса латунной вставки газификатора, сечения заливочной пробки и прочих факторов. Эти потери на испарение обычно колеблются в пределах 5—10% от емкости газификатора. С увеличением емкости газификатора относительные потери кислорода при его заполнении уменьшаются.

## 6. ГАЗИФИКАТОРЫ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Газификаторы среднего давления (холодные газификаторы) предназначены для хранения жидкого кислорода под давлением, причем в зависимости от расхода газа некоторая часть жидкого кислорода превращается в газ под тем же давлением. Полученный газообразный кислород подается к месту его потребления по газопроводу.

Установка для газификации включает следующие основные части (рис. 98): *А*—газификатор, являющийся также и резервуаром для хранения жидкого кислорода под давлением; *Б*—подогреватель с двумя змеевиками для испарения жидкого кислорода; *В*—запасный резервуар для газообразного кислорода (решипиент); *Г*—щит контрольно-измерительных приборов; *Д*—распределительный щит.

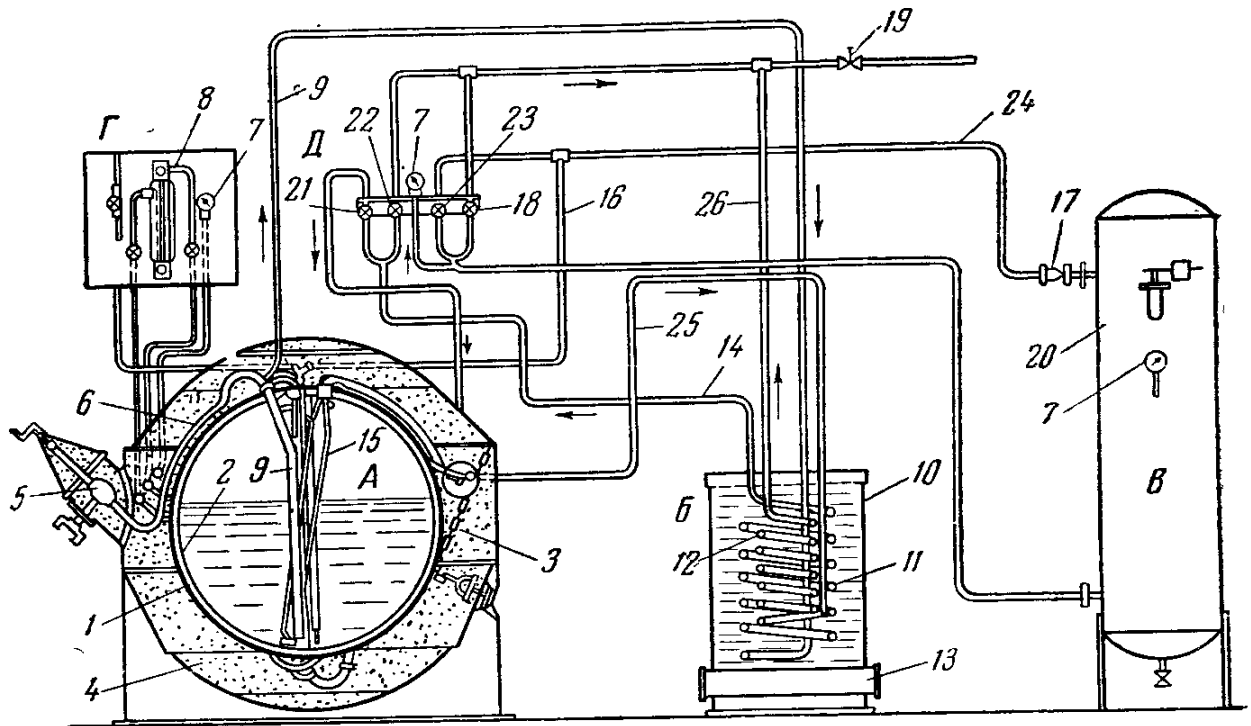


Рис. 98. Схема холодного газификатора:

*А*—газификатор; *Б*—подогреватель; *В*—запасный резервуар; *Г*—щит контрольно-измерительных приборов; *Д*—распределительный щит; 1—шаровой сосуд; 2—латунный шар; 3—цепи; 4—кожух; 5, 18, 19, 21, 22, 23—вентили; 6, 9, 14, 16, 24, 25, 26—трубопроводы; 7—манометры; 8—указатель уровня; 10—ванна; 11, 12—змеевики; 13—электроподогреватель; 15—испаритель; 17—обратный клапан; 20—предохранительный клапан.

Газификатор *А* состоит из стального шарового сосуда 1, внутри которого вставлен тонкостенный латунный шар 2, предназначенный для приема жидкого кислорода. Между стенками внутреннего и наружного шаров имеется пространство в 5—7 мм. Наружный шар подвешен на цепях 3 внутри кожуха 4; пространство между шаром и кожухом заполнено изоляцией из углекислой магнезии. Наполнение газификатора жидким кислородом производится через вентиль 5 и трубу 6.

Давление в газификаторе контролируют манометром 7, а количество жидкости—указателем уровня 8, расположенными на щите *Г*.

Газификатор имеет предохранительный клапан, отрегулированный на предельное рабочее давление, и предохранительную мембрану, которая разрывается при повышении давления в газификаторе до 20 *атм*. Кожух газификатора снабжен также предо-

хранительной резиновой мембраной, которая разрывается при повышении давления в кожухе свыше 0,5 *ати*.

Жидкость из шарового сосуда газификатора по трубе 9 подается в подогреватель *Б* с испарительными змеевиками. Подогреватель состоит из цилиндрической ванны 10, наполненной нагретой водой, в которую опущены змеевики 11 (основной) и 12 (добавочный). Вода ванны нагревается электроподогревателем 13. Газообразный кислород из основного подогревательного змеевика 11 по трубе 14 отводится в расположенный внутри газификатора испаритель 15.

Запасный резервуар *В* (реципиент) сообщается с газовым пространством шара газификатора через трубу 16. Когда газификатор наполнен жидким кислородом, то, вследствие естественного испарения жидкого кислорода за счет притока тепла из окружающей среды, давление в нем повышается. Образующийся при этом газ отводится по трубе 16 через обратный клапан 17 в реципиент. Таким образом при повышении давления в сосуде газификатора давление в реципиенте также повышается. Открыв вентили 18 и 19, газ из реципиента можно пустить в сеть потребления. На реципиенте расположены предохранительный клапан 20 и манометр 7.

Для регулирования работы газификатора служат вентили 18, 21, 22, и 23, расположенные на распределительном щите *Д*, и запорный вентиль 19, установленный на трубе, подающей газообразный кислород к месту потребления. При наличии давления газа в шаре газификатора жидкий кислород через трубу 9 вытесняется в змеевик 11, испаряется в нем и при открытых вентилях 22 и 19 подается непосредственно в сеть. Когда давление в шаре газификатора недостаточно для подачи в змеевик 11 жидкого кислорода в количестве, соответствующем потреблению газа из газификатора в данный момент, то повышение давления в шаре производится перепуском в него газа из реципиента через вентиль 23 по трубе 16.

При падении давления в реципиенте или необходимости быстро поднять давление в шаре газификатора, а также при значительном расходе газа пользуются испарителем 15. Для этого открывают вентиль 21 и газ из основного змеевика 11 подогревателя *Б* по трубе 14 поступает в испаритель 15, конденсируется в нем снова в жидкость, испаряя при этом такое же количество жидкого кислорода в шаре, а затем выходит по трубе 25 во вспомогательный змеевик 12 подогревателя *Б*. Затем этот кислород уже в газообразном виде и подогретый отводится к местам потребления через трубу 26 и вентиль 19.

Холодный газификатор в целях безопасности устанавливается в отдельном огнестойком помещении с бетонным или асфальтовым полом и легким перекрытием. Дверь и окна помещения должны открываться наружу. Распределительный щит, ванна подогревателя, указатель уровня жидкости, манометры, вентиль для

выпуска газа устанавливают в соседнем помещении, отделенном от помещения газификатора глухой стеной, без дверей и окон. Допускается только центральное паровое или водяное отопление помещения газификатора. В помещении должна быть предусмотрена достаточная естественная вытяжная вентиляция. Допускается только электрическое освещение с герметической арматурой, причем предохранитель, выключатели и рубильник располагаются вне помещения. Весь обслуживающий персонал должен находиться в помещении распределительных щитов. Вход посторонних лиц в газификаторную станцию и, особенно, курение и зажигание огня в помещениях холодных газификаторов строго запрещены.

Техническая характеристика типового холодного газификатора марки ХГ-800:

Емкость газификатора, л . . . . .	1000
Максимальное рабочее давление, <i>ати</i> . . . . .	15
Пробное гидравлическое давление, <i>ати</i> . . . . .	30
Толщина стенки, <i>мм</i> . . . . .	20
Внутренний диаметр стального шара, <i>мм</i> . . . . .	1250
Толщина слоя изоляции, <i>мм</i> . . . . .	260
Производительность при рабочем давлении 5—10 <i>ати</i> , <i>м<sup>3</sup>/час</i> . . . . .	75
То же при 15 <i>ати</i> , <i>м<sup>3</sup>/час</i> . . . . .	100
Потери при наполнении, % . . . . .	5
Потери за 1 час на испарение в период охлаждения, % . . . . .	3,5
Потери за 1 час в охлажденном газификаторе, % . . . . .	0,3
Температура воды в подогревающей ванне, °С . . . . .	+80
Диаметр основания, <i>мм</i> . . . . .	1800
Общая высота, <i>мм</i> . . . . .	1860

При большом или неравномерном потреблении кислорода применяется холодный газификатор «интенсифицированного» типа, схема которого дана на рис. 99. Он отличается от типового газификатора наличием пускового испарителя 1, который служит для быстрого поднятия давления в газификаторе во время пуска или во время нормальной работы. Открывая вентиль 2, жидкий кислород пускают в змеевик пускового испарителя, где кислород испаряется и, направляясь по трубе 3 в газовое пространство шара 4, быстро поднимает давление в газификаторе. С помощью такого устройства можно быстро увеличить производительность газификатора в 10—12 раз против указанной выше, что иногда необходимо при неравномерном, «пиковом» потреблении кислорода из газификационной установки.

## 7. ОБСЛУЖИВАНИЕ ГАЗИФИКАТОРОВ

**Газификаторы высокого давления.** При пуске теплых газификаторов прежде всего наполняют водой подогревательную ванну и, включив подогрев, повышают температуру воды до 80°С. Затем присоединяют соответствующее число порожних кислородных



баллонов к основной и добавочной наполнительным рампам и открывают вентили баллонов и рамп. Через наливное приспособление газификатор заполняют жидким кислородом из танка до установленного уровня и закрывают пробкой. Одновременно закрывают вентиль спуска давления. Когда давление начинает повышаться, открывают вентили на первом и втором баллонах. По достижении в этих баллонах давления 150 *ати* вентили баллонов закрывают и открывают вентили на следующих двух баллонах и т. д. Последующие баллоны уже будут наполняться до более низкого давления. Перепуск кисло-

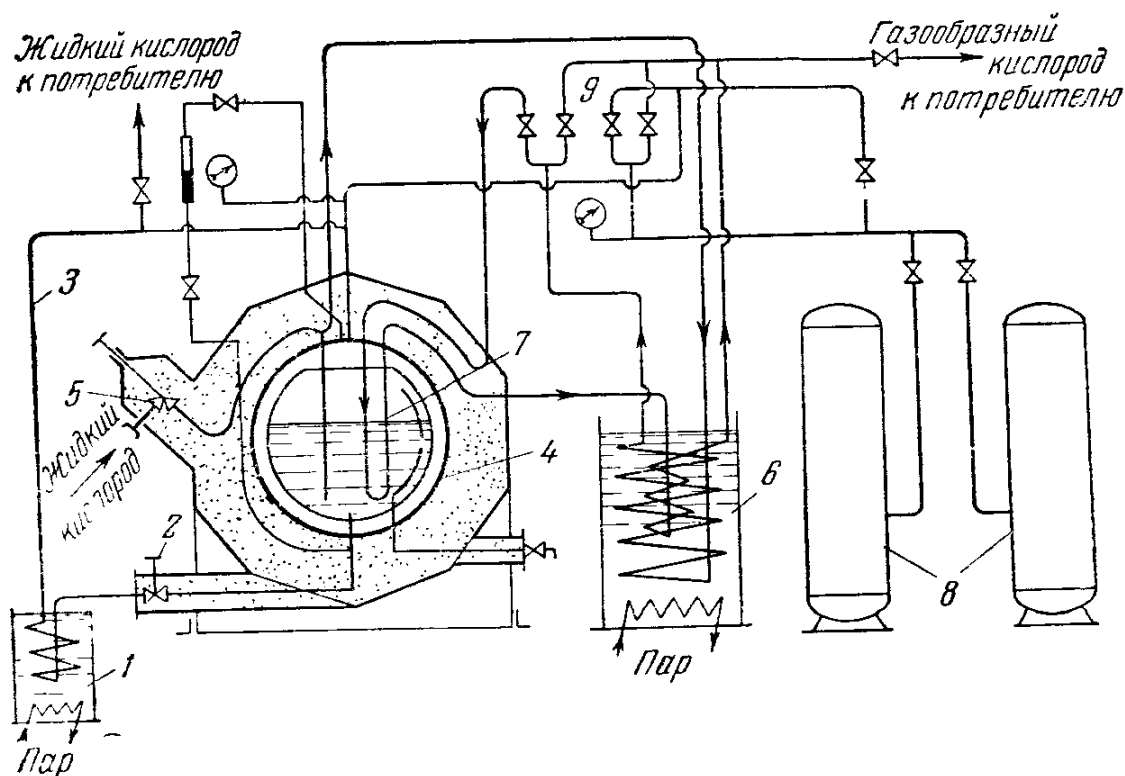


Рис. 99. Схема «интенсифицированного» холодного газификатора:

1—пусковой испаритель; 2—пусковой вентиль; 3—труба для газообразного кислорода; 4—шар газификатора; 5—вентиль для наполнения; 6—основной подогреватель; 7—испаритель; 8—реципиенты; 9—вентили щита управления.

рода в баллоны продолжают до тех пор, пока давление в системе газификатор—рампа не станет равным 5—10 *ати*. Остаток кислорода выпускают в газгольдер, после чего газификатор вновь наполняют жидким кислородом.

Не реже 1 раза в 10 дней нужно проверить, не скопилось ли масло на дне латунной вставки газификатора, что представляет опасность, так как может явиться причиной вспышки в газификаторе и даже его взрыва. Для удаления масла газификатор продувают сухим воздухом или азотом, затем осматривают внутренность вставки, осветив ее низковольтной лампочкой. Лампочку опускают во вставку через пробку газификатора. Остатки масла осторожно удаляют томпоном из чистой полотняной тряпки,

смоченной растворителем. При осмотре проверяют также целостность вставки. Один раз в 3 года стальной сосуд газификатора подвергают гидравлическому испытанию на 250 *ати*. В случае необходимости весь газификатор промывают растворителем. После испытания внутренние части газификатора, а также все его трубопроводы и арматура должны быть тщательно просушены сухим горячим азотом или воздухом.

**Газификаторы среднего давления.** Перед наполнением холодного газификатора давление в нем спускают, а затем, соединив гибким шлангом танк и газификатор, наполняют последний жидким кислородом. Наполнение газификатора производят только до красной метки на шкале указателя уровня или до тех пор, пока из верхнего контрольного крана газификатора не начнет поступать жидкий кислород. Окончив наполнение, закрывают сливной вентиль на танке, а через 10—15 мин.—вентиль на газификаторе. После этого немедленно отсоединяют шланг и закрывают вентиль для выпуска кислорода в газгольдер (или в атмосферу), тогда в газификаторе начинается медленное возрастание давления.

Во время наполнения газификатора жидким кислородом питание сети газообразным кислородом производится из реципиента. Для ускорения подъема давления в газификаторе в него впускают сжатый кислород из реципиента. Когда давление в системе достигнет установленной величины, начинают отбор газа в сеть через подогреватель, открыв соответствующий вентиль на распределительном щите. Если давление в сети повышается, то необходимо выключить из линии испаритель (находящийся внутри шара газификатора), используя для этого вентиль, имеющийся на щите управления. Перед прекращением работы газификатора давление в нем нужно снизить. Если предполагается остановка более чем на 24 часа, то из газификатора сливают жидкий кислород и спускают давление, открывая вентиль для отвода паров кислорода в газгольдер или в атмосферу. Перед окончательным опоражниванием газификатора нужно работать на возможно более высоком давлении для того, чтобы накопить запас кислорода в реципиенте.

Один-два раза в год газификатор отогревают и промывают растворителем для удаления масла. Промывку производят тем же способом, что и промывку танка. После тщательной продувки и удаления остатков растворителя газификатор просушивают сухим, горячим азотом в течение не менее 20 час. до полного удаления остатков растворителя (дихлорэтана), пары которого в смеси с кислородом взрывоопасны. Один раз в 3 года стальной шар газификатора и реципиенты подвергают наружному осмотру и гидравлическому испытанию на полуторное рабочее давление. После гидравлического испытания внутренняя часть шара газификатора, а также все его трубопроводы и арматура должны быть просушены особо тщательно.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Для чего применяют газгольдеры в кислородных установках?
2. Как устроен мягкий газгольдер и где он располагается?
3. Как устроен «мокрый» газгольдер?
4. Каково устройство стационарного танка?
5. Чем обусловлены потери жидкого кислорода на испарение в танке и какова их величина?
6. В чем особенности конструкции кислородных компрессоров и какие материалы применяют для изготовления их основных деталей?
7. Как производят смазку цилиндров кислородного компрессора?
8. Какие меры предосторожности необходимо применять при разборке и ремонте кислородного компрессора?
9. Как изготавливают манжеты для кислородного компрессора?
10. Что нужно сделать для подготовки кислородного компрессора к пуску?
11. Как производят пуск кислородного компрессора?
12. В чем заключается обслуживание кислородного компрессора во время работы?
13. Каково назначение насосов для жидкого кислорода?
14. Как устроен двухступенчатый кислородный насос высокого давления?
15. Как устроен и работает горизонтальный жидкостной насос высокого давления, применяемый в установках для получения газообразного кислорода?
16. Как устроен и работает теплый газификатор?
17. Как устроен холодный газификатор и как он работает?
18. В чем состоит обслуживание газификаторов высокого и среднего давления?
19. Определить, сколько  $m^3$  жидкого кислорода испаряется из танка емкостью 2800 л в течение 24 час.
20. Определить суточный расход дистиллированной воды в цехе, в котором работают 5 кислородных компрессоров производительностью 90  $m^3/час$  каждый.
21. В цехе установлено 4 кислородных компрессора производительностью 90  $m^3/час$  каждый. Определить количество баллонов, которые должны быть включены в наполнительную рампу для обеспечения непрерывной работы компрессоров.
22. Указатель уровня жидкого кислорода в цистерне заполнен четырехбромистым ацетиленом, имеющим удельный вес 2,956. Определить длину шкалы указателя, если максимальная высота уровня жидкого кислорода в цистерне составляет 2000 мм.

53  
45  
12  
55  
3  
18  
25  
24  
14025

## НАПОЛНЕНИЕ БАЛЛОНОВ КИСЛОРОДОМ

### § 1. БАЛЛОНЫ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ

Баллоны служат для хранения и перевозки газообразного кислорода в сжатом виде под давлением 150 *ати*. Разрез и наружный вид кислородного баллона изображены на рис. 100.

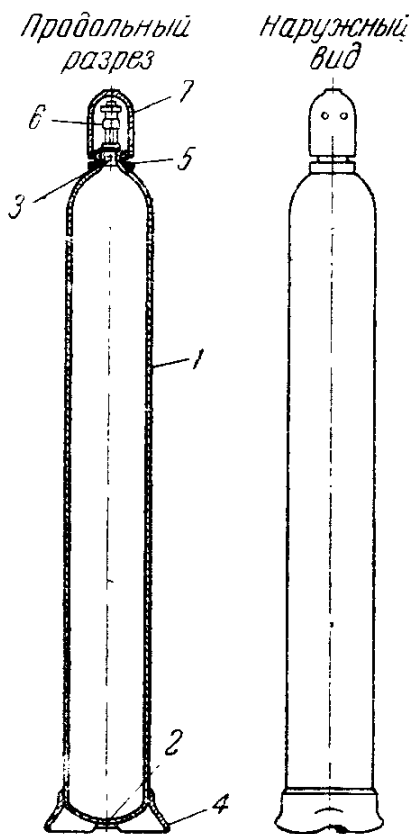


Рис. 100. Кислородный баллон:

1—корпус баллона; 2—  
дно; 3—горловина; 4—  
башмак; 5—кольцо; 6—  
вентиль; 7—колпак.

Баллон представляет собой цилиндрический сосуд 1 с полукруглым дном 2 и горловиной 3. На нижнюю часть баллона насажен башмак 4, а на горловину кольцо 5. Башмак позволяет устанавливать баллон вертикально. В горловину, имеющую коническую нарезку, ввертывается вентиль 6, с помощью которого осуществляется впуск и выпуск газа из баллона и присоединение к баллону трубки наполнительной рамы или редуктора. На кольцо 5 навертывается колпак 7, защищающий вентиль баллона от загрязнения и повреждения.

Баллоны изготовляют из стальных цельнотянутых (бесшовных) труб путем обжатия в штампе дна и горловины. Для изготовления труб используют высокопрочную углеродистую сталь.

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 949—41) и правилами инспекции Котлонадзора, баллоны для кислорода и других газов выпускаются различной емкости (водяной): 0,4; 0,7; 2; 3; 4; 5; 7; 10; 15; 27; 33; 40 и 50 л. Наиболее распространены баллоны емкостью 40 л. В отличие от баллонов, предназначенных для

других газов, кислородные баллоны окрашивают в голубой цвет; они имеют надпись черными буквами «кислород». Кроме того, боковые штуцеры вентиля кислородных баллонов имеют правую

трубную резьбу  $\frac{3}{4}$  дюйма, в то время как вентили баллонов для горючих газов (например, водорода) имеют боковой штуцер с левой трубной резьбой  $\frac{1}{2}$  дюйма.

Условная окраска, присвоенная баллонам для различных газов, приведена в табл. 17.

Количество кислорода, которое вмещает баллон при данном давлении и температуре, определяется по формуле, приведенной в гл. XIII раздел 2.

Таблица 17

Окраска баллонов и надписи на них

Наименование газа	Цвет баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот . . . . .	Черный	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак . . . . .	Желтый	Аммиак	Черный	—
Ацетилен . . . . .	Белый	Ацетилен	Красный	—
Водород . . . . .	Темнозеленый	Водород	„	—
Сероводород . . . . .	Белый	Сероводород	„	Красный
Воздух . . . . .	Черный	Сжатый воздух	Белый	—
Сернистый ангидрид . . . . .	„	Сернистый ангидрид	„	Желтый
Углекислота . . . . .	„	Углекислота	Желтый	—
Кислород . . . . .	Голубой	Кислород	Черный	—
Хлор . . . . .	Защитный	—	—	Зеленый
Фосген . . . . .	„	—	—	Красный
Прочие негорючие газы . . . . .	Черный	Наименование газа	Желтый	—
Прочие горючие газы . . . . .	Красный	То же	Белый	—

## 2. НАПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ (РАМПЫ)

Наполнение баллонов кислородом производится при помощи кислородного компрессора через так называемый дополнительный коллектор (рампу).

Рампа (рис. 101) состоит из двух труб-коллекторов 1 и 2, включаемых попеременно с помощью вентиля 3 и 4. К коллекторам, изготовляемым из труб красной меди, присоединяют наполняемые кислородом баллоны 5. Присоединение производят с помощью гибких змеевиков 6, изготовленных из медных трубок, имеющих наружный диаметр 8 мм и внутренний 5 мм. В то время

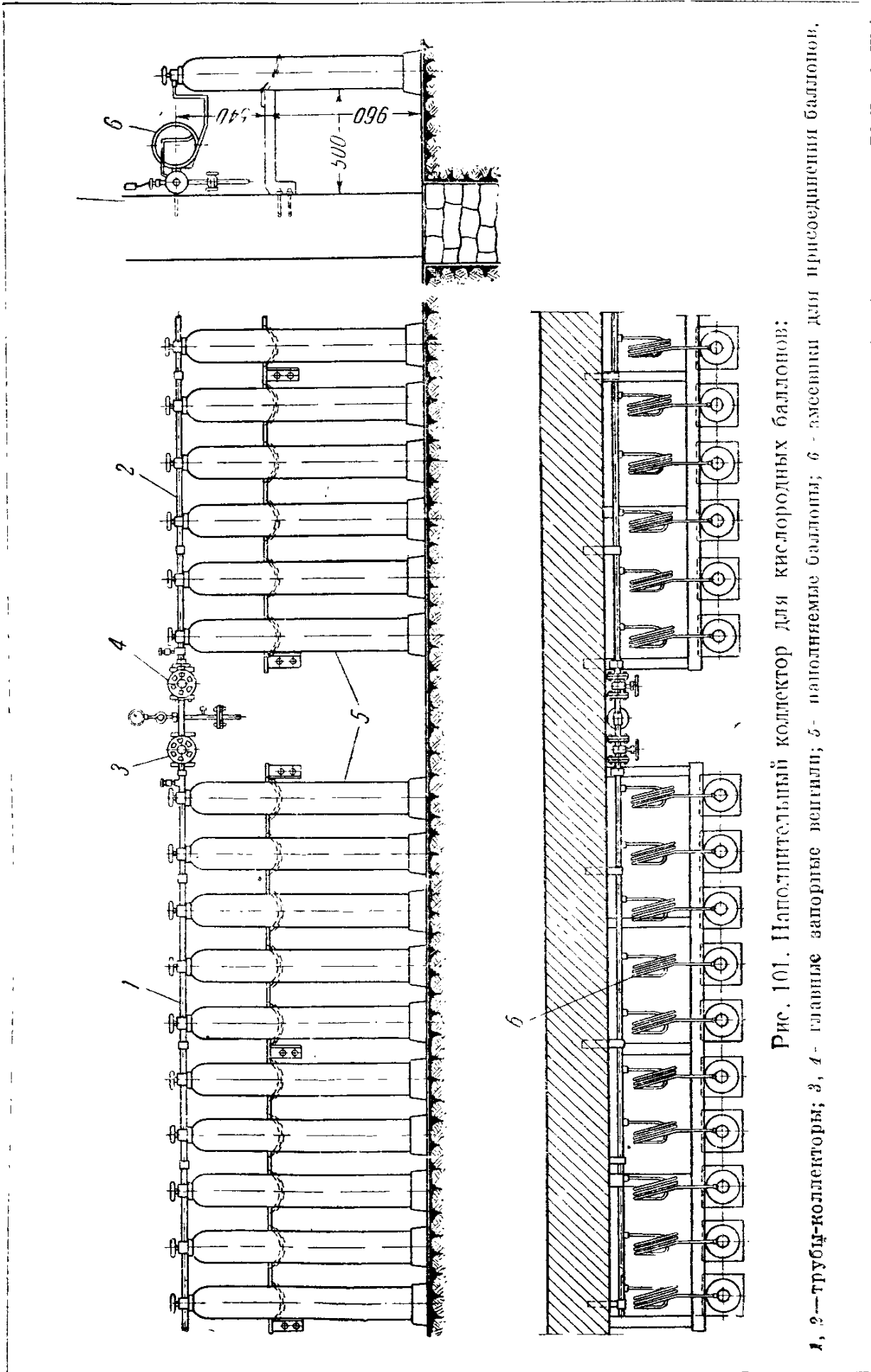


Рис. 101. Наполнительный коллектор для кислородных баллонов:  
 1, 2 — труба-коллекторы; 3, 4 — главные запорные вентили; 5 — наполняемые баллоны; 6 — устройство для присоединения баллонов.

как одна группа баллонов наполняется, со второго коллектора снимают наполненные баллоны и вместо них устанавливают порожние.

Наполнительную рампу устанавливают в отдельном помещении (наполнительной), находящемся при складе баллонов. От здания кислородного цеха, где установлены кислородные компрессоры, в наполнительную подводится кислородопровод высокого давления.

Кислородопровод прокладывается в земле ниже уровня промерзания.

Как уже указывалось выше, кислородные компрессоры смазывают водой. Эта вода частично, особенно при несвоевременной продувке водоотделителя кислородного компрессора, уносится в баллоны и постепенно накапливается в них. Кислород в присутствии влаги вызывает сильную коррозию внутренней поверхности стенок баллона, что сокращает срок службы последнего. Кроме того, находящаяся в баллоне влага может замерзнуть в каналах вентиля или кислородного редуктора, закупорить их и, следовательно, препятствовать нормальному выходу кислорода из баллона. Поэтому предварительная осушка кислорода перед заполнением им баллонов имеет большое значение для сохранения баллонного парка и надежности работы аппаратуры. Для уменьшения количества влаги в кислороде надо устанавливать дополнительный влагоотделитель непосредственно перед наполнительной рампой, в котором будет собираться влага, конденсирующаяся в кислородопроводе.

Хорошие результаты дает включение перед наполнительной рампой дополнительного холодильника, работающего на холодной водопроводной воде, и влагоотделителя для сбора конденсационной влаги. Однако это не решает полностью вопроса об освобождении кислорода от влаги.

В настоящее время применяют также осушку кислорода перед наполнением баллонов. Для осушки употребляют силикагель или активный глинозем, загружаемые в осушительную батарею такой же конструкции, какую применяют при осушке воздуха.

В целях безопасности вся арматура баллонов осушительной установки и трубопроводы делаются из цветного металла. Применять для осушки кислорода каустик нельзя ввиду сильной коррозии осушительного баллона и возможности разъедания каустиком латунных частей рампы.

### **3. ХРАНЕНИЕ, ПСПЫТАНИЕ И РЕМОНТ БАЛЛОНОВ**

•Баллоны хранят на складе в вертикальном положении, причем их устанавливают в отдельные клетки по 20—25 баллонов в каждой. Наполненные баллоны хранят в отдельном помещении от порожних. Доставка порожних баллонов в наполнительную и наполненных обратно в склад производится партиями на

электрокарах, узкоколейке или по 1—2 баллона на ручных тележках.

На кислородных станциях, удовлетворяющих потребность в кислороде главным образом своего завода, подача газообразного кислорода к местам потребления производится по газопроводу под давлением 20—40 *ати*. В этом случае в наполнительной устанавливают еще две батареи баллонов, являющихся стационарным газохранилищем.

Если осушка кислорода не предусмотрена, то на магистрали следует устанавливать смотровые колодцы с конденсационными горшками.

Во время перерывов в работе кислородной установки кислород подается в газохранилище из кислородных баллонов, которые заготавливаются в соответствующем количестве.

Наполнительное отделение связывается с кислородным цехом звуковой и световой сигнализациями.

Находящиеся в эксплуатации баллоны подлежат периодическому осмотру и гидравлическому испытанию через каждые 5 лет. Перед испытанием из баллона выпускают весь газ. Баллон прочно укрепляют в специальном станке и вывертывают из него вентиль.

В целях безопасности горловина баллона при этой операции должна быть обращена к глухой стене. Удалив вентиль, баллон ставят горловиной вниз над ванной и промывают сильной струей воды.

Промывку считают законченной, когда вода, вытекающая из баллона, будет совершенно чистой. После промывки баллоны оставляют на некоторое время для просушки и затем подвергают внутреннему осмотру с помощью небольшой электрической лампы напряжения 12 *в*. Если при этом в баллоне обнаружатся следы масла, то баллон необходимо промыть дихлорэтаном с последующей тщательной промывкой водой и просушкой подогретым до 60—80°C воздухом. Баллоны, в которых при внутреннем осмотре обнаружены значительная коррозия стенок, раковины, трещины и прочие дефекты, в работу не допускаются и должны быть забракованы.

После промывки и внутреннего осмотра производят взвешивание баллона и определение его емкости.

Емкость определяют путем наполнения баллона водой из мерного бачка, имеющего водомерное стекло и шкалу с делениями, равными 0,1 л. Емкость баллона можно определить также путем взвешивания одного и того же баллона, наполненного водой и без воды. Вес вошедшей в баллон воды (в кг) будет равен его емкости в литрах. Измерение веса и емкости баллона может указать также на уменьшение толщины стенок баллона вследствие коррозии.

В том случае, если фактический вес баллона будет на 7,5—15% ниже веса, обозначенного на паспорте баллона, или если ем-



кость его превысит обозначенную в паспорте более чем на 2—2,5%, то такой баллон бракуется и может быть переведен в последующую группу для работы при более низких давлениях сжатого газа. Если же потеря веса баллона превышает 15%, а увеличение емкости более 2,5%, то баллон бракуется окончательно.

Пройдя все указанные выше испытания, баллон подвергается гидравлической пробе на давление 225 *ати* в течение 1 мин. Для

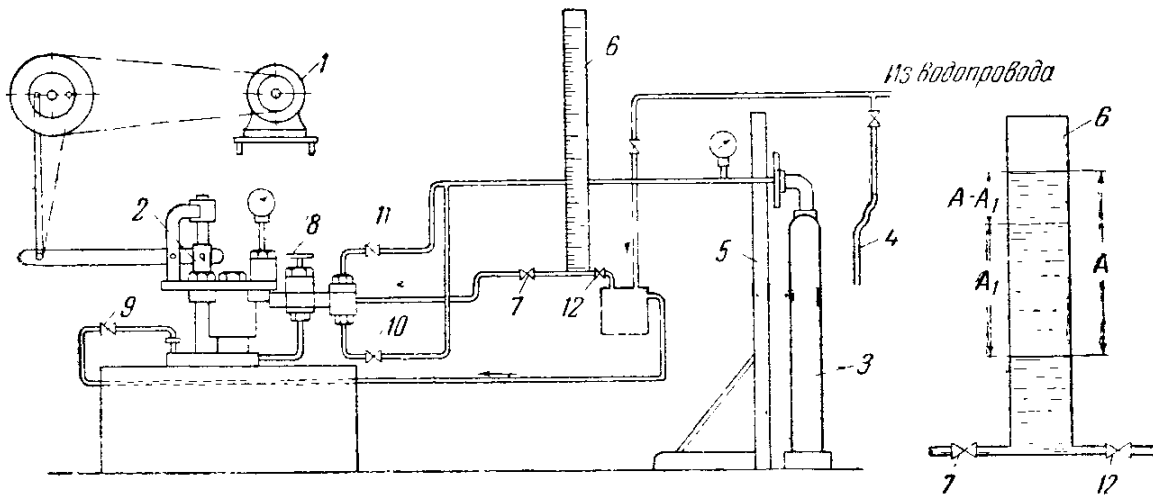


Рис. 102. Схема гидравлического испытания баллона:

1—электродвигатель; 2—гидравлический насос; 3—баллон; 4—шланг; 5—стальной щит; 6—мерный сосуд; 7, 8, 9, 10, 11, 12—краны; A, A<sub>1</sub>—высота водяного столба.

этого его наполняют водой, ввертывают в него специальный штуцер, устанавливают за железный щит и присоединяют к гидравлическому насосу.

Насос приводится в движение от руки или от электродвигателя.

При гидравлическом испытании баллонов бывают случаи их разрывов, особенно если в стенке баллона имеется плена, трещина или другой какой-либо дефект.

Во время гидравлического испытания определяют остаточную деформацию\* баллона. Для этого служит стеклянный мерный сосуд 6 (рис. 102) с делениями, установленный у гидравлического насоса.

После того как баллон заполнен водой и давление в нем равно атмосферному, дальнейшую подачу воды в баллон производят насосом из стеклянного мерного сосуда 6, для чего открывают краны 7 и 8, а краны 9 и 12 закрывают. На рис. 102 справа изображен в увеличенном виде мерный сосуд 6 и показано положение уровней

\* Деформацией называется изменение размера и формы тел под действием внешних сил.

воды в нем при испытании баллона. Количество воды, вошедшее в баллон при повышении в нем давления до 225 *атм* и определяемое уменьшением высоты столба воды на величину  $A$ , будет выражать полную деформацию баллона. Затем через краны  $5$  и  $10$  при закрытом кране  $11$  вода из баллона выпускается обратно в стеклянный сосуд  $6$  и давление в баллоне понижается до нуля. Если при этом вода в сосуде поднимется на какую-то высоту  $A_1$ , которая меньше  $A$ , то отрезок  $A_1$  будет выражать упругую, а отрезок  $A - A_1$  — остаточную деформацию баллона. Длина  $A - A_1$  должна быть не более  $0,1 A_1$ , т. е. остаточная деформация должна составлять не более 10% от упругой деформации.

*Пример.* Полная деформация  $A = 120$  мм; упругая деформация  $A_1 = 115$  мм; следовательно, остаточная деформация равна

$$A - A_1 = 120 - 115 = 5 \text{ мм}$$

В % от упругой деформации это составит:

$$\frac{5 \cdot 100}{115} = 4,35\%$$

Допустимая величина остаточной деформации равна:

$$0,1 A_1 = 0,1 \cdot 115 = 11,5 \text{ мм}$$

Следовательно, определенная путем испытания остаточная деформация на 5 мм меньше допустимой, и баллон может быть пущен в дальнейшую эксплуатацию.

При проведении испытания уменьшение высоты столба воды в стеклянном сосуде может происходить за счет пропусков в кранах. Это уменьшение не следует принимать за остаточную деформацию. Величина потерь воды определяется опытным путем, принимается постоянной для данного испытательного устройства и вносится как поправка при определении остаточной деформации.

Результаты всех осмотров и испытаний, которым подвергается баллон, записывают в журнал испытания. На верхней части баллона, удовлетворительно прошедшего все испытания, ставят новое клеймо, обозначающее дату следующего испытания, а также клеймо завода, на котором производилось испытание, и клеймо технического инспектора. Испытанный баллон снаружи окрашивают в условный цвет, принятый для данного газа, масляной или эмалевой краской. Колпаки окрашивают и просушивают отдельно от баллонов. При больших количествах баллонов окраску их следует производить пульверизатором, работающим сжатым воздухом.

#### 4. ОБСЛУЖИВАНИЕ НАПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Перед наполнением баллонов кислородом каждый из них осматривается контролером. Допущенные к наполнению кислородом баллоны откатчик доставляет в наполнительную.

Затем баллоны присоединяют к рампе, закрепляют цепочками для предохранения от падения и открывают полностью вентили на всех присоединенных баллонах. Данные паспортов баллонов, поставленных под наполнение, записывают в цеховой журнал установленной формы.

Получив сигнал от машиниста о пуске кислородного компрессора, наполнитель дает ему ответный сигнал и начинает медленно и постепенно открывать центральный запорный вентиль на той ветви рампы, которая подготовлена к наполнению. Далее наполнитель проверяет на слух, по шуму идущего через вентили газа, во все ли баллоны поступает кислород. Кроме того, баллоны, наполняющиеся кислородом, слегка нагреваются, что можно обнаружить, приложив к ним руку. Если в какой-либо из баллонов кислород не поступает, то этот баллон отсоединяют от рампы и устанавливают причину непоступления в него газа.

Пока наполняются баллоны, присоединенные к одному коллектору рампы, к другому коллектору присоединяют порожние баллоны, подготовленные к наполнению.

Наполнение баллонов производится до различного давления в зависимости от окружающей температуры.

Температура С	Давление ати	Температура С	Давление ати
40	160	0	139,5
30	155	-10	134,5
20	150	-20	129,5
10	145	-30	124

Во время наполнения необходимо следить за герметичностью всех соединений рампы, проверяя их путем обмазки мыльным раствором. Имеющийся перед рампой водоотделитель должен регулярно продуваться.

По окончании наполнения одного коллектора рампы подают соответствующий сигнал машинисту, производят переключение подачи кислорода на второй коллектор и закрывают вентили наполненных баллонов. Затем баллоны отсоединяют от рампы, наворачивают заглушки и колпаки, после чего откатчик доставляет баллоны на склад наполненных баллонов. К освобожденному коллектору рампы присоединяют следующую партию порожних баллонов, подготовленных к наполнению.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково устройство баллона?
  2. Какие условные цвета присвоены баллонам для различных газов?
  3. Какое отличие имеет нарезка штуцера кислородного вентиля от нарезки штуцера вентиля для горючего газа?
  4. Как устроены наполнительные рампы?
  5. Для чего применяют осушку кислорода и как ее осуществляют?
  6. Как хранят баллоны на складе?
  7. Каков порядок испытания и ремонта баллонов?
  8. Как производят гидравлическое испытание баллонов?
  9. Как определяют остаточную деформацию баллонов?
  10. Каков порядок обслуживания наполнительной рампы?
  11. Что определяет конечную величину давления газа в наполняемых баллонах?
  12. За чем должен следить наполнитель во время процесса наполнения баллонов на рампе?
-

## ГЛАВА XII

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДА

В предыдущих главах мы познакомились с сущностью физических явлений, на которых основан современный технологический процесс получения кислорода из атмосферного воздуха, а также с конструкцией и обслуживанием аппаратуры и машин, входящих в состав кислородной установки.

Собственно процесс извлечения кислорода из воздуха осуществляется в кислородном аппарате (блоке разделения) являющемся основной частью установки. В зависимости от применяемой технологической схемы и холодильного цикла процесс получения кислорода имеет некоторые особенности. Однако сущность и основные приемы технологии производства остаются одинаковыми для кислородных установок всех типов.

Описание технологического процесса разделения воздуха начнем с наиболее простого случая—работы кислородного аппарата двукратной ректификации в установке высокого давления (см. рис. 26).

#### 1. ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО КИСЛОРОДА В АППАРАТАХ ДВУХКРАТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ НА УСТАНОВКАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Технологический процесс получения кислорода включает в себя подготовку аппарата к пуску, пуск в ход, регулировку во время работы, остановку, периодические отогревы и продувки аппарата. Регулирование процессов охлаждения, сжижения и ректификации воздуха в кислородном аппарате ведется по показаниям приборов и результатам анализов продуктов разделения—кислорода, азота, жидкого азота из карманов конденсатора, кислородной жидкости из испарителя.

Каждый аппаратчик должен хорошо изучить особенности обслуживаемого им кислородного аппарата для того, чтобы иметь возможность вести процесс получения жидкости в наивыгоднейших условиях при наиболее полном использовании подаваемого в аппарат воздуха.

**Подготовка к пуску.** Перед пуском аппарата необходимо закрыть все вентили, имеющиеся на коллекторе для отогрева аппарата: вентили для спуска жидкости из конденсатора, испарителя и из карманов конденсатора; все продувочные, анализные и контрольные вентили; вентиль на кислородной трубе от аппарата

к газгольдеру; воздушный расширительный вентиль высокого давления. Затем следует открыть вентиль, отводящий азот из аппарата в атмосферу; вентиль выпуска кислорода и примерно на 20 оборотов открыть расширительные вентили для азота и кислорода.

Перед пуском теплообменник и колонна должны быть полностью отогреты и тщательно продуты. Запорные вентили к указателям уровня жидкостей следует открыть и проверить уровень подкрашенной воды в указателях. Уровни должны находиться на нулевом делении шкалы. Необходимо также полностью открыть вентили для впуска воздуха высокого давления в теплообменник.

**Пуск аппарата и установление нормального режима.** Прежде всего пускают воздушный компрессор. Перед впуском воздуха в аппарат необходимо продуть всю воздушную магистраль, до расширительного вентиля высокого давления включительно. Когда давление перед аппаратом достигнет  $180\text{--}200\text{ атм}$ , можно полностью открыть впускные вентили воздуха высокого давления, находящиеся перед теплообменником аппарата, и постепенно начать открывать воздушный расширительный вентиль на щите управления. После повышения давления до величины, близкой к рабочему давлению, необходимо проверить герметичность соединений, находящихся под давлением: соединения вентиля, фланцев и пр. В случае обнаружения пропуска в каком-либо месте следует немедленно устранить дефект.

Воздушный расширительный вентиль следует открывать настолько, чтобы давление в нижней колонне не превышало  $6\text{ атм}$ , а в верхней колонне  $0,6\text{ атм}$ . При прохождении воздуха через расширительный вентиль температура его понижается. Уходя наружу через азотную и кислородную секции теплообменника, расширенный воздух отдает свой холод вновь поступающему в аппарат воздуху.

Для ускорения процесса охлаждения аппарата и накопления в нем жидкости давление в нижней колонне следует держать возможно более низким, а давление после компрессора—возможно более высоким. Вращать шпindel расширительного вентиля следует постепенно, короткими поворотами. Резкие и внезапные повороты маховичка расширительного вентиля нарушают работу аппарата и могут вызвать поломку вентиля.

Примерно через 4—6 час. работы аппарата указатель уровня жидкости покажет появление жидкости в испарителе. При нормальной работе аппарата уровень жидкости должен соответствовать  $5\text{--}10\text{ см}$  по шкале указателя. Через 1—1,5 часа после появления жидкости в испарителе должна появиться жидкость в конденсаторе, на что укажет соответствующий указатель уровня

---

\* Для установок, использующих холодный цикл высокого давления.

сти. После того как уровень жидкости в конденсаторе достиг примерно 30 см, следует прикрыть на один оборот азоткислородный расширительные вентили. Если уровень жидкости через 5—8 мин. не снизится, то указанные вентили можно закрыть еще на один оборот. В дальнейшем, при понижившем уровне жидкости, прикрывать расширительные вентили следует только после подъема уровня жидкости до своего первоначального положения. Этот процесс постепенного прикрывания расширительных вентилях необходимо производить до тех пор, пока вентили не будут открыты только на один оборот маховичка. Если некоторое время надо прикрыть еще наполоборота азотный вентиль, а вслед за ним, также наполоборота, азоткислородный вентиль. Дальнейшую регулировку этих вентилях производите тех пор, пока они не окажутся поставленными в наиболее приемлемые для работы данного аппарата положения, что достигается обычно практическим путем. Во время прикрывания азотного и кислородного расширительных вентилях вентиль на выходе кислорода в атмосферу следует несколько приоткрыть, чтобы сократить время налаживания режима работы

После того как азотный и кислородный расширительные вентили будут окончательно отрегулированы, необходимо перейти к получению кислорода чистотой 99,3—99,5%. Для этого каждые 10—20 мин. надо производить анализ кислорода в трубу, пользуясь для этой цели пробным краном на трубопроводе отходящего из аппарата кислорода. Чистоту жидкого кислорода определяют каждые 20—30 мин., для чего, пользуясь соотношениями вентилях, установленными на щите управления, берут пробы из карманов конденсатора и пробы обогащенного кислородом воздуха из испарителя. При нормально протекающем процессе содержание кислорода в жидкости испарителя колеблется в пределах 40—50%, а в жидком азоте 4—6%. Если анализ покажет, что кислород имеет чистоту ниже 99%, то несколько приоткрыть вентиль на кислородной трубе, от которой кислород в атмосферу, так как такое положение вентиля способствует повышению чистоты кислорода вследствие увеличения количества паров, поступающих в верхнюю ректификационную колонну.

При пониженном содержании кислорода в жидкости испарителя это указывает на избыток азота в жидкости, находящейся в карманах конденсатора, необходимо немного открыть азотный расширительный вентиль, следя при этом за чистотой отходящего кислорода.

Когда чистота отходящего кислорода достигнет 99%, вентиль на трубе, отводящей кислород в атмосферу, следует совершенно закрыть, предварительно открыв на той же трубе вентиль для выхода кислорода в газгольдер. Величину открытия этого вентиля следует отрегулировать таким образом, чтобы выход кисло-

рода из аппарата был наибольшим при чистоте его не ниже 1 а отходящего азота не ниже 98%. Наивыгоднейшая степень закрытия вентиля для отвода кислорода в газгольдер обычно определяется опытом. Этот вентиль следует открывать очень осторожно, постепенно увеличивая отбор кислорода в том случае если чистота его не уменьшается, а, наоборот, повышается, приближаясь к 99,5%.

При накоплении в конденсаторе достаточного количества жидкости начинают постепенно снижать давление поступающего в аппарат воздуха с 200 *ати* до 40—60 *ати*. Для этого медленно открывают воздушный расширительный вентиль, следя за тем, чтобы давление не поднималось выше 6 *ати* в нижней и выше 0,6 *ати* в верхней колоннах аппарата. В противном случае вентиль следует снова несколько прикрыть. Когда давление в нижней и верхней колоннах будет ниже указанных, можно продолжать постепенное снижение давления в аппарате путем открытия воздушного вентиля, одновременно следя за давлением и уровнями жидкостей в колоннах.

При этом нужно иметь в виду следующее: при закрытии расширительного вентиля, мы повышаем давление на компрессоре и за счет этого увеличиваем холодопроизводительность процесса, накапливая в аппарате жидкость. При открытии расширительного вентиля для воздуха давление на компрессоре снижается, отчего количество получаемого кислорода уменьшается, а следовательно, и накопление жидкости в аппарате, уменьшается.

**Обслуживание аппарата при установившемся режиме работы.** При нормальном режиме работы аппарата следят по результатам анализов отходящего кислорода и азота, а также жидкости из испарителя и азота из кармана конденсатора. Анализы необходимо проводить каждый час, записывая их результаты в производственный журнал установки.

При нормальном режиме работы аппарата чистота поступающего кислорода должна быть не ниже 99,3%, а чистота отходящего азота не ниже 98%.

Показатели нормального режима аппарата типа С-130 следуют:

Давление воздуха перед теплообменником, <i>ати</i> . . . . .	не выше 60
Давление в нижней колонне, <i>ати</i> . . . . .	не выше 6
Давление в верхней колонне, <i>ати</i> . . . . .	не выше 0,6
Высота уровня жидкости в испарителе, <i>см</i> . . . . .	10—15
Высота уровня жидкости в конденсаторе, <i>см</i> . . . . .	20—40
Разность температур на теплом конце теплообменника, °С . . . . .	не более 8
Содержание кислорода в жидкости из сосуда испарителя, % . . . . .	40—50
Содержание азота в жидкости из карманов конденсатора, % . . . . .	94—96
Чистота газообразного кислорода, отводимого из аппарата, % . . . . .	не ниже 99,3
Чистота газообразного азота, отводимого из аппарата, % . . . . .	98



При регулировке аппарата следует всегда помнить основное правило: чем выше чистота отходящего из аппарата продукта, тем меньше его выход и тем большее количество другого продукта отводится из аппарата. Следовательно, чем меньшее количество кислорода будет отбираться из аппарата, тем чище будет этот кислород, в то время как чистота азота начнет понижаться.

Отсюда можно установить следующий порядок регулировки аппарата по чистоте получаемых продуктов: для повышения чистоты получаемого продукта (например, кислорода) необходимо уменьшить его отбор из аппарата; если один из продуктов имеет излишне высокую чистоту, то отбор его следует увеличить.

Для увеличения количества получаемого продукта необходимо увеличить открытие соответствующего вентиля на трубе, отводящей данный продукт из аппарата, и прикрыть вентиль для отвода второго продукта.

Если, например, чистота отходящего кислорода будет понижаться по сравнению с указанным выше пределом, то необходимо несколько прикрыть вентиль на трубе, отводящей кислород в газгольдер. При этом количество паров, поступающих из конденсатора в верхнюю колонну, увеличится, вследствие чего повысится степень очистки стекающего вниз кислорода от примеси азота. При установившемся режиме ректификации количество паров кислорода, образующихся в конденсаторе, зависит только от тепловой нагрузки последнего, т. е. от количества паров азота, поступающих в конденсатор из нижней колонны. Если поверхность конденсатора достаточна, то он справляется с этой нагрузкой, и уровень жидкости в нем, а также давление в нижней колонне устанавливаются сами собой.

**Нарушения нормального режима, их причины и способы устранения.** Слишком частое прикрывание вентиля на кислородоотводящей трубе аппарата может ускорить процесс замерзания теплообменника и сократить рабочий период установки. Это происходит потому, что при уменьшении количества кислорода, проходящего через кислородную секцию теплообменника, воздух охлаждается недостаточно, и лед в верхней части теплообменника оттаивает. Образующаяся при этом влага стекает вниз, попадает в более холодные части теплообменника и замерзает в трубках, постепенно закупоривая их отложениями льда. Поэтому при регулировке работы аппарата не следует слишком злоупотреблять частым и сильным прикрыванием вентиля на кислородной трубе; прикрывание вентиля нужно производить постепенно и на небольшую величину.

Явлением перемещения вниз теплой зоны теплообменника объясняются также случаи быстрого замерзания аппарата после коротких, но частых остановок. Особенно быстрое замерзание аппарата при кратковременных остановках наблюдается в конце рабочей кампании, когда в теплообменнике скопилось уже боль-

ное количество замерзшей влаги. Влага, частично оттаивая во время остановки аппарата, стекает вниз, а при пуске аппарата вновь замерзает. Поэтому при эксплуатации установки следует по возможности избегать перерывов в работе аппарата. Пуская аппарат вновь после кратковременной остановки, необходимо предварительно продуть теплообменник от скопившейся в нем влаги.

Регулировку расширительного вентиля для азота производят по данным анализов жидкости из испарителя и жидкого азота из карманов конденсатора. Кислородный расширительный вентиль при установившемся процессе регулировать почти не приходится. Если в жидкости из испарителя содержится кислорода менее установленной нормы, то это указывает на наличие в карманах конденсатора азота высокой чистоты, порядка 98—99%, что уменьшает чистоту отходящего кислорода. В этом случае следует несколько открыть азотный расширительный вентиль до получения нормальных анализов жидкости в испарителе и в карманах конденсатора.

Изменение положения кислородного расширительного вентиля не влияет на состав жидкости в испарителе нижней колонны; однако регулирование этого вентиля дает возможность поддерживать постоянство давления в нижней колонне.

Иногда уровень жидкости в испарителе повышается при неизменном или понижающемся уровне жидкости в конденсаторе. Это может происходить вследствие закупорки кислородного расширительного вентиля льдом. Для устранения закупорки вентиль необходимо «прошуровать», т. е. быстрым поворотом прикрыть на мгновение вентиль полностью и вслед за этим также быстро установить его в прежнем положении. Если это не поможет, то вентиль надо немного приоткрыть. При понижении уровня жидкости в конденсаторе нужно поднять давление поступающего в аппарат воздуха, прикрывая для этого воздушный расширительный вентиль. Наоборот, если уровень жидкости в конденсаторе повышается, то необходимо снизить давление воздуха перед аппаратом путем постепенного открывания воздушного расширительного вентиля.

При работе аппарата давление в нижней и верхней колоннах должно быть все время постоянным. При повышении давления в нижней колонне следует немного открыть кислородный расширительный вентиль, а при уменьшении — немного закрыть; если это не поможет, то вентиль необходимо 1—2 раза провернуть. Давление в нижней колонне может расти также вследствие недостаточного количества жидкости в конденсаторе, что ухудшает процесс конденсации паров, поднимающихся из нижней колонны. При этом уровень жидкости в конденсаторе должен обязательно падать, в противном случае это указывает на неправильную работу указателя уровня жидкости. Кроме того, давление в нижней колонне может возрасти вследствие скопления неона-гелиевой смеси под крышкой конденсатора.

Выпуск неона-гелиевой смеси из-под крышки конденсатора следует производить каждый час, открывая для этого на несколько секунд соответствующий продувочный вентиль.

Иногда давление в нижней колонне становится неустойчивым, и его не удастся поддержать регулированием расширительных вентилях; содержание кислорода в жидкости испарителя при этом падает. Такое явление объясняется нечеткой работой расширительных вентилях вследствие забивки их твердой углекислотой или износа резьбы. В первом случае нужно обратить внимание на работу устройств для очистки воздуха от углекислоты и «прошуровать» вентилях.

При износе резьбы нужно попытаться исправить ее метчиком, или заменить вентильновым при остановке аппарата на отогревание.

Расширительный вентиль для кислорода необходимо проверять и «шуровать» примерно каждые 3—4 часа с целью удаления отложений льда на резьбе и конусе шпинделя. Допускать подъем уровня жидкости в конденсаторе выше предела не следует, уменьшая в случае необходимости давление воздуха, поступающего в аппарат.

**Остановка аппарата.** При остановке воздушного компрессора прежде всего закрывают воздушный расширительный вентиль, находящийся на щите управления, и вентиль для отвода кислорода в газгольдер, одновременно открывая вентиль для выхода кислорода в атмосферу. Расширительные вентилях для азота и кислорода можно оставить открытыми.

Если остановка аппарата длилась не более 1—1,5 часа, то при его пуске теплообменник предварительно продувают для предохранения от замерзания скопившейся в нем влаги. Воздух в аппарат начинают подавать при давлении 100—150 *ати* в зависимости от наличия жидкости в конденсаторе. После того как чистота отходящего кислорода достигнет 99,3%, можно пустить кислород в газгольдер, открыв вентиль на кислородной трубе и одновременно закрыв вентиль для выпуска кислорода в атмосферу.

Если остановка была длительной, уровень жидкости в конденсаторе снизился и давление в верхней колонне возросло, то при пуске аппарата необходимо открыть азотный и кислородный расширительные вентилях на два оборота каждый, после чего процесс регулировки и установления нормального режима работы аппарата вести таким же образом, как при пуске аппарата вновь. Во время остановки нужно следить за уровнем жидкости в конденсаторе, не допуская переполнения его жидкостью, сливающейся с тарелок верхней колонны. Если указатель уровня покажет заполнение почти всего конденсатора, то излишек жидкости необходимо слить. При новом запуске аппарата следует перед впуском воздуха в нижнюю колонну, обязательно продуть теплообменник для удаления из него влаги.

## 2. ОТОГРЕВАНИЕ И ПРОДУВКА АППАРАТА

**Полный отогрев аппарата.** После некоторого периода работы кислородного аппарата в трубках теплообменника накапливается значительное количество льда и твердой углекислоты, которые закупоривают трубки. Разность давлений воздуха до и после теплообменника резко повышается. Это означает, что аппарат «замерз» и нуждается в отогревании и продувке. На замерзание аппарата указывают и другие признаки: падение температуры отходящего азота, понижение чистоты получаемого кислорода, забивание твердой углекислотой воздушного и кислородного расширительных вентилях. В целях экономии электроэнергии не следует допускать, чтобы перепад давления воздуха в теплообменниках установок, работающих по циклу высокого давления, превышал 60—80 *ати*. При большем перепаде давления аппарат останавливают на отогрев.

Подготовку аппарата к полному отогреванию производят следующим образом:

1) не останавливая компрессор, снижают давление после него до 25 *ати*;

2) открывают продувочные вентили на баллонах осушительной батареи и ма ло-водоотделителях;

3) пускают горячий воздух в отогревательный коллектор аппарата;

4) сливают всю жидкость из испарителя, конденсатора и карманов конденсатора, открыв для этого спускные вентили, установленные на щите управления аппарата;

5) закрывают все находящиеся на щите управления контрольные вентили и вентили для взятия проб на анализ;

6) вынимают в начале отогревания аппарата шпиндели расширительных вентилях для азота и кислорода;

7) снимают манометры высокого давления, оставив на месте манометры среднего и низкого давления;

8) отъединяют указатели уровней жидкости от нижней и верхней трубочек;

9) закрывают воздушный расширительный вентиль и продувочные вентили, а кран на азотной трубе открывают.

Воздух, отогревающий аппарат, поступает от компрессора через воздухоподогревательный прибор, имеющий электрические нагревательные элементы. При отогревании аппарата воздух можно не очищать от углекислоты и пропускать через осушительную батарею, минуя декарбонизатор. Постепенно температуру подаваемого воздуха повышают до 60°C. При этом шпиндели расширительных вентилях для азота и кислорода вставляют обратно на их места и поворачивают на несколько оборотов. Приблизительно за 20 мин. до окончания отогревания аппарата вынимают шпindel расширительного воздушного вентиля. Отогревание аппарата продолжают до тех пор, пока температура выходящего че-

рез азотную трубу воздуха не достигнет  $10-20^{\circ}\text{C}$  и из всех открытых вентилях и трубок аппарата не будет выходить теплый воздух.

По окончании отогревания аппарата воздушный расширительный вентиль ставят на свое место и закрывают. Затем закрывают центральный и все прочие отогревательные вентили и поднимают давление в компрессоре до  $60-80$  *ати* для продувки аппарата с целью удаления из него влаги, скопившейся во время оттаивания. При этом необходимо продуть сначала трубки секций теплообменника, а затем змеевик испарителя и корпус воздушного расширительного вентиля. Окончив продувку, воздушный компрессор останавливают и подготавливают аппарат к пуску.

**Частичный отогрев.** Полный отогрев аппарата занимает довольно продолжительное время. Между тем основные скопления льда и твердой углекислоты происходят преимущественно в теплообменнике, который можно отогревать отдельно, оставляя другие части кислородного аппарата охлажденными. Такой отогрев только одного теплообменника, в отличие от полного отогревания аппарата, называется *частичным отогревом*. Все современные кислородные аппараты имеют устройство для проведения частичного отогрева, занимающего всего  $1-1,5$  часа.

Пользуясь частичными отогревами, можно довести период работы кислородного аппарата между полными отогревами до  $3000-4000$  час., т. е. значительно сократить потерю времени на непроизводительные остановки аппарата. При частичном отогреве воздух, сжатый компрессором до необходимого давления и осушенный от влаги, пропускают через подогревающий прибор, где он нагревается до  $70-90^{\circ}\text{C}$ . Нагретый воздух через специальный вентиль, находящийся на коллекторе, подводят в межтрубное пространство азотной секции теплообменника. Проходя между трубками теплообменника, теплый воздух оттаивает лед и твердую углекислоту, скопившиеся в трубках, а затем выходит наружу через вентиль на азотной трубе. Для ускорения отогрева часть сжатого теплого воздуха можно пропускать по трубкам теплообменника, а выпускать через продувочный вентиль последнего. При этом надо закрыть вентили выпуска кислорода в газгольдер и в атмосферу, в противном случае испаряющийся из конденсатора кислород будет проходить по кислородной секции теплообменника и охлаждать его, удлиняя процесс отогревания. Отогрев теплообменника продолжают до тех пор, пока выходящий воздух не достигнет температуры  $10-20^{\circ}\text{C}$ .

По окончании отогревания теплообменника последний тщательно продувают от скопившейся в нем влаги, снова поднимая для этого давление в компрессоре. Продувку трубок обеих секций теплообменника нужно производить до тех пор, пока из продувочного вентиля не начнет выходить сухой воздух.

При частичном отогреве аппарата можно применять и обратный порядок отогрева. Он заключается в том, что воздух после-

электроподогревателя делят на два потока. Один поток, как обычно, подают в азотную камеру теплообменника, а второй в трубки теплообменника, через продувочный вентиль последнего. При этом воздух проходит теплообменник снизу вверх, в направлении, обратном обычному движению воздуха в трубках. Продувку после отогрева производят обратным порядком, т. е. сжатый воздух подают в трубки через коллектор теплого конца теплообменника. Этот способ хорошо зарекомендовал себя на практике и дает возможность производить отогрев теплообменников даже на тех кислородных аппаратах, где ввиду конструктивных дефектов неприменим обычный порядок частичного отогрева.

Пуская аппарат в работу после частичного отогрева, необходимо несколько раз быстро открыть и закрыть расширительный вентиль с целью удаления следов влаги, которые могут остаться в трубке перед вентилем. Кислородный и азотный расширительные вентили, находящиеся на щите аппарата, при частичном отогреве можно держать открытыми, закрыв лишь воздушный расширительный вентиль.

В том случае, когда на кислородной станции установлено несколько кислородных аппаратов, работающих попеременно, отогрев одного из них следует производить посредством азота, отходящего из работающих аппаратов. Азот в качестве подогревающего газа имеет преимущество перед воздухом, так как будучи совершенно сухим не требует предварительного пропускания через осушительную батарею. Нагрев азота осуществляется в электроподогревателе до той же температуры, что и воздуха. Необходимое давление азота создается или с помощью основного воздушного компрессора, или путем установки отдельной газодувки или добавочного компрессора низкого давления; последний во время производственного периода можно использовать для поддува воздуха в основной воздушный компрессор высокого давления.

Существует еще один способ частичного отогрева теплообменника. Он заключается в подаче всего отогревающего воздуха не в межтрубное пространство, а в трубки теплообменника. Этот способ дает хорошие результаты, так как в этом случае сухой теплый воздух не только выдувает, но и испаряет воду, насыщаясь ее парами. Это значительно сокращает время частичных отогревов и создает условия для лучшей очистки теплообменника от влаги, вследствие чего периоды между частичными отогревами удлиняются. При данном способе продувки подача горячего воздуха производится снизу через продувочный вентиль теплообменника. Использованный воздух удаляется в атмосферу через продувочные вентили, устанавливаемые для этой цели на трубопроводе, по которому воздух высокого давления поступает из осушительной батареи в теплообменник. Этот способ можно с успехом применять для отогрева

одного теплообменника, а также в случае полного отогрева всего кислородного аппарата.

**Местные отогревы.** Во время работы кислородного аппарата влага может собираться не только в теплообменнике, но и в других местах аппарата. Замерзая, влага закупоривает льдом трубопроводы, по которым идет воздух, и нарушает нормальную работу кислородного аппарата. В этих случаях иногда удается применять *местные* отогревы. При местном отогреве весь аппарат остается охлажденным, а отогреванию подвергается только какая-либо трубка или вентиль, забитые льдом. Наиболее часто местным отогревам подвергаются следующие части кислородного аппарата.

**Трубопровод воздуха высокого давления.** В трубопроводе высокого давления, находящийся перед воздушным расширительным вентиляем, стекает влага из теплообменника при частичных отогреваниях последнего. После нескольких отогревов теплообменника трубопровод может оказаться забитым льдом. В таких случаях его подвергают местному отогреву. Для этого жидкость из нижней колонны сливают или перекачивают в верхнюю колонну, открывают все продувочные и анализные вентили нижней колонны, закрывают кислородный и азотный расширительные вентили, вынимают шпindelь воздушного расширительного вентиля. Затем пускают в ход воздушный компрессор и поднимают давление в трубопроводе перед аппаратом до 20 *атм.* На воздушный патрубок нагревательной печи надевают резиновый шланг, при помощи которого пропускают часть воздуха высокого давления через печь, а остальную часть выпускают в атмосферу через продувочные вентили осушительной батареи. Второй конец шланга вставляют в отверстие воздушного расширительного вентиля на место шпинделя. Подачу горячего воздуха в вентиль производят с перерывами, присоединяя и отсоединяя конец шланга, чтобы отогрев вентиля и трубопровода происходит постепенно. При этой операции нужно следить за давлением в нижней колонне.

Собственно процесс отогрева занимает 15—20 мин. По окончании его шпindelь воздушного расширительного вентиля ставят на свое место и восстанавливают режим работы аппарата.

**Клапаны воздушного и кислородного расширительных вентиляей.** Примерзание клапанов происходит вследствие попадания в них углекислоты или влаги. Подготовку вентиляей к местному отогреву производят также, как и подготовку трубопровода. Затем снимают сальник вентиля и надевают на шпindelь резиновый шланг для подвода горячего воздуха. Воздух, проходя через сальниковую камеру между шпинделем и корпусом вентиля, отогревает последний. Каждые 10—15 сек. конец шланга отнимают, давая выход охлажденному воздуху. Через 5—10 мин. прогретый шпindelь вывертывают и пускают воздух высокого давления обычным путем через теплообменник, проду-

вая тем самым расширительный вентиль. Просушив все части вентиля, его вновь собирают и производят пуск аппарата.

Н и ж н я я к о л о н н а иногда забивается углекислотой, и тогда давление в ней начинает возрастать. Эту колонну также можно подвергнуть местному отоплеву. Для этого из колонны сливают жидкость, закрывают воздушный и азотный расширительный вентили и вывертывают шпindelь кислородного расширительного вентиля. Подачу горячего воздуха производят через отверстие кислородного вентиля, следя при этом, чтобы давление в нижней колонне не превышало 5—6 *ати*. Отогрев прекращают после того, как из всех продувочных и анализных вентилях колонны начинает выходить сухой воздух с температурой 10—20°С.

Местные отогревы значительно сокращают время остановки аппарата. Продолжительность местных отогревов, включая время на их подготовку, в среднем равна (в часах):

Для трубопровода высокого давления . . . . .	1,5
Для воздушного или кислородного расширительного вентиля . . . . .	0,75
Для нижней колонны . . . . .	1,5

Иногда полные или частичные отогревы производят с включением дополнительного (поддувного) компрессора. Это мероприятие сокращает время отогрева на 30%.

Как указывалось выше, продолжительность пускового периода после отогрева аппарата будет тем больше, чем сильнее был прогрет аппарат. Поэтому частичные и местные отогревы, при которых основная часть аппарата остается холодной, сокращают последующий пусковой период, тем самым увеличивая коэффициент использования оборудования кислородной установки.

### 3. ПРОМЫВКА АППАРАТА

При продолжительной работе кислородного аппарата в нем нагаливаются каустическая сода, углекислый натрий и масло. Мельчайшие частицы этих веществ попадают в аппарат вместе с воздухом из осушительной батареи и воздушного компрессора. С течением времени загрязнения отлагаются в трубках теплообменника, змеевике и сосуде испарителя. Некоторое количество их попадает даже в верхнюю колонну и конденсатор аппарата. Частицы этих веществ закупоривают сечения труб, загрязняют ректификационные тарелки, вызывают серьезные нарушения в работе кислородного аппарата и поэтому должны периодически удаляться.

Излишняя подача смазки в компрессор или небрежная зарядка осушительной батареи могут явиться причиной значительного увеличения количества загрязнений, попадающих в аппарат.

Особенно нежелательным и опасным является накопление масла в разделительном аппарате и попадание его в конденсатор. Если в конденсаторе аппарата происходит взрыв ацетилена, то присутствие масла в жидком кислороде во много раз увеличивает



силу этого взрыва и, таким образом, является причиной больших разрушений в аппарате. Забивая отверстия тарелок в ректификационной колонне, масло может вызвать серьезные нарушения в работе колонны. Попадание масла из колонны в теплый газификатор вместе со сливаемым жидким кислородом может явиться причиной взрыва теплового газификатора.

Удаление каустика и углекислого натрия производят посредством промывания кислородного аппарата теплой водой, которая легко растворяет эти вещества. Для удаления масла аппарат приходится промывать растворителями: дихлорэтаном, трихлорэтиленом, четыреххлористым углеродом. Промывка аппаратов для получения жидкого кислорода производится 2 раза в год, а аппаратов для получения газообразного кислорода — 1 раз в год. В установках, где осушка воздуха производится посредством силикагеля или активного глинозема, попадание каустика в аппарат исключено. В этих установках возможность уноса в аппарат паров масла совместно с воздухом значительно меньшая, так как масло удерживается адсорбентом в осушительном устройстве. Поэтому установки этого типа обычно не нуждаются в регулярной промывке кислородного аппарата от каустика и масла, что является их большим преимуществом.

Промывку частей аппарата можно вести последовательно в направлении движения в нем воздуха, т. е. сначала промыть теплообменник, затем нижнюю колонну с испарителем, а потом верхнюю колонну и конденсатор. Однако для сокращения времени и удобства работы эти части можно промывать отдельно.

Порядок промывания аппарата от загрязнения каустиком и маслом обычно следующий:

- а) промывка теплой водой;
- б) промывка растворителем;
- в) промывка проточной водой для удаления остатков растворителя;
- г) продувка воздухом.

При промывании водой в промывной бачок наливают воду, нагретую до 65—80°C, откуда она перекачивается в трубки азотной секции теплообменника посредством воздуха или азота под давлением 2,5—3 *ати*. Подачу воды продолжают до тех пор, пока она не достигнет фланцев трубок кислородной секции теплообменника. Воздушный расширительный вентиль при этом должен быть закрыт. Теплообменник можно заполнить также водой снизу через продувочный вентиль. Спустя 1—1,5 часа воду спускают через продувочные ventили теплообменника и воздушный расширительный вентиль. Наполнение теплообменника водой и спуск последней повторяют обычно 3 раза. Полноту промывки проверяют при помощи раствора фенолфталеина. Вода из теплообменника не должна окрашивать этот раствор в розовый цвет, т. е. не должна иметь щелочной реакции. Обычно первая порция

воды вымывает из теплообменника и часть масла, что можно заметить по наличию в ней масляных пятен.

При промывке нижней колонны ее заполняют теплой водой через продувочные вентили. Вода заполняет колонну доверху и начинает стекать через вентиль слива жидкого азота из карманов конденсатора. Тогда в нижнюю часть колонны через нижнюю трубку указателя уровня в испарителе подают воздух или азот под давлением 1,5—2 *ати*. При этом газ в виде мелких пузырьков проходит через слой воды, наполняющей колонну, что способствует лучшей промывке последней. Спустя 1 час воду из колонны давлением газа вытесняют через сливную трубку. Заполнение колонны водой производят не менее 3 раз.

Верхняя колонна заполняется промывной водой через штуцер трубы, предназначенной для отвода азота из азотной секции теплообменника. Для лучшей промывки тарелок через колонну снизу вверх продувают воздух или азот, подаваемые под давлением 0,1—0,15 *ати* через нижнюю трубку указателя уровня жидкости в конденсаторе. Верхнюю колонну следует заполнять водой 5—6 раз. Слив использованной воды производят через кран, служащий для спуска жидкого кислорода из конденсатора. Каждая порция воды должна находиться в колонне не менее 1 часа. Окончание промывки устанавливают путем определения щелочности спускаемой воды. Продувку воздухом или азотом производят только при первых двух заливках колонны.

Промытые водой части аппарата тщательно продувают сухим подогретым воздухом с целью удаления влаги. Этот воздух подается от воздушного компрессора. В аппаратах, имеющих колпачковые тарелки, слив воды с последних затруднен. Поэтому продувка колонн с колпачковыми тарелками требует значительно большего времени, чем продувка колонн с сетчатыми тарелками, где жидкость задерживается только в переливных устройствах.

При употреблении в качестве растворителя дихлорэтана следует помнить, что пары его при продолжительном вдыхании вызывают отравление организма.

При работе с дихлорэтаном нужно соблюдать следующие правила:

- 1) не проливать растворителя на пол;
- 2) хранить растворитель в сосудах с плотно закрывающимися крышками;
- 3) применять усиленную вентиляцию и проветривание помещения;
- 4) производить слив использованного дихлорэтана через плотный шланг или трубу, выведенные наружу помещения, где должен быть установлен сосуд для сбора сливаемого растворителя;
- 5) пары дихлорэтана при продувке аппарата азотом должны также отводиться через шланг наружу помещения.

Пары дихлорэтана в смеси с воздухом при известной концентрации могут дать взрыв. Поэтому во время промывки аппарата

нельзя курить или зажигать огня. По этой же причине для передавливания дихлорэтана из бачка в аппарат и при продувке аппарата после промывки растворителя следует применять т о л ь к о азот, а не воздух. Совершенно недопустимо применение для этой цели кислорода. В практике известен случай, когда для продувки по ошибке использовали сжатый кислород, в результате чего в аппарате произошел взрыв смеси паров дихлорэтана и кислорода.

Порядок промывки отдельных частей аппарата дихлорэтаном остается тот же, как и в случае промывки водой. Перед промывкой дихлорэтаном аппарат продувают азотом чистоты 95—97% в течение 15—20 мин. Растворитель должен находиться в каждой промываемой части аппарата не менее 1 часа. При промывке нижней и верхней колонн для лучшего перемешивания растворителя полезно продувать аппарат снизу вверх азотом. Дихлорэтан удаляют из аппарата путем вытеснения его азотом с последующей продувкой горячим азотом в течение 15—20 мин.

Для окончательного удаления дихлорэтана из аппарата последний промывают чистой отфильтрованной проточной водой. Эту промывку производят до тех пор, пока сливаемая вода совершенно не будет иметь запаха дихлорэтана. По достижении этого аппарат подвергают просушке и продувке горячим воздухом.

Данные о количестве дихлорэтана, потребного для промывки аппарата, а также о продолжительности просушки аппарата после промывки растворителем приведены в табл. 18.

Таблица 18

Расход дихлорэтана при промывке кислородных аппаратов и продолжительность просушки

Производительность аппарата л <sup>3</sup> /час	Расход дихлорэтана кг	Продолжительность отогрева и продувки после промывки часы
30	70	не менее 8
50	100	„ „ 12
100—130	140	„ „ 16
250—300	300	„ „ 20

Просушку аппарата после промывки водой следует вести особенно тщательно, так как оставшаяся влага при пуске аппарата может замерзнуть и вызвать повреждение его частей.

Иногда загрязнение тарелок верхней ректификационной колонны является причиной так называемого зависания жидкости.

в колонне. При этом явлении жидкость не может свободно стекать вниз, с одной тарелки на другую, и накапливается на тарелках. Внешне это выражается в резких колебаниях уровня жидкости в конденсаторе и расстройстве режима ректификации. Жидкость задерживается на тарелках, вследствие чего уровень жидкости в самом конденсаторе начинает понижаться, а давление в нижней колонне возрастает. «Зависание» жидкости в колонне наиболее удобно установить путем непосредственного измерения сопротивления верхней колонны с помощью водяного дифманометра. При «зависании» жидкости сопротивление в колонне возрастает. Для устранения «зависания» иногда с успехом применяют способ промывки верхней колонны находящейся в ней жидкостью (флегмой). Для этого надо закрыть вентиль на азотной трубе и тем самым поднять давление в верхней колонне до 0,9 *ати*. Затем, быстро приподняв предохранительный клапан верхней колонны, резко снизить в ней давление. При этом жидкость потоком газа будет продавлена через тарелки и промоет их. Одновременно с промыванием тарелок произойдет и очистка их от отложений, образовавшихся в карманах и на решетках тарелок. Этот прием надо повторить несколько раз.

#### 4. ПРОВЕРКА ГЕРМЕТИЧНОСТИ АППАРАТА

Перед испытанием аппарата на герметичность его полностью отогревают и продувают. Затем осматривают и притирают все вентили аппарата, в том числе и расширительные. Проверку на герметичность начинают с трубок теплообменника, затем проверяют нижнюю колонну с конденсатором и испарителем и, наконец, верхнюю колонну.

При испытании трубок теплообменника закрывают расширительные вентили, открывают вентили выпуска из аппарата кислорода и азота и пускают в ход воздушный компрессор. Когда давление в теплообменнике достигнет величины рабочего давления, вентиль на трубе высокого давления, подводящей воздух в аппарат, закрывают, компрессор останавливают, открывают продувочные вентили осушительной батареи и спускают давление из магистрали высокого давления. Если давление в теплообменнике упадет в течение 1 часа не более чем на 2% первоначальной величины, то можно считать, что трубки теплообменника достаточно герметичны. В противном случае следует найти и устранить пропуск.

Пропуски во фланцах, запорном воздушном вентиле и продувочных вентилях отыскивают с помощью обмазки этих мест мыльной водой. При пропуске в расширительном воздушном вентиле или змеевике испарителя давление в нижней колонне возрастает.

Кроме того, на наличие пропуска в трубках теплообменника указывает повышение давления в верхней колонне, если при этом вентили отвода кислорода и азота из аппарата закрыты.

Для устранения пропуска необходимо распаять коллектор, снять его и произвести испытание каждой трубки в отдельности. Дефектную трубку заглушить, поставив с обоих концов ее медные пробки на мягком припое. Допускается заглушать не более 2% от общего количества трубок в теплообменнике.

При проверке герметичности нижней колонны закрывают азотный и кислородный расширительные вентили. Через воздушный расширительный вентиль давление в колонне поднимают до 6 *ати*, после чего вентиль закрывают. Герметичность нижней колонны можно считать удовлетворительной в том случае, когда давление в ней не снизится больше чем на 0,5 *ати* в течение 1 часа. Если при испытании нижней колонны давление в верхней колонне возрастет, то это указывает на наличие пропусков в трубках или крышке конденсатора, а также в азотном или кислородном расширительных вентилях.

Проверку герметичности верхней колонны производят, закрыв вентили выпуска кислорода и азота из аппарата, вентили отогрева верхней колонны и продувки конденсатора, а также кислородный и азотный расширительные вентили. Давление в верхней колонне поднимают до 0,6 *ати*, пропуская в нее воздух из нижней колонны через азотный или кислородный расширительные вентили. Если в течение 1 часа давление в колонне упадет не более чем на 0,1 *ати*, то герметичность ее признают удовлетворительной.

\* \* \*

Мы подробно рассмотрели технологический процесс получения кислорода на примере наиболее простой установки. В установках более сложных схем используются циклы низкого и высокого давления, применяются поршневые детандеры, турбодетандеры, регенераторы, кислородные насосы и другое специальное оборудование. Это вносит некоторые особенности в процессы пуска и обслуживания таких установок. Эти особенности мы рассмотрим более кратко, так как в основном регулирование процесса остается таким же, как и для установок высокого давления.

### 5. ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА НА УСТАНОВКАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Основными показателями технологического режима установок, работающих на получение жидкого кислорода, являются давление воздуха перед детандером и его температура до и после детандера. В зависимости от температуры воздуха перед детандером давление перед ним и температура после него будут характеризоваться следующими данными:

Температура перед детандером, °С . . . . .	20 ÷ -30	—35
Давление перед детандером, <i>ати</i> . . . . .	200—215	160
Температура после детандера, °С . . . . .	от —110 до —120	от —160 до —165

Остальные показатели технологического процесса при получении жидкого кислорода остаются такими же, как и при получении газообразного кислорода. Подготовка к пуску и пуск аппарата для получения жидкого кислорода производится в том же порядке, как и для аппарата, производящего газообразный кислород. После того как воздушный расширительный вентиль аппарата будет установлен в определенном для него положении, пускают в ход детандер.

Приблизительно через 2 часа после начала работы установки указатель уровня укажет на появление жидкости в испарителе. Уровень ее будет постепенно повышаться и при нормальной работе аппарата остановится примерно на высоте 10—15 см по шкале указателя. Жидкость, скапливающаяся в испарителе сверх этого, будет автоматически передаваться в верхнюю колонну. Через 1—1,5 часа после появления жидкости в испарителе другой указатель начнет показывать появление жидкости в конденсаторе. После этого начинают прикрывать расширительные вентили для кислорода и азота, поставив их в установленное для данного аппарата положение. Дальнейшая регулировка процесса ведется так же, как и при получении газообразного кислорода. Когда чистота газообразного кислорода достигнет 99,3—99,5% и правый указатель уровня начнет показывать увеличение количества жидкости в конденсаторе, постепенно в течение 1—1,5 часа переходят на слив жидкого кислорода в танк, отбирая его из конденсатора через соответствующий вентиль. При этом необходимо поддерживать требуемую чистоту получаемого продукта. Вентиль для пуска кислорода в газгольдер\* открывают лишь частично, для отвода из аппарата того количества кислорода, которое получается в газообразном виде, и для поддержания чистоты отходящего азота не менее 98%, а газообразного кислорода—не менее 99,3%.

Сливание жидкого кислорода из аппарата в стационарный танк можно производить непрерывно или периодически, по мере накопления жидкости в конденсаторе, но нельзя сливать из конденсатора весь жидкий кислород. Конденсатор всегда должен оставаться наполненным жидкостью до определенной высоты, указанной в протоколе заводского испытания аппарата.

## 6. УСТАНОВКИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ С ПОРШНЕВЫМ ДЕТАНДЕРОМ

Основные положения регулирования технологического процесса установок с поршневым детандером, работающих с использованием холодильного цикла среднего давления (см. рис. 29), остаются те же, что и для установок с циклом высокого давления. Однако наличие в таких установках детандера и несколь-

\* Этот вентиль имеется только у аппаратов, снабженных кислородным теплообменником и предназначенных для работы или на жидкий, или на газообразный кислород.

ких теплообменников вызывает некоторые особенности в их обслуживании.

Основные показатели технологического процесса для этих установок следующие:

Давление воздуха, <i>ати</i>	
перед теплообменниками . . . . .	30
в нижней колонне . . . . .	5
в верхней колонне . . . . .	0,2
Температура воздуха, °С	
перед детандером . . . . .	-50
после детандера . . . . .	от -100
	до -105
Температура воздуха перед расширительным вентиля- лем, °С . . . . .	-145
Разность температуры на теплом конце теплообмен- ника, °С . . . . .	5-8
Содержание кислорода в жидкости испарителя, % . . . . .	40-50
Содержание азота в жидкости из карманов конденса- тора, % . . . . .	93-97
Чистота отходящего кислорода, % . . . . .	99,3-99,5
Чистота отходящего азота, % . . . . .	96-97
Давление воздуха перед теплообменниками при пус- ке установки, <i>ати</i> . . . . .	50-60

**Пуск установки.** Пуск установки производят включением в работу компрессора. Перед пуском необходимо открыть вентиль для выхода воздуха из детандера, обводной вентиль для подачи в межтрубное пространство теплообменника охлажденного воздуха из детандера, азотный расширительный вентиль и вентиль для выпуска азота в атмосферу.

После пуска компрессора в работу включают, как обычно, скруббер и воздухоосушительную установку. Затем производят пуск детандера, установив максимальную подачу воздуха в него. Для этого, как только давление воздуха перед детандером достигнет 40 *ати*, открывают вентиль впуска воздуха в детандер. Если поршень последнего уплотнен металлическими кольцами, смазываемыми маслом, то впуск воздуха в детандер производят одновременно с пуском детандера от электродвигателя (генератора). Охлажденный в детандере воздух направляют через обводной вентиль в межтрубное пространство теплообменника, тем самым охлаждая новые порции поступающего в детандер воздуха. Постепенно давление воздуха перед детандером увеличивают до 50—60 *ати*. Если при этом число оборотов детандера начинает сильно возрастать, то часть воздуха пропускают в нижнюю колонну, открывая воздушный расширительный вентиль. Давление компрессора 50—60 *ати* поддерживают до тех пор, пока воздушный расширительный вентиль открыт на  $\frac{1}{4}$  оборота. Когда поступающий воздух достаточно охладится и поддерживать указанное давление будет трудно, начинают постепенно уменьшать величину наполнения цилиндра детандера. Для этого полностью открывают вентиль на трубе для выпуска кислорода в атмосферу и немного приоткрывают вентиль для отбора кислорода из аппарата.

Когда жидкость в испарителе поднимется до уровня 10—14 см, начинают медленно прикрывать обводной вентиль, что продолжают до тех пор, пока давление в нижней колонне не повысится до 1—1,5 *атм*. Уровень жидкости в испарителе поддерживают постоянным, регулируя его посредством кислородного расширительного вентиля. При появлении жидкости в конденсаторе вентиль для отбора кислорода из аппарата и вентиль выпуска кислорода в атмосферу полностью закрывают. К тому моменту, когда уровень жидкости достигнет высоты 25—30 см, начинают постепенно закрывать обводной вентиль, что вызывает соответствующее повышение давления в нижней колонне. Одновременно понемногу открывают воздушный расширительный вентиль, понижая тем самым давление воздуха после компрессора до 30 *атм*. При этом температура воздуха, выходящего из теплообменника, понижается до  $-145^{\circ}\text{C}$ , а количество жидкости в испарителе возрастает. Эту жидкость перепускают в верхнюю колонну, открывая для этого кислородный расширительный вентиль. Чтобы возрастающее в это время давление в нижней колонне не превысило 5 *атм*, открывают также на соответствующее число оборотов азотный расширительный вентиль. При этом уровень жидкости в испарителе поддерживают постоянным.

К моменту полного закрытия обводного вентиля холодного детандерного воздуха в аппарате устанавливается нормальный режим ректификации, и можно начинать отбор газообразного кислорода из конденсатора. Сначала, делая частые анализы, отбирают небольшое количество кислорода. Постепенно отбор кислорода увеличивают до нормальной, установленной для данного аппарата величины, при условии, что чистота кислорода не снижается. Период охлаждения и пуска установки обычно занимает 8—10 час.

**Обслуживание во время работы** заключается в наблюдении за постоянством уровня жидкости в конденсаторе и в испарителе, за составом жидкости в испарителе и в карманах конденсатора, а также за чистотой продуктов разделения.

Регулировку величины давления воздуха перед детандером и кислородным аппаратом производят с помощью воздушного расширительного вентиля. При понижении уровня жидкости в конденсаторе давление воздуха увеличивают, для чего прикрывают воздушный расширительный вентиль; при повышении уровня жидкости вентиль приоткрывают. Если детандер имеет устройство для изменения числа оборотов, то регулирование давления воздуха после компрессора производят путем изменения числа оборотов детандера.

Уровень жидкости в испарителе регулируют открытием кислородного расширительного вентиля, чистоту азота в карманах конденсатора—открытием азотного расширительного вентиля, чистоту отходящего азота и кислорода—открытием соответствующих вентиляей для отвода этих продуктов из аппарата.



**Отогревание аппарата и теплообменников.** Полное отогревание аппарата производят 1 раз в 3—4 месяца. Отдельные аппараты отогревают последовательно, по ходу воздуха, т. е. сначала теплообменник, затем нижнюю колонну, верхнюю колонну и конденсатор. При отогревании блока теплообменников открывают их продувочные вентили, обводной вентиль и вентиль для выпуска азота в атмосферу. Закрывают вентили впуска сжатого воздуха в теплообменник, воздушный, кислородный и азотный расширительные вентили, вентиль отвода газообразного кислорода из аппарата и продувочные вентили. Клапаны детандера должны быть поставлены в положение «закрывается». Затем в межтрубное пространство теплообменника подводят сухой нагретый воздух, подаваемый от компрессора через нагревательную печь под давлением до 4,5 *ати*. В среднем отогрев теплообменника продолжается около 2 час. Его заканчивают, когда воздух на выходе из отогреваемых аппаратов будет иметь 40°C. Влагу при отогреве удаляют через открытые продувочные вентили.

При отогреве колонн и конденсатора открывают все продувочные и анализные вентили, отсоединяют трубки указателя; вентили для входа воздуха в теплообменник и для выхода азота в атмосферу закрывают. В течение первых 2 час. отогрева подают неподогретый воздух, а затем подогретый до 70—80°C под давлением не свыше 0,5 *ати*. Отогрев заканчивают, когда воздух, выходящий из аппарата, имеет 40°C.

В некоторых установках 1—2 раза в неделю производят отогрев только нижней части теплообменника. При этом подачу сжатого воздуха в нижнюю часть теплообменника прекращают и производят ее отогрев посредством теплого воздуха из электронагревателя, подаваемого через вентиль для частичного отогрева. Скопившийся в теплообменнике лед тает, а образующуюся воду продувают через соответствующие продувочные вентили. Эту операцию производят, не останавливая работы аппарата, так как сжатый воздух в это время можно подавать в колонну только из верхней части теплообменника через предусмотренный для этого вентиль. Если же лед скопится и в верхней части теплообменника, то производят полный отогрев последнего, прекращая на это время получение кислорода из аппарата.

## 7. УСТАНОВКИ С КИСЛОРОДНЫМ НАСОСОМ

В установках с кислородным насосом (см. рис. 27) отбор продукта из аппарата, а следовательно, и его чистота определяются производительностью насоса. Одновременно с увеличением числа оборотов насоса и его производительности происходит увеличение отбора кислорода из аппарата, что вызывает понижение чистоты получаемого продукта.

Обслуживание установок с кислородным насосом и регулирование их режима осуществляются в той же последовательности и теми же приемами, как и для установок без насоса. Пуск на-

соса производят после того, как аппарат полностью охлажден и, по мере накопления в нем жидкости, будет установлен нормальный процесс ректификации. При установившемся режиме производительность насоса регулируют таким образом, чтобы получать из аппарата наибольшее количество кислорода установленной чистоты.

Во время работы насоса необходимо следить за полным отсутствием пропуска кислорода в сальнике, своевременно производя подтягивание последнего, а также за нормальной работой клапанов насоса. Пропуски в сальнике и клапанах оказывают влияние на работу установки, значительно уменьшая ее производительность.

В установках с кислородным насосом потери холода выше, чем в установках без насоса. Поэтому рабочее давление воздуха в установках с кислородным насосом приходится поддерживать более высоким, чем обычно.

Дополнительные потери холода в установках с насосом обусловлены: 1) превращением в тепло работы, затрачиваемой на сжатие жидкого кислорода; 2) утечкой холода через наружные части насоса; 3) повышенной недорекуперацией на теплом конце теплообменника вследствие значительной разности в теплоемкостях сжатого воздуха и сжатого кислорода.

## 8. УСТАНОВКИ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ С ДЕТАНДЕРАМИ И РЕГЕНЕРАТОРАМИ\*

Пуск таких установок (см. рис. 31) начинают с помощью только одного воздуха высокого давления; при этом основной задачей является предварительное охлаждение азотных регенераторов. Воздух высокого давления (200 *атм*), очищенный от углекислоты и влаги, расширяется до 5 *атм* частично в поршневом детандере и частично в расширительном вентиле и подается на дальнейшее расширение до 0,3 *атм* в турбодетандер. Под этим давлением холодный воздух, минуя верхнюю колонну, проходит через азотные регенераторы, а затем выбрасывается наружу.

Когда насадка средней части регенераторов охладится до —50—60°С, пускают турбокомпрессор и в установку начинают подавать через азотные регенераторы воздух низкого давления в количестве 600—700 *м<sup>3</sup> час*. После регенераторов эта часть воздуха направляется в турбодетандер, минуя колонны и переоохладитель. Только после достаточного охлаждения насадки регенераторов (температура воздуха на их холодных концах достигнет —168—170°С) можно начинать пропускание воздуха через нижнюю и верхнюю колонны и переоохладитель с целью их охлаждения. Вся углекислота, содержащаяся в турбокомпрессорном воздухе, оседает в регенераторах, и возможность попадания ее в разделительный аппарат будет исключена.

\* Установки типа КТ-1000.

Наладку процесса ректификации начинают после нахлещения жидкости в кубе и конденсаторе колонны. Отбор кислорода через кислородные регенераторы постепенно увеличивают с целью охлаждения последних. Когда насадка в средней части кислородных регенераторов охладится до  $-60-70^{\circ}\text{C}$ , через них также начинают пропускать воздух низкого давления. Одновременно с этим устанавливают режим азотного теплообменника, выключают турбодетандер и постепенно снижают давление воздуха до  $110-120 \text{ атм}$ .

Рабочий период установки длится 3 месяца и более. Для уменьшения забивания азотного теплообменника углекислотой разность температур (недорекуперацию) на его теплом конце следует держать возможно более низкой, равной  $4-5^{\circ}\text{C}$ . Это достигается повышением разности температур на теплом конце регенераторов до  $5-8^{\circ}\text{C}$ .

При временной остановке поршневого компрессора или поршневого детандера установка может работать в течение 6 час. только на воздухе низкого давления. В этом случае для частичного покрытия потерь холода пускают в ход турбодетандер; производительность установки по кислороду при этом снижается на  $200-300 \text{ м}^3/\text{час}$ . После пуска поршневого компрессора и детандера режим восстанавливается вновь через 3 часа.

Отогревание блока разделения производят посредством воздуха высокого давления, нагретого в электропечи до  $70-80^{\circ}\text{C}$ , причем полный отогрев блока разделения продолжается  $22-24$  часа.

Для ускорения процесса отогрева можно дополнительно использовать также воздух низкого давления. В этом случае воздушные принудительные клапаны на всех регенераторах ставят в открытое положение и через них в течение  $1-2$  час. продувают теплый воздух. Для выхода отогревающего воздуха открывают продувочные вентили клапанных коробок на холодных концах регенераторов. Применение воздуха низкого давления сокращает период полного отогрева до  $18-20$  час.

Частичный отогрев азотного теплообменника можно произвести в течение  $45-50$  мин., не останавливая работы всего блока. Отогрев теплообменника, а также отогрев детандерного фильтра производят  $1-2$  раза в месяц.

#### **9. УСТАНОВКИ ДВУХ ДАВЛЕНИЙ С ТУРБОДЕТАНДЕРОМ, РЕГЕНЕРАТОРАМИ И АММИАЧНЫМ ЦИКЛОМ**

Наиболее типичной из установок данного типа является установка КТ-3600. Пуск этой установки производят в следующем порядке (см. рис. 32). Открывают задвижки на входе воздуха в азотные регенераторы, вентиль для выхода воздуха из детандера, заслонку на трубопроводе отходящего азота и задвижку на трубе для выпуска кислорода в атмосферу; защитный шибер на трубе входа

воздуха в турбодетандер ставят в положение «открыто». Задвижку на трубе, отводящей кислород в газгольдер, держат закрытой. Затем на одном из основных теплообменников открывают соответствующие вентили для входа и выхода воздуха и азота в теплообменник и из него. Турбодетандерный агрегат должен быть заранее подготовлен к пуску (см. стр. 177), а механизм переключения клапанов регенераторов включен в действие.

Пускают в ход поршневой компрессор, вследствие чего давление воздуха в линии высокого давления поднимается до 180—200 *ати*. Тогда открывают на несколько оборотов воздушный расширительный вентиль и впускают в разделительный аппарат воздух в количестве 1200—2400  $\text{м}^3/\text{час}$ . При подъеме давления в нижней колонне до 2—2,5 *ати* пускают в ход турбодетандер, для чего медленно открывают вентиль для впуска воздуха в турбодетандер. Если при этом давление в нижней колонне превысит 4,5 *ати*, то открывают вентили, включающие дополнительные сопла турбодетандера, поддерживая этим давление в колонне равным 4,5 *ати*.

Температура воздуха перед турбодетандером начинает постепенно снижаться. Когда она достигнет  $-135^\circ\text{C}$ , начинают прикрывать вентили для выхода азота из основного теплообменника. Регулировку вентилями производят до тех пор, пока температура воздуха на входе в детандер не установится в пределах от  $-145$  до  $-150^\circ\text{C}$ . Следует иметь в виду, что, прикрывая вентиль на выходе азота из теплообменника, мы повышаем температуру воздуха перед детандером, а открывая его, понижаем эту температуру.

Когда температура воздуха в средней части азотных регенераторов понизится до  $-30$ — $-40^\circ\text{C}$ , а на их холодных концах до  $-100^\circ\text{C}$ , пускают в ход турбокомпрессор и начинают медленно открывать задвижку на трубе, по которой производится впуск воздуха низкого давления в блок разделения. При этом следят, чтобы давление в нижней колонне не превысило 4,5 *ати*. Дроссельную заслонку на вводе воздуха из регенераторов в нижнюю колонну закрывают, а вентили для включения дополнительных сопел турбодетандера открывают, поддерживая нагрузку детандера по показаниям амперметра на уровне 95 *а*.

Предварительное охлаждение регенераторов, производимое до поступления в них воздуха низкого давления, является обязательным условием пуска аппаратов данного типа. Если этого не сделать, то воздух, проходя неохлажденную насадку регенераторов, не будет в достаточной степени освобожден от углекислоты, которая забьет аппаратуру и каналы лопаток рабочего колеса турбодетандера.

Для накапливания жидкости в аппарате медленно открывают кислородный и азотный расширительные вентили. При этом необходимо систематически замерять температуру воздуха в средней части и на холодных концах регенераторов. При повышении

температуры воздуха надо слегка приоткрыть расширительные вентили для жидкого азота и кубовой жидкости; температура воздуха после детандера не должна быть ниже  $-185^{\circ}\text{C}$ . Температуру регенераторов можно регулировать в процессе их работы. Если обнаружится, что один из регенераторов переохлажден, а второй, наоборот, несколько перегрет, то следует пропустить два-три периода холодного дутья на более переохлажденном регенераторе. Для этого вращают рукоятку, имеющуюся на механизме переключения, в результате чего период теплого дутья в переохлажденном регенераторе, а также период холодного дутья в более теплом регенераторе удлинятся и температурный режим аппаратов выравняется.

Повышение сопротивления одного из регенераторов указывает на то, что он сильнее забит льдом и твердой углекислотой, чем другой регенератор.

Подачу воздуха прямого потока в «забитый» регенератор необходимо уменьшить. Это производится путем медленного прикрывания задвижки на входе воздуха в данный регенератор. Температура в средней части «забитого» регенератора должна поддерживаться на  $10-20^{\circ}$  ниже, чем у другого регенератора. Быстрое изменение температуры регенератора осуществляют при помощи механизма переключения. Поворачивая рукоятку этого механизма, можно сократить период холодного или теплого дутья в соответствующем регенераторе. Для подогрева регенератора нужно один или два раза уменьшить продолжительность периода холодного дутья, а для охлаждения—увеличить эти периоды.

Когда уровень жидкости в испарителе достигнет  $20\text{ см}$ , а температура воздуха после регенераторов установится на  $-170^{\circ}\text{C}$ , открывают дроссельную заслонку на трубе входа воздуха из регенераторов в колонну и медленно закрывают вентиль ввода воздуха в отделитель жидкого азота. При этом нужно следить, чтобы температура в регенераторах и давление в верхней и нижней колоннах не повышались.

Первую порцию жидкости (до уровня  $5-10\text{ см}$ ), накопившуюся в конденсаторе, полностью сливают и производят анализ на содержание в ней ацетилена. Затем вторично накапливают в конденсаторе жидкость и повторяют ее анализ. Если количество ацетилена ниже нормы (стр. 305), то накопление жидкости продолжают, а если выше нормы, то жидкость вновь полностью сливают из конденсатора.

При повышении уровня жидкости в конденсаторе сжижение азота в трубках конденсатора усиливается, вследствие чего в нижнюю колонну начинает поступать большее количество воздуха низкого давления. В этом случае главную задвижку на трубе входа воздуха в блок разделения прикрывают так, чтобы расход воздуха низкого давления составлял  $12\,000-15\,000\text{ м}^3/\text{час}$ . Расход воздуха регулируют согласно показаниям расходомера. Когда уровень жидкости в конденсаторе достигнет  $36-40\text{ см}$ ,

начинают медленно прикрывать расширительные вентили для жидкого азота и кубовой жидкости. При этом следят за постоянством температуры в регенераторах и давления в ректификационных колоннах. После этого включают в работу один из адсорберов ацетилена, пропуская через него кубовую жидкость. Содержание кислорода в кубовой жидкости должно составлять 38%, что регулируют посредством расширительных вентиля для жидкого азота; открытие вентиля повышает содержание кислорода в кубовой жидкости, а прикрывание—уменьшает.

Затем медленно включают поступление азота в выносной конденсатор и открывают вентиль для выхода кислорода из отделителя ацетилена. Когда уровень жидкости в основном конденсаторе повысится до 80 см, начинают очень медленно сливать жидкий кислород в выносной конденсатор. В последнем кислород испаряется и через отделитель ацетилена поступает в кислородные регенераторы. Уровень жидкости в основном конденсаторе при отборе кислорода должен оставаться постоянным.

По мере накопления жидкого азота в межтрубном пространстве выносного конденсатора начинают производить постепенную подачу этого азота в верхнюю колонну. При этом вентиль подачи жидкого азота из карманов основного конденсатора закрывают. Уровень жидкого азота в выносном конденсаторе должен быть постоянным. Его регулируют посредством имеющегося расширительного вентиля.

Отходящий кислород охлаждает регенераторы. При понижении температуры в средней части регенераторов до  $-30$ — $-40^{\circ}\text{C}$ , а на холодных концах до  $-165^{\circ}\text{C}$ , в них впускают воздух низкого давления, отрегулировав его подачу задвижками на воздухопроводе.

Насадка в средней части регенератора, у которого более высокое сопротивление, должна иметь температуру на  $10$ — $20^{\circ}$  ниже, чем насадка соседнего, парного, регенератора.

Когда данные анализа укажут на то, что чистота кислорода в основном конденсаторе достигла 98—99%, подачу кислорода переключают с выпуска в атмосферу на выпуск в газгольдер. Переключение производят постепенно, открывая задвижку на трубе, подающей кислород в газгольдер, и одновременно прикрывая задвижку на трубе выпуска кислорода в атмосферу. Если уровень жидкости в конденсаторе продолжает повышаться, то часть сопел в турбодетандере выключают, а также снижают количество воздуха высокого давления, подаваемого в блок. В последующем подачу воздуха низкого давления в блок разделения постепенно увеличивают до максимальной величины, при которой возможен устойчивый режим работы всего агрегата, без понижения чистоты получаемого кислорода и отходящего азота.

**Обслуживание при установившемся режиме.** Регулирование процесса производят согласно показаниям соответствующих приборов.

Основные показатели технологического режима для описываемой установки следующие:

Количество воздуха низкого давления, $m^3/час$ . . . . .	19 200
Количество воздуха высокого давления, $m^3/час$ . . . . .	800
Количество азота, проходящего через теплообменник, $m^3/час$ . . . . .	150
Количество азота, проходящего через турбодетандер, $m^3/час$ . . . . .	2700
Давление воздуха, <i>ати</i>	
перед регенераторами . . . . .	4,6
в нижней колонне . . . . .	4,5
в верхней колонне . . . . .	0,3
Высокое давление воздуха, <i>ати</i> . . . . .	140—150
Уровень жидкости, <i>см</i>	
в испарителе нижней колонны . . . . .	20
в основном конденсаторе . . . . .	90
в выносном конденсаторе . . . . .	20
Сопроотивление, <i>мм рт. ст.</i>	
верхней колонны . . . . .	90
нижней колонны . . . . .	80
регенераторов . . . . .	70—80
Чистота азота, отходящего из нижней колонны, % . . . . .	98
Содержание кислорода в жидкости испарителя, % . . . . .	38—39
Чистота азота, отходящего из верхней колонны, % . . . . .	98
Чистота кислорода из конденсатора, % . . . . .	99
Чистота кислорода после регенераторов, % . . . . .	98—98,5
Температура, °С	
в средней части регенераторов . . . . .	-20—-40
на холодном конце регенераторов . . . . .	-170
воздуха высокого давления после аммиачного теплообменника . . . . .	-45
воздуха высокого давления после основного теплообменника . . . . .	-60
воздуха высокого давления после детандерного теплообменника . . . . .	-150
азота перед детандером . . . . .	-135
азота после детандера . . . . .	-170
азота на выходе из основного теплообменника . . . . .	-50
Разность температуры на теплом конце регенераторов, °С	3—5

Количество воздуха низкого и высокого давления, поступающего в блок разделения, контролируется расходомерами. При понижении чистоты кислорода в основном конденсаторе или чистоты азота в нижней колонне давление в нижней колонне падает. Это происходит вследствие увеличения конденсации паров азота в трубках конденсатора. Количество поступающего в колонну воздуха будет при этом возрастать, и необходимо прикрыть главную задвижку, поддерживая поступление воздуха в аппарат на заданном уровне.

Регулирование количества получаемого кислорода производят посредством вентиля, подающего жидкий кислород из основного конденсатора в выносной. Увеличение отбора кислорода понижает его чистоту. Количество поступающего в теплообменник азота также регулируют соответствующим вентилем. Увеличение количества азота, отводимого через теплообменник, повышает температуру воздуха на холодных концах регенераторов, что

может вызвать занос углекислоты в аппарат. Уменьшение же количества отводимого азота увеличивает разность температур на теплых концах регенераторов и способствует увеличению потерь холода.

При нормальной работе блока разделения давление в нижней колонне автоматически поддерживается постоянным. Понижение этого давления может произойти вследствие уменьшения чистоты кислорода или жидкого азота, а также включения большого количества сопел турбодетандера. Повышение давления в нижней колонне происходит при понижении уровня жидкости в конденсаторе. В тех случаях, когда начинает повышаться давление в верхней колонне, необходимо проверить сопротивление регенераторов, работу клапанов принудительного действия (полностью ли они открываются), количество перерабатываемого воздуха и чистоту кислорода.

Для регулирования холодопроизводительности обычно используют холодильный цикл высокого давления. При необходимости повышения уровня жидкости в конденсаторе увеличивают давление или количество подаваемого в аппарат воздуха высокого давления, а при необходимости понижения уровня поступают наоборот. Для регулирования величины указанного давления пользуются воздушным расширительным вентилем. Для увеличения количества жидкости в конденсаторе включают дополнительные сопла турбодетандера. Если включено более двух групп сопел, то отбор кислорода уменьшают, так как в противном случае чистота его начнет понижаться вследствие избытка холода, вводимого в аппарат.

Уровень жидкости в испарителе (кубе) нижней колонны поддерживается при помощи кислородного расширительного вентиля. Сначала этот вентиль устанавливают в положение, при котором подъем уровня жидкости в кубе на 15—20 см выше нормы, а затем, слегка приоткрыв его, дают возможность уровню жидкости медленно снизиться до нормы. Подобным образом регулируют и уровень жидкого азота в выносном конденсаторе, используя для этого азотный расширительный вентиль.

Регулирование сопротивления и температуры в период установившегося режима регенераторов производят так же, как и регулирование во время пускового периода блока разделения. При этом надо следить за тем, чтобы температура воздуха на холодных концах всех регенераторов была одинаковой. Температура насадки в средних частях регенераторов может отличаться на 10—20°, что объясняется различным сопротивлением регенераторов. При отклонении от нормы температуры холодных концов всех регенераторов необходимо изменить количество азота, поступающего в основной теплообменник.

**Переключение и отогревание основного теплообменника.** Повышение температуры сжатого воздуха после основного теплообменника при одновременном понижении температуры выходя-



щего из теплообменника азота, а также повышение разности давления воздуха до и после теплообменника, указывает на забивание теплообменника льдом. В таком случае требуется переключение и отопление теплообменника, что производят в следующем порядке:

1) открывают продувочный вентиль вновь включаемого теплообменника и продувают последний путем впуска небольшого количества воздуха;

2) ставят трехходовые вентили на азотном трубопроводе в среднее положение;

3) спустя 10—15 мин. на включаемом теплообменнике медленно открывают вентили впуска и выпуска воздуха высокого давления, закрывая эти же вентили на работавшем ранее теплообменнике;

4) азотные вентили полностью переключают на новый теплообменник;

5) на выключенном теплообменнике открывают продувочный вентиль, спускают давление и продувают теплообменник воздухом, имеющим температуру около  $0^{\circ}\text{C}$ , в течение 2 час., после чего включают подогреватель, постепенно повышая температуру отогреваемого воздуха до  $40\text{—}50^{\circ}\text{C}$ ;

6) когда температура отогреваемого воздуха на выходе из теплообменника достигнет  $30^{\circ}\text{C}$ , слегка открывают вентиль на трубе воздуха высокого давления и продувают трубки теплообменника. Эту операцию повторяют 3—4 раза.

**Отогревание детандерного теплообменника.** На необходимость отогрева этого теплообменника указывает повышение его сопротивления свыше 15 *ати*, а также повышение температуры воздуха высокого давления перед расширительным вентилем и азота перед детандером.

Отогревание теплообменника производят, не останавливая работы блока разделения. Для этого поступают следующим образом:

1) уровень жидкости в конденсаторе повышают до 90 см;

2) подачу воздуха низкого давления уменьшают до  $15\,000\text{ м}^3/\text{час}$ ;

3) турбодетандер останавливают, закрывая для этого вентиль впуска в него воздуха;

4) закрывают воздушный расширительный вентиль и вентиль впуска воздуха высокого давления в блок разделения;

5) закрывают вентиль на выходе азота из основного теплообменника;

6) включают воздухоподогреватель и открывают вентиль впуска воздуха, поступающего из подогревателя в трубопровод высокого давления;

7) открывают продувочный вентиль основного теплообменника и держат его открытым до тех пор, пока через него не пойдет теплый сухой воздух. После этого вентиль закрывают, а про-

дувочный вентиль детандерного теплообменника открывают;

8) по окончании отогрева продувочный вентиль и вентиль на подогревателе закрывают и, открыв продувочный вентиль основного теплообменника, спускают из последнего воздух;

9) несколько раз продувают сначала основной, а затем детандерный теплообменники, пользуясь для этого вентилем подогревателя;

10) медленно и постепенно включают в работу теплообменник. Для этого открывают вентили впуска воздуха высокого давления в блок разделения и выхода азота из основного теплообменника;

11) открывают воздушный расширительный вентиль и пускают детандер в ход, открыв при этом вентиль входа азота в детандер;

12) полностью открывают вентиль впуска воздуха высокого давления в блок разделения и увеличивают подачу в блок воздуха низкого давления до нормального предела.

**Отогревание углекислотных фильтров и адсорберов.** Переключение фильтров обычно производят через каждые 4 дня. При нарушении режима работы регенераторов, обуславливающего попадание в аппарат значительного количества углекислоты, переключение фильтров производится чаще. Переключение фильтров должно происходить очень медленно. Прикрытие расширительного вентиля отключаемого фильтра и одновременное открытие вентиля вновь включаемого фильтра производят в течение 1 часа. Оставшуюся в фильтре жидкость сливают через продувочный вентиль и через 1 час фильтр начинают продувать неподогретым воздухом в течение 1 часа. Затем температуру греющего воздуха повышают до  $40-50^{\circ}$ , и когда выходящий из фильтра воздух будет иметь температуру  $20-30^{\circ}$ , отогревание заканчивают.

Отогревание адсорберов ацетиленового аппарата производят в том же порядке, что и отогревание углекислотных фильтров, только вместо воздуха применяют азот, отбираемый из-под крышки конденсатора.

**Отогревание турбодетандера.** Признаком замерзания турбодетандера является понижение разности между температурой азота до и после турбодетандера до  $30^{\circ}\text{C}$  и меньше. Прежде чем приступить к отогреванию турбодетандера, необходимо проверить уровень жидкости в конденсаторе. Уровень не должен быть менее  $90\text{ см}$ . Чтобы произвести отогревание турбодетандера, его надо остановить и полностью открыть все вентили сопел направляющего аппарата. Отогрев производят при помощи воздуха, нагретого до  $40-50^{\circ}\text{C}$  и заканчивают, когда температура выходящего воздуха достигнет  $30^{\circ}\text{C}$ .

**Отключение и отогревание выносного конденсатора.** Отогревание выносного конденсатора производят в том случае, если он забит углекислотой и не пропускает достаточного количества кислорода. Выключение выносного конденсатора производят постепенно в течение  $20-30\text{ мин.}$ , прикрывая вентиль перепуска жидкого кислорода из основного конденсатора в выносной. Одно-

временно медленно открывают вентиль отвода газообразного кислорода из основного конденсатора, сохраняя при этом производительность аппарата по кислороду постоянной и постепенно переключают подачу жидкого азота в верхнюю колонну из выносного конденсатора на подачу из карманов основного конденсатора.

Отключенный конденсатор отогревают воздухом; режим и порядок отогревания конденсатора подобны таковым при отогревании теплообменников

**Наблюдение за работой клапанов регенераторов.** Если данные анализа проб газа, взятого из верхней колонны и из нижней части регенераторов, показывают различную чистоту газа, то это свидетельствует о негерметичности автоматических клапанов регенераторов. Разница в чистоте газа, пробы которого взяты из нижней части регенераторов и из газовой магистрали, указывает на негерметичность клапанов принудительного действия.

Правильность подачи воздуха в цилиндры клапанов принудительного действия можно проверить путем открытия краников, предназначенных для спуска масла из этих цилиндров. При правильной работе распределительного механизма из этих краников должен выходить воздух в тот момент, когда данная полость цилиндра находится под давлением. Спуск масла из цилиндров нужно производить каждые 2 дня.

**Остановка блока разделения.** Блок разделения, будучи охлажден, может работать в течение 1—2 час. без подачи в него воздуха высокого давления, при условии, что в конденсаторе находится достаточный запас жидкости. Турбодетандер без ущерба для работы блока разделения может быть остановлен на 2—3 часа для ремонта и исправления обнаруженных дефектов. При остановке аммиачного компрессора нужно остановить также и компрессор воздуха высокого давления. При ремонте механизмов для переключения клапанов регенераторов необходимо остановить весь блок разделения.

В случае кратковременной остановки блока разделения останавливают турбодетандер и в первую очередь выключают механизм переключения клапанов регенераторов, закрывают воздушный расширительный вентиль и вентиль подачи воздуха высокого давления. Затем закрывают вентиль слива жидкого кислорода из основного конденсатора в выносной, вентиль подачи кислорода в газгольдер (при открытом вентиле выпуска кислорода в атмосферу), задвижку для подачи воздуха низкого давления в блок разделения и затем азотный и кислородный расширительные вентили. Если после кратковременной остановки блока разделения уровень жидкости в конденсаторе остается выше 60 см, то блок снова пускают в работу, включив механизм переключения клапанов регенераторов, открыв вентили подачи воздуха низкого и высокого давления и пустив в ход турбодетандер. При меньшем количестве жидкости в конденсаторе порядок пуска должен соответствовать порядку пуска блока после длительной остановки.

При внезапной остановке блока разделения надо быстро закрыть главную задвижку подачи воздуха низкого давления, остановить турбодетандер и механизм переключения клапанов регенераторов и перекрыть подачу воздуха высокого давления. В случае плановой остановки аппарата нужно за несколько часов до нее постараться использовать (сработать) весь запас жидкости в основном конденсаторе.

Отогревание блока разделения начинают со спуска из него всей жидкости и давления. Спустя 3 часа приступают к прогреву блока. В течение первых 3—4 час. для прогрева используют неподогретый воздух, а затем температуру воздуха постепенно доводят до 40°C. Отогрев заканчивают, когда из всех продувочных вентиляей будет выходить сухой воздух с температурой 20—25°C.

#### 10. КИСЛОРОДНО-АРГОННЫЕ АППАРАТЫ

Включение дополнительной аргонной колонны (см. рис. 34) в нормальную схему кислородного аппарата вызывает некоторые особенности в обслуживании последнего. Перед первым пуском аргонной колонны она должна быть отогрета и продута. Отогрев аргонной колонны следует начинать спустя 2,5—3 часа после начала отогрева основного аппарата, когда верхняя колонна его уже достаточно прогрелась.

При отогреве аргонной колонны открывают на 2—3 оборота вентиль для подачи обогащенной кислородом жидкости в конденсатор аргонной колонны. Колонна при этом должна быть отключена от газгольдера, а вентиль для выпуска сырого аргона в атмосферу полностью открыт. Все указатели уровня жидкости и манометры на щите аргонной колонны должны быть отключены от своих трубок. Отогрев считают законченным в тот момент, когда из колонны начинает выходить сухой воздух с температурой 30°C. Продувку аргонной колонны производят одновременно с продувкой верхней колонны основного аппарата.

**Пуск аргонной колонны.** Аргонную колонну включают в работу через 6—8 час. после установления нормального режима основной колонны. Чистота отходящего из основной колонны кислорода должна поддерживаться в пределах 98,7—99%. Жидкость в испарителе нижней колонны должна содержать не менее 35—38% кислорода.

В начале пуска аргонной колонны вентиль подачи жидкости из испарителя нижней колонны в конденсатор аргонной колонны открывают на  $\frac{1}{3}$  оборота. Необходимо путем анализа пробы жидкости проверить чистоту отходящего кислорода. Если чистота кислорода и уровень жидкости в испарителе понижаются, то подачу жидкости в конденсатор аргонной колонны уменьшают; при нормальном течении процесса подачу жидкости в аргонную колонну увеличивают до тех пор, пока уровень жидкости в конденсаторе аргонной колонны не установится на высоте 3—5 см по шкале указателя уровня.

Во время охлаждения аргонной колонны необходимо проверять содержание кислорода во фракции, отбираемой из основной колонны, и поддерживать его в пределах от 88 до 90%. Состав отбираемой аргонной фракции зависит от степени открытия вентилей на трубе отходящего кислорода. При увеличении открытия вентиля содержание кислорода в аргонной фракции падает, а при уменьшении—возрастает.

Когда уровень жидкости в конденсаторе аргонной колонны станет более или менее постоянным, производят анализ сырого аргона с помощью газовых весов (стр. 297). При увеличении содержания аргона в сыром продукте отбор последнего постепенно увеличивают, доводя в течение 8 час. до максимального. Выход аргона определяют по показаниям дифманометра измерительной шайбы. Если данные анализа указывают на понижение содержания аргона в получаемом продукте, то отбор последнего уменьшают до восстановления требуемого содержания. По достижении этого пуск аргонной колонны можно считать законченным.

**Обслуживание при установившемся режиме.** В течение всего времени нормальной работы кислородного аппарата налаженный и отрегулированный режим работы аргонной колонны должен оставаться без изменения. Сырой аргон должен содержать не более 5% азота и не более 45% кислорода, остальное—аргон. Работу основной колонны регулируют таким образом, что отбираемая из нее аргонная фракция содержит 88—90% кислорода, а чистота отходящего кислорода равняется 98,7—99%.

Во время работы аппарата может произойти забивание (закладывание) твердой углекислотой расширительных вентиляей, подающих жидкость из нижней колонны в верхнюю и аргонную колонны. Тогда порядок распределения жидкости между этими колоннами изменится и повлечет за собой нарушение процесса получения сырого аргона. Во избежание этого необходимо проширять расширительные вентили, подающие кислородную жидкость. При повышении уровня жидкости в конденсаторе аргонной колонны нужно увеличивать подачу жидкости в основную колонну до тех пор, пока уровень не понизится до 3—5 см.

Подача в конденсатор аргонной колонны слишком большого количества кислородной жидкости вызывает усиленную конденсацию паров в трубках конденсатора и переполнение тарелок аргонной колонны. В результате аргонная колонна начинает «захлебываться», на что указывает повышение сопротивления колонны, измеряемое имеющимся на ней дифманометром. Это явление устраняют путем уменьшения подачи жидкости в конденсатор колонны.

Качество и количество получаемого сырого аргона зависят главным образом от состава отбираемой аргонной фракции. Повышение содержания кислорода в аргонной фракции уменьшает выход сырого аргона. Если отбор сырого аргона увеличить, то

содержание в нем кислорода также увеличится. Содержание кислорода в сыром аргоне должно поддерживаться в пределах 40—45% посредством регулирования отбора сырого аргона из колонны.

При увеличении содержания азота в сыром аргоне аргонную колонну следует «продуть» путем временного увеличения отбора газа при отключенном газгольдере. Однако такая «продувка» колонны вызывает повышение сопротивления колонны и ее «захлебывание», что может привести к полному расстройству режима получения сырого аргона. Поэтому если сопротивление колонны находится уже на пределе, то снижение содержания азота лучше осуществлять путем повышения содержания кислорода в аргонной фракции.

Расстройство режима работы аргонной колонны, являющееся следствием повышенного содержания азота в сыром аргоне, объясняется увеличением содержания азота в парах, поступающих в конденсатор аргонной колонны. Разность температуры между обогащенными азотом парами и подаваемой в конденсатор кислородной жидкостью уменьшается, вследствие чего снижается количество конденсирующихся паров. В результате орошение аргонной колонны жидкостью уменьшается. Уровень кислородной жидкости в конденсаторе аргонной колонны растет, а сопротивление колонны падает. В этом случае необходимо отрегулировать состав аргонной фракции и увеличить отбор сырого аргона. Когда в результате регулировки уровень жидкости в конденсаторе начнет понижаться, необходимо произвести анализ сырого аргона. По мере повышения содержания аргона в собираемом газе следует уменьшать отбор последнего.

При внезапной остановке аппарата сначала закрывают вентиль подачи кислородной жидкости в конденсатор аргонной колонны, а затем отключают подачу сырого аргона в газгольдер.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как подготавливают к пуску аппарат для получения газообразного кислорода?
2. Как производят пуск аппарата, налаживание нормального режима и обслуживание при установившемся процессе работы?
3. Как производят полный отогрев аппарата?
4. Каков порядок частичных и местных отогревов?
5. Каков порядок промывки аппарата от каустика и масла?
6. Как производят испытание аппарата на герметичность?
7. В каком порядке производят пуск и обслуживание установки для получения жидкого кислорода?
8. Как производят пуск и охлаждение установки с детандером и каким способом осуществляется регулирование рабочего давления воздуха, поступающего в этот аппарат?
9. Какое влияние оказывает производительность кислородного насоса на режим работы кислородного аппарата?

10. Почему рабочее давление в установках с насосом выше, чем в обычных установках, и на что необходимо обращать особое внимание при работе кислородного насоса?
  11. В каком порядке производят подготовку к пуску и пуск установки с регенераторами?
  12. Как обслуживают блок разделения во время установившегося процесса и как регулируют работу регенераторов?
  13. Каков порядок переключения и отогревания основного и детандерного теплообменников, углекислотных фильтров, адсорберов ацетилена, турбодетандера и выносного конденсатора?
  14. В каком порядке производят подготовку к пуску и пуск аргонной колонны?
  15. От чего зависит количество и качество сырого аргона?
-

## ГЛАВА XIII

# КОНТРОЛЬ КИСЛОРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 1. ЗНАЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ЕГО ОРГАНИЗАЦИЯ

Основной задачей обслуживающего персонала кислородной установки является соблюдение наиболее выгодного режима технологического процесса производства, при котором получается максимальный выход кислорода установленного качества при наименьшем расходе электроэнергии и материалов. Контроль за правильным ведением технологического процесса осуществляется при помощи соответствующих контрольно-измерительных приборов.

Своевременный контроль предупреждает возможные отклонения от установленного технологического режима и связанные с ними потери производства, неполадки в работе аппаратов и даже аварии оборудования. Поэтому в химической промышленности вообще и в кислородном производстве в частности очень большое значение имеет вопрос оснащения установок и аппаратуры контрольно-измерительными приборами. Применение этих приборов облегчает обслуживающему персоналу наблюдение за процессами, повышает производительность оборудования и создает условия для безаварийной работы. С этой точки зрения особенно важно применение автоматических контролирующих приборов, которые самостоятельно поддерживают заданный режим производства или включают или выключают в аварийных случаях соответствующее оборудование, предупреждая этим ошибки обслуживающего персонала.

Автоматическое регулирование процессов кислородного производства еще не нашло себе достаточного применения, так как не разработаны промышленные образцы соответствующего контрольного оборудования. Однако над этим вопросом работают наши специалисты, и, несомненно, задача внедрения автоматизации в кислородное производство будет ими успешно разрешена в ближайшее время.

В процессе работы кислородной установки контролю со стороны обслуживающего персонала подлежат следующие основные показатели:

а) количество перерабатываемого воздуха и получаемых кислорода и азота;



б) температура и давление воздуха, кислорода, азота, аммиака, масла, охлаждающей воды;

в) высота уровня жидкости в испарителе и конденсаторах и величина сопротивления отдельных аппаратов установки;

г) чистота получаемого газообразного и жидкого кислорода, отходящего азота; содержание кислорода в жидкости испарителя и в жидком азоте из карманов конденсатора; содержание ацетилен в жидкости испарителя и конденсатора;

д) напряжение, сила тока и расхода электроэнергии;

е) положение маховичков расширительных вентилей.

Количество показателей может быть и больше перечисленного, в зависимости от сложности установки и оснащения ее измерительными приборами. Показания соответствующих приборов и результаты анализов жидкостей и газов записываются аппаратчиком и машинистом в цеховые производственные журналы установленной формы. В эти журналы должны быть записаны также причины и продолжительность остановок аппарата.

В заводской или цеховой лаборатории производятся следующие контрольные анализы:

1) определение содержания ацетилена в жидком кислороде из конденсатора кислородного аппарата и стационарного танка (один раз в сутки);

2) определение содержания углекислоты и влаги в воздухе после осушительных устройств (в конце рабочего периода аппарата);

3) определение степени использования раствора щелочи в декарбонизаторе (1 раз в 2—3 дня в течение первых 6 дней после заливки, а далее ежедневно), а также крепости раствора щелочи, заливаемой в декарбонизатор; эти анализы в ряде случаев производятся не только в лаборатории, но и в цехе аппаратчиками;

4) проверка чистоты кислорода в газгольдере и содержания ацетилена в жидком кислороде из танка;

5) определение давления и чистоты кислорода в наполненных баллонах, взятых на выборку со склада;

6) проверка чистоты кислорода и азота, поступающих из аппарата (1 раз в сутки).

Результаты контрольных анализов записываются в отдельный журнал лаборатории, предъявляемый для просмотра начальнику цеха или главному инженеру завода.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГАЗА

Измерение количества полученного на установке кислорода производят одним из следующих способов:

а) по числу наполненных баллонов;

б) с помощью газового счетчика.

Для измерения расхода воздуха, азота и других газов применяют измерительные диафрагмы или газовые счетчики.

**Учет выработки кислорода по баллонам.** Для определения количества полученного кислорода посредством учета наполненных баллонов необходимо знать объем баллона, давление газа в нем и температуру окружающей среды.

Количество газа в баллоне, приведенное к 1 *ати* и 20°C, подсчитывается по формуле

$$V = v \cdot K (P + 1)$$

где  $V$ —количество газа при 1 *ати* и 20°C, в  $m^3$ ;

$v$ —объем баллона в  $m^3$ ;

$P$ —давление в *ати*;

$K$ —коэффициент для приведения давления газов в баллоне к температуре 20°C.

Коэффициент  $K$  определяется по приведенным ниже данным.

Температура, при которой измеряется давление в баллоне, °C	$K$	Температура, при которой измеряется давление в баллоне, °C	$K$
45	0,921	5	1,054
40	0,936	0	1,073
35	0,951	—5	1,093
30	0,967	—10	1,114
25	0,983	—15	1,136
20	1,0	—20	1,158
15	1,017	—25	1,181
10	1,035	—30	1,205

*Примеры.* 1. Температура кислорода в баллоне емкостью 40 л равна 20°C; давление, измеренное манометром, 150 *ати*:

$$V = 0,04 \cdot 1,0 (150 + 1) = 6,04 m^3$$

2. Температура кислорода в баллоне емкостью 40 л равна —10°C; давление, измеренное манометром, 130 *ати*:

$$V = 0,04 \cdot 1,114 (130 + 1) = 5,84 m^3$$

**Измерительные диафрагмы.** Измерительная диафрагма представляет собой тонкий диск, в середине которого имеется отверстие с острыми краями. В трубопроводе 1 (рис. 103) между двумя фланцами 3 устанавливают диафрагму 2. При прохождении потока газа или жидкости через диафрагму, отверстие которой всегда меньше диаметра трубопровода, поток вещества суживается и давление перед диафрагмой повышается, а за диафрагмой понижается. Чем большее количество газа или жидкости проходит через диафрагму (т. е. чем больше расход вещества), тем больше будет разность давления до и после диафрагмы. Измеряя посредством дифференциального манометра (дифманометра) эту разность давлений, определяют расход газа или жидкости. Количество газа (в  $m^3/сек$ ), протекающего через диафрагму, равно:

$$Q = c \cdot F$$

где  $Q$ —расход газа в  $m^3/сек$ ;

$F$ —площадь сечения диафрагмы в  $m^2$ ;

$c$ —скорость газа в  $m/сек$ .

Скорость газа определяется по формуле

$$c = a \cdot \sqrt{2g \cdot \frac{h}{\gamma}}$$

где  $a$ —коэффициент расхода газа, зависящий от ряда условий и определяемый по таблицам;

$g$ —ускорение силы тяжести, равное  $9,81 \text{ м/сек}^2$ ;

$h$ —разность давлений до и после диафрагмы в  $\text{мм вод. ст.}$ ;

$\gamma$ —удельный вес газа в  $\text{кг/м}^3$ .

Обычно для каждой диафрагмы и измеряемого газа вычерчивают кривые (графики), по которым сразу определяют расход газа в  $\text{м}^3/\text{сек}$  или  $\text{м}^3/\text{час}$ , соответствующий замеренной разности давлений у диафрагмы. Иногда шкалу дифманометра 5 (см. рис. 103)

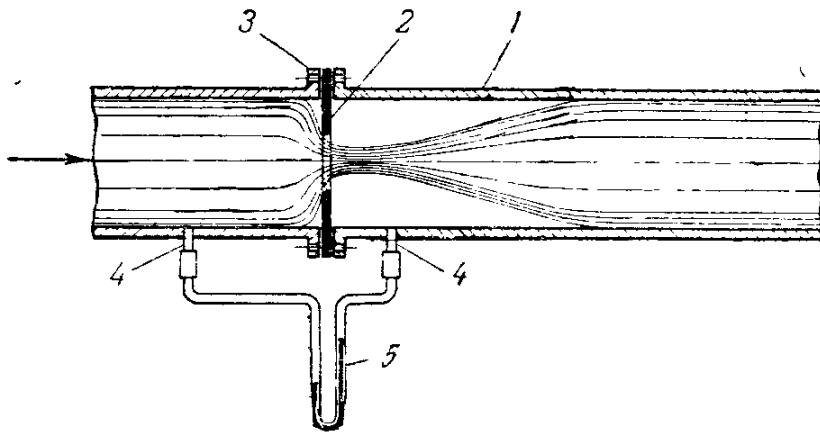


Рис. 103. Измерительная диафрагма:

1—трубопровод; 2—диафрагма; 3—фланцы; 4—трубки;  
5—дифманометр.

наносят не в  $\text{мм вод. ст.}$ , а сразу обозначают на ней соответствующий расход газа в  $\text{м}^3/\text{час}$ , что еще более упрощает пользование диафрагмой. Точность измерения расхода газа диафрагмами составляет  $\pm 3\%$  при условии, что перепад давления газа в диафрагме равняется приблизительно  $200 \text{ мм вод. ст.}$ , а отношение диаметра отверстия диафрагмы к внутреннему диаметру трубопровода лежит в пределах от  $1 : 2$  до  $1 : 2,5$ .

Диафрагму устанавливают таким образом, чтобы ее острый край располагался со стороны подвода к ней газа. До и после диафрагмы должны находиться прямолинейные участки трубопровода длиной не менее  $1 \text{ м}$ .

Места присоединения диафрагмы к трубопроводу, а также трубок к дифманометру должны быть абсолютно герметичными, так как даже самый маленький пропуск оказывает значительное влияние на точность измерений.

**Газовые счетчики (расходомеры).** Принцип действия диафрагмы использован при устройстве контрольных приборов, называемых *расходомерами* и применяемых для измерения расхода газов в установках. Наиболее распространенным типом этих

приборов являются «кольцевые весы» (рис. 104). Они состоят из полого кольца 1, заполненного наполовину маслом, водой или ртутью. Кольцо свободно вращается на оси 2. В верхней части кольца имеется перегородка 3, разделяющая незаполненную мас-

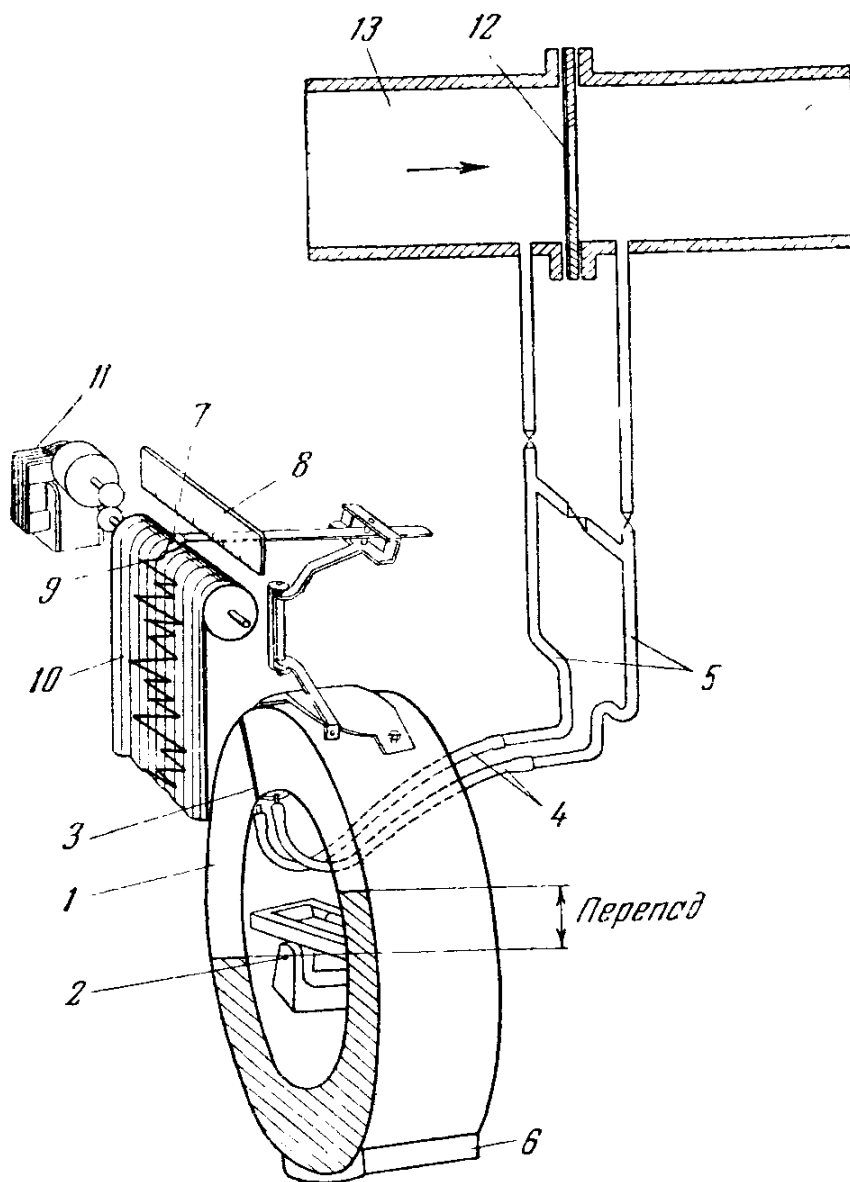


Рис. 104. Схема расходомера «кольцевые весы».

1—полое кольцо; 2—ось кольца; 3—перегородка; 4—гибкие трубки; 5—трубки; 6—груз; 7—стрелка; 8—шкала; 9—перо; 10—бумажная лента; 11—часовой механизм; 12—диафрагма; 13—трубопровод.

лом часть кольца на два отсека. С помощью трубок 4 и 5 отсеки соединены с пространством до и после диафрагмы 12, которая создает перепад давления в трубопроводе 13. Вследствие разности давлений по обеим сторонам перегородки 3 заполняющая кольцо жидкость перемещается в ту сторону, где имеется более низкое давление. При этом кольцо будет поворачиваться на оси 2 до тех пор, пока не уравнивается грузом 6. Чем больше расход газа, тем выше перепад давления в диафрагме и тем больше угол поворота кольца. С кольцом связана стрелка 7, которая движется

по шкале 8 и указывает расход газа в  $м^3/час$  или  $м^3/мин.$  Перо 9 записывает показания счетчика на бумажной ленте 10, перемещающейся посредством часового механизма 11.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Для измерения давления применяются манометры с трубчатыми пружинами (рис. 105). Пружина манометра представляет собой стальную изогнутую трубку 1 овального сечения. Для кислородных манометров трубка делается из латуни. Один конец трубки впаян в штуцер 2, присоединяемый к сосуду, в котором измеряется давление. Второй конец трубки запаян наглухо и

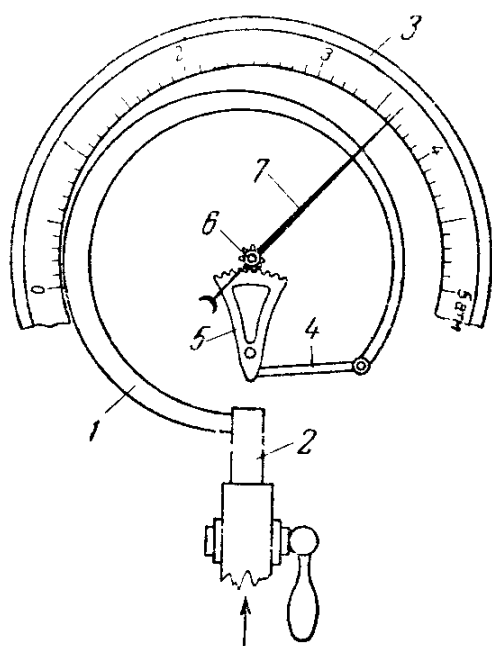


Рис. 105. Схема пружинного манометра:

1—пружина трубчатая; 2—штуцер;  
3—шкала; 4—рычаг; 5—зубчатый сектор; 6—шестеренка; 7—стрелка.

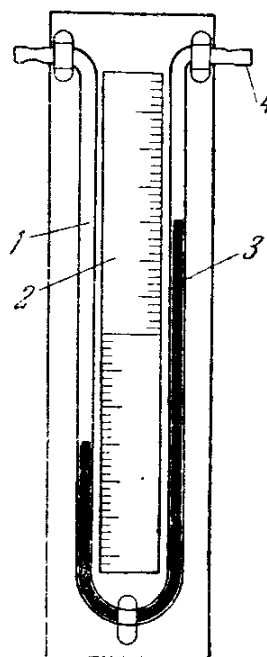


Рис. 106. U-образный манометр:

1—стеклянная трубка; 2—шкала; 3—вода или ртуть;  
4—отросток для присоединения резиновой трубки.

соединен посредством рычага 4, зубчатого сектора 5 и шестеренки 6 со стрелкой 7. Чем выше давление газа, тем больше стремится разогнуться трубка 1 и тем сильнее отклоняется стрелка в правую сторону, указывая при этом на шкале 3 манометра соответствующее давление. В зависимости от величины измеряемого давления манометры кислородных установок имеют шкалы на максимальное давление от 1 до 300 *ати*.

Для измерения небольшого давления, а также для определения разности давлений в диафрагмах или при измерении сопротивления отдельных аппаратов применяют U-образные манометры (рис. 106). Они представляют собой изогнутую стек-

лянную трубку 1, укрепленную на доске рядом со шкалой 2 и заполненную жидкостью 3 (подкрашенной водой или ртутью). При измерении давления один из отростков 4 стеклянной трубки посредством резинового шланга соединяют с пространством, где измеряется давление, а второй оставляют открытым. При измерении разности давлений к соответствующим точкам аппарата присоединяют оба конца стеклянной трубки.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Контроль за температурой в различных частях установки имеет важное значение для регулирования процесса получения кислорода.

В зависимости от пределов измеряемой температуры и доступности мест замеров применяют различные термометрические приборы.

**Жидкостные термометры.** Положительные температуры, а также температуры до минус 20°C измеряют обычными ртутными термометрами, если места замеров удобны для наблюдений и позволяют установить термометр. Более низкие температуры можно измерять также жидкостными термометрами, но наполненными не ртутью, а спиртом или пентаном\*.

Однако в современных, особенно в крупных, установках, оснащаемых значительным количеством контрольно-измерительной аппаратуры, пользоваться обычными термометрами неудобно, а иногда и просто невозможно. В таких установках, в частности для измерения низкой температуры, применяют термопары или электрические термометры сопротивления.

**Термопары.** Устройство термопары основано на том, что если спаять две проволоки из разных металлов, то в месте спая, при охлаждении или нагревании его, возникает электрический ток. Это легко обнаружить, подключив два других конца проволоки к чувствительному прибору для измерения электрического тока—гальванометру. Такие две проволоки из разных металлов, спаянные вместе, и называются термопарой. Схема термопары показана на рис. 107.

Обычно для измерения низких температур применяют термопары, изготовленные из медной и константановой проволок и имеющие два спая. Один спай помещается в то место, где измеряется температура, а другой—в сосуд со льдом. Термопары с двумя спаями называются разностными, так как они измеряют разность между температурой таяния льда 0°C и измеряемой температурой. Термопара градуируется в пределах той температуры, для измерения которой она предназначена. Шкала гальванометра градуируется по стоградусной шкале или в миллиамперах. В последнем случае для определения температуры пользуются гра-

---

\* Пентан—жидкий углеводород, получаемый из нефти.

фиками, с помощью которых показания стрелки гальванометра переводятся в градусы. Хотя терморезисторы и удобны для измерения температуры в трудно доступных местах аппаратов, но они не всегда дают точные показания. Пример применения терморезистора показан далее на рис. 121.

**Термометры сопротивления.** Эти приборы являются наиболее широко распространенными для измерения низкой температуры. Действие термометров сопротивления основано на свойстве металлических проводников изменять свое сопротивление прохождению электрического тока в зависимости от изменения температуры данного проводника. При повышении температуры проводника его сопротивление возрастает, а при понижении падает. Измеряя электрическое сопротивление проводника, можно определить его температуру, а следовательно, и температуру той среды, в которую помещен данный проводник. Термометры сопротивления являются очень точными приборами, в чем и состоит их основное преимущество перед терморезисторами.

Для измерения величины сопротивления применяют специальные приборы, называемые *логометрами* или *омметрами*. Они изготавливаются в виде указывающих или регистрирующих приборов и соединяются с термометрами сопротивления проводниками через переключатель.

Термометр сопротивления представляет собой катушку из тонкой (диаметром 0,05—0,07 мм) платиновой или медной изолированной проволоки, намотанной на стержень или полоску из изоляционного материала (слюды, кварцевого стекла); катушка укреплена на соответствующем каркасе. От проволоки катушки сделаны отводы для соединения с проводниками логометра. Термометры сопротивления с медной спиралью применяют для температуры от  $+150^{\circ}$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ , а с платиновой—для температуры ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Логометр состоит из постоянного магнита и двух рамок с обмотками; к рамкам, жестко связанным между собой, прикреплена стрелка. При охлаждении сопротивление катушки уменьшается и равенство сопротивлений в обмотках рамок нарушается. Вследствие этого по обмотке одной из рамок пойдет более сильный ток, чем по другой, и рамки повернутся на некоторый угол. Вместе с ними повернется и стрелка, указывая при этом на шкале прибора деление, соответствующее той

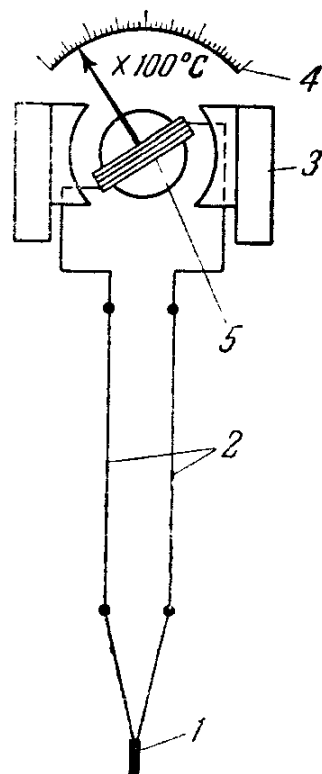


Рис. 107. Схема терморезистора:

1—спай терморезистора; 2—провода; 3—постоянный магнит гальванометра; 4—шкала гальванометра; 5—нижняя рамка сердечника гальванометра с катушкой.

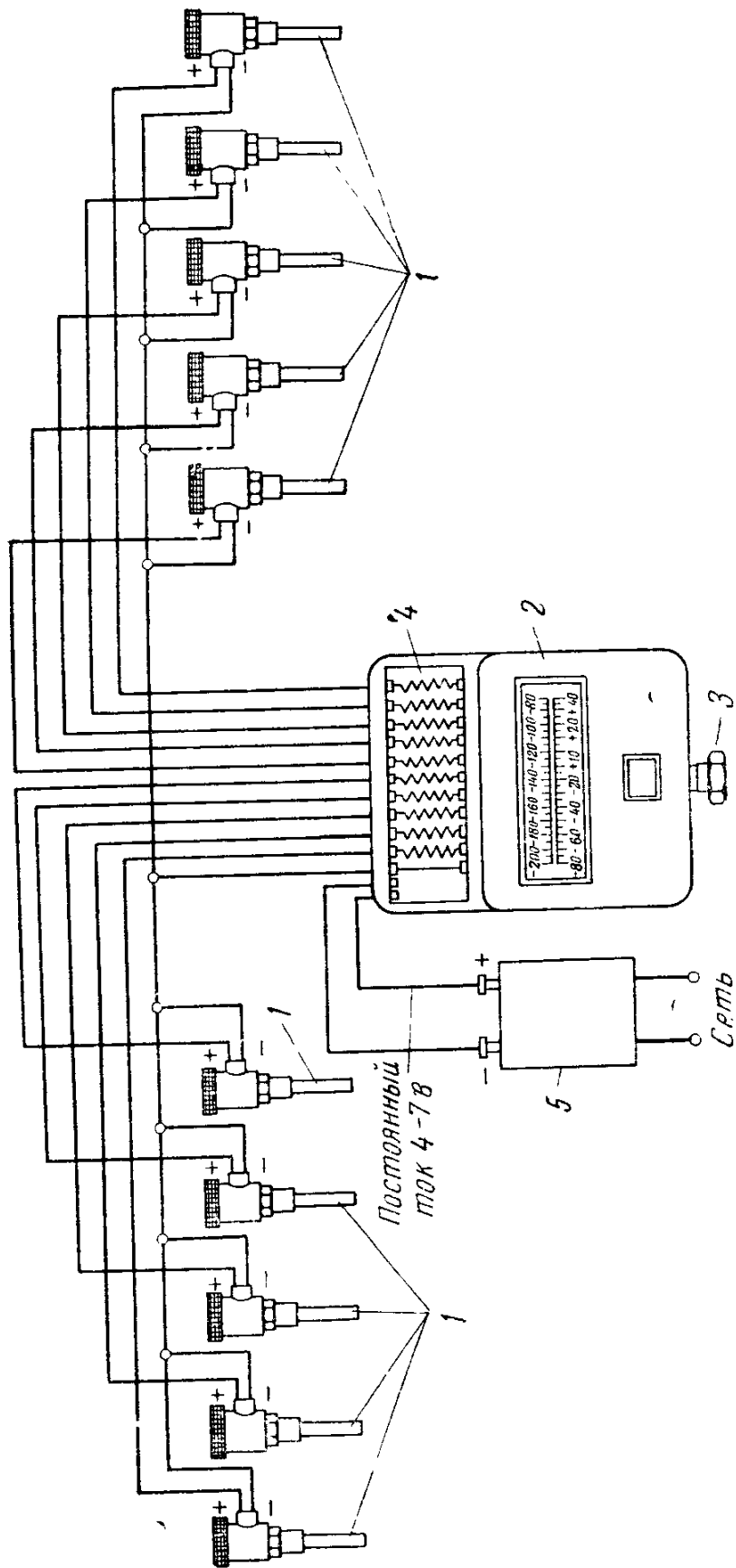


Рис. 108. Схема установки термометров сопротивления и логометра:  
 1 — термометры сопротивления; 2 — логометр; 3 — переключатель; 4 — уравнительные сопротивления; 5 — выпрямитель для переменного тока.



температуре, при которой находится в данный момент термометр сопротивления. Если стрелку соединить с пером, около которого движется бумажная лента, то перо вычертит на ней диаграмму изменения температуры в данной точке аппарата в зависимости от времени.

На кислородной установке обычно устанавливают один логометр и несколько термометров сопротивления (до 20—25 шт.), соединенных с логометром проводами через переключатель. На рис. 108 показана схема установки термометров сопротивления и логометра.

Когда нужно замерить температуру в данной точке, поворачивают ручку переключателя в соответствующее положение, и стрелка логометра показывает температуру газа или жидкости в этой точке.

**Термоманометры.** Термоманометры применяют при измерении низких температур в пределах от  $-183^{\circ}$  до  $-143^{\circ}$  ( $90-130^{\circ}\text{K}$ ). Измерение температуры этим прибором основано на уменьшении давления газа при охлаждении его в трубке постоянного объема. Термоманометр (рис. 109) состоит из точного (контрольного) пружинного манометра 1. Деления шкалы 2 этого манометра выражены в градусах Кельвина. В штуцер манометра впаяна длинная трубка 3 из отожженной красной меди. Наружный диаметр трубки равняется 3 мм, внутренний—2 мм. Второй конец трубки впаян в полу латунную гильзу 4. Трубку, гильзу и пружину манометра через отросток 5 заполняют чистым сухим кислородом при давлении 50 *ати* и температуре  $30^{\circ}\text{C}$ , после чего отросток запаивают. Гильзу 4 помещают в то место аппарата, где замеряется температура (например, в трубопровод до и после турбодетандера). Манометр 1 устанавливают снаружи кожуха, на щите блока разделения. При охлаждении гильзы находящийся в ней кислород также охладится и при этом объем его уменьшится. Иногда кислород при охлаждении гильзы переходит частично в жидкое состояние. В связи с охлаждением давление газа в трубке 3 понизится и стрелка 6 продвинется влево. При нагревании гильзы давление кислорода в ней возрастет и стрелка 6 пойдет вправо.

Зависимость изменения давления кислорода от температуры выражается следующими данными:

Температура, $^{\circ}\text{K}$	90	95	100	105	110	120	130
Давление, <i>ати</i>	0	0,61	1,55	2,8	4,49	9,45	17,0

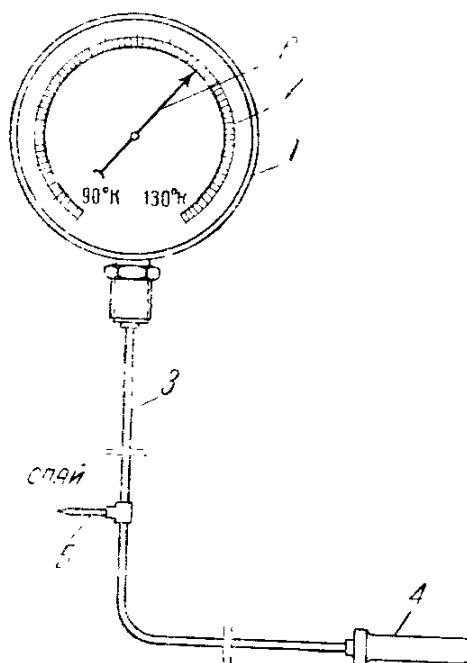


Рис. 109. Термоманометр:

1—контрольный манометр;  
2—шкала; 3—трубка;  
4—латунная гильза; 5—отросток.

Для правильной работы термоманометра необходима полная герметичность его соединений, так как малейший пропуск в трубке или местах пайки выводит прибор из строя.

### 5. КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

В кислородном аппарате необходимо поддерживать установленные уровни жидкости в сосуде испарителя нижней колонны и в конденсаторе. Уровень жидкости в конденсаторе определяет рабочую поверхность теплообмена. Следовательно, от него зависит количество паров кислорода и количество жидкого азота, поступающих на ректификацию. По уровню жидкости в конденсаторе судят также о запасе холода в аппарате и регулируют холодильный цикл установки. Повышение уровня жидкости в конденсаторе указывает на избыток, а понижение — на недостаток холода в аппарате. Кроме того, указатели уровня необходимы для измерения количества жидкого кислорода в танках, цистернах и холодных газификаторах.

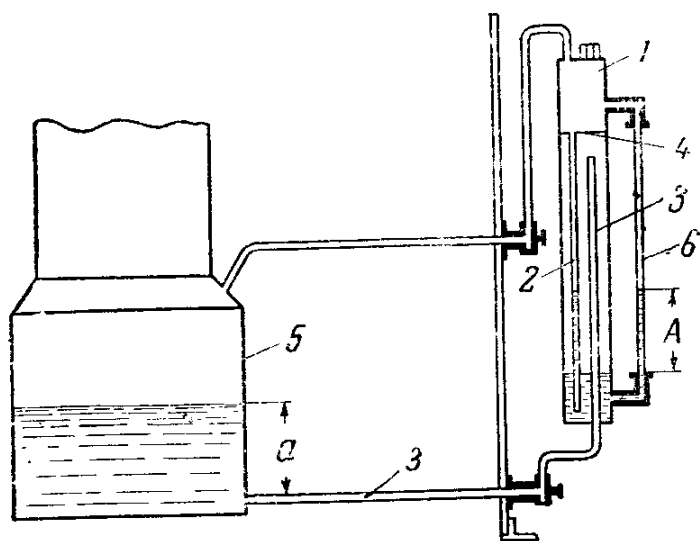


Рис. 110. Схема действия жидкостного указателя уровня:

1—корпус; 2, 3—трубки; 4—перегородка; 5—резервуар; 6—водомерное стекло.

Жидкостные указатели. Указатели данного типа имеют в настоящее время наиболее широкое применение, хотя и не являются достаточно совершенными приборами. Это объясняется тем, что до сих пор еще не удалось раз-

работать тип указателя, который полностью удовлетворял бы всем предъявляемым к нему требованиям и вместе с тем был бы дешев и прост в изготовлении и надежен в эксплуатации.

Работа жидкостного указателя основана на принципе сообщающихся сосудов. Схема действия жидкостного указателя уровня показана на рис. 110. Он состоит из корпуса 1, в который вставлены две трубки 2 и 3. Корпус разделен перегородкой 4 на две части: нижнюю и верхнюю. Трубка 2 соединена с верхней частью корпуса 1 и через нее с газовым пространством резервуара 5, в котором определяется уровень низкотемпературной жидкости; трубка 3 через нижнюю часть корпуса 1 соединена с нижней частью резервуара 5. Корпус 1 и трубки 2 и 3 наполнены подкрашенной всдой; сбоку имеется водомерное стекло 6. Вода в трубке 2 и водомерном стекле 6 по закону сообщающихся сосудов будет стоять на одной и той же высоте А.

Жидкостный указатель уровня является прибором дистанционного\* действия и работает следующим образом. Низкотемпературная жидкость, проходя из резервуара 5 по трубке 3 в корпус 1, испаряется. Образующийся пар создает в нижней части корпуса 1 давление, которое будет равно давлению столба  $a$  низкотемпературной жидкости в резервуаре 5. Давление пара не может быть выше давления столба  $a$ , так как в этом случае избыток пара выйдет пузырьками через слой жидкости в резервуаре. Этим давлением часть воды из корпуса 1 вытеснится в трубку 2 и водомерное стекло 6 и установится на высоте  $A$ . Таким образом высота  $A$  уровня будет пропорциональна высоте  $a$  слоя жидкости в резервуаре 5. Если бы удельные веса жидкостей в резервуаре и в корпусе 1 были равны, то  $A=a$ . Во всех остальных случаях высота столба будет больше у той жидкости, удельный вес которой меньше. При наполнении указателя водой ее уровень  $A$  будет больше уровня  $a$ , так как удельный вес воды ниже удельных весов жидкого воздуха, кислорода или азота. При изменении высоты  $a$  слоя жидкости в резервуаре 5 будет соответственно изменяться и высота  $A$  столбика воды в указателе.

Чтобы указатель уровня работал правильно, все его соединения и трубки должны быть абсолютно герметичными. Указатель уровня снабжается шкалой с делениями 1 см. На шкале указателей танков для жидкого кислорода деления нанесены в куб. метрах и показывают количество жидкости, пересчитанное на соответствующий ей объем газа, приведенный к 20°C и 1 *атм*. На рис. 111 показана конструкция указателя уровня и дано обозначение основных частей.

В табл. 19 приведены основные неисправности, возникающие при работе указателей уровня описанного типа, их причины и способы устранения.

Для возможности включения и выключения указателя во время работы он снабжается двумя запорными вентилями. Включение указателя при работающем аппарате производят путем медленного открывания сначала верхнего, а затем нижнего запорных вентилях.

При выключении указателя закрывание вентилях производят в обратном порядке.

**Мембранные указатели.** В современных конструкциях стационарных и передвижных цистерн (танков) применяют, помимо жидкостных, еще и мембранные указатели уровня жидкого кислорода.

Эти приборы также являются приборами дистанционного типа, и действие их основано на принципе измерения высоты столба жидкости (жидкого кислорода) в цистерне. Разность

---

\* Дистанционным называется прибор, передающий свои показания на расстояние.

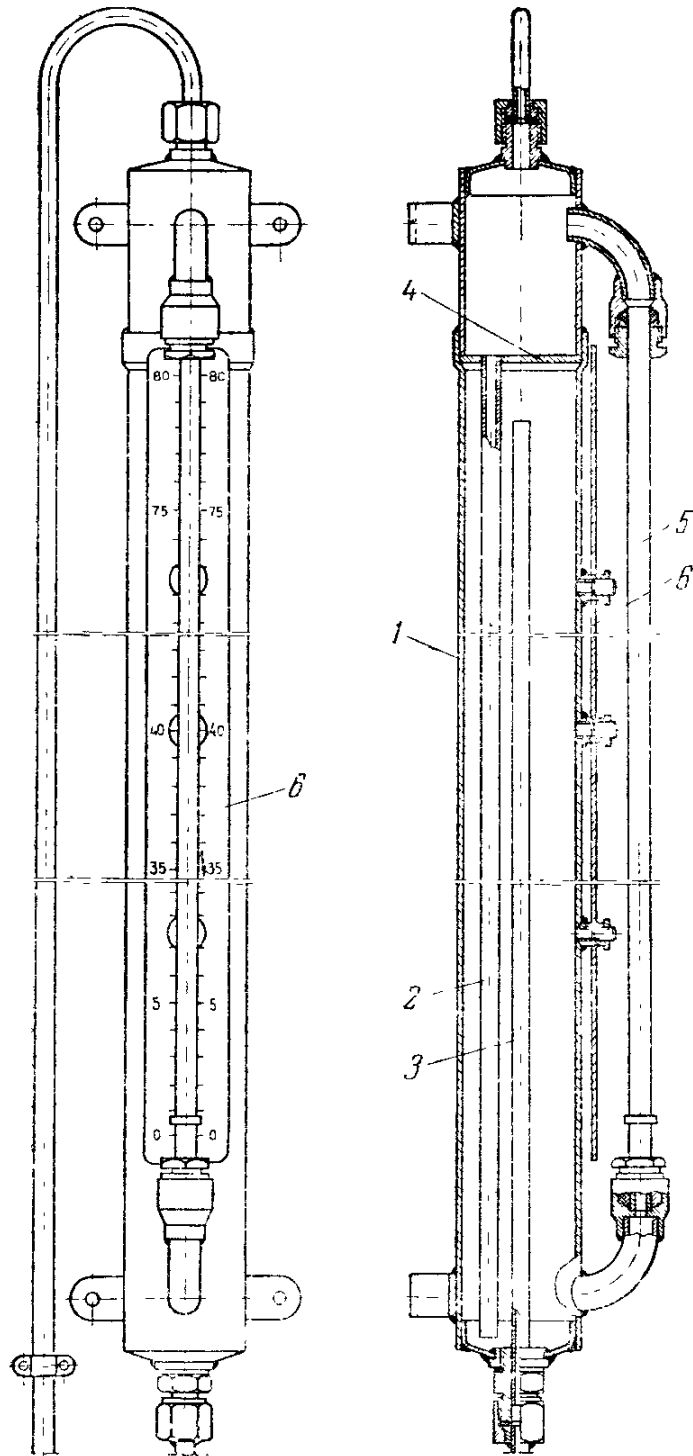


Рис. 111. Жидкостный указатель уровня:  
 1—корпус; 2, 3—трубки; 4—перегородка; 5—во-  
 домерное стекло; 6—плава.

## Неисправности указателя уровня жидкости, причины их и способы устранения

Неисправность	Причина	Способ устранения
<p>В поднимающейся в водомерном стекле жидкости содержатся воздушные пузырьки</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Негерметичность соединений в верхней части указателя</li> <li>2. Закупорка верхней подводящей трубки указателя вследствие попадания влаги или углекислоты в холодную часть трубки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Найти негерметичное место с помощью мыльной воды и устранить пропуск. При сильном пропуске отключить указатель от аппарата</li> <li>2. Отключить указатель и продуть трубку сухим азотом или воздухом из баллона через редуктор</li> </ol>
<p>Проскакивание отдельных пузырьков газа через жидкость в стекле указателя</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаток воды в указателе</li> <li>2. Переполнение жидкостью конденсатора или испарителя аппарата</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Добавить в указатель воды</li> <li>2. Слить избыток жидкости из аппарата и принять меры к уменьшению ее накопления</li> </ol>
<p>Жидкость в водомерном стекле не поднимается или поднимается слишком медленно</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Негерметичность в нижней части указателя</li> <li>2. Пропуск газа между верхним и нижним пространством указателя</li> <li>3. Закупорка нижней подводящей трубки указателя углекислотой или льдом</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отключить указатель и устранить пропуск</li> <li>2. Снять указатель, распаять его и устранить пропуск</li> <li>3. Отключить указатель и продуть трубку сухим воздухом или азотом из баллона через редуктор. В случае необходимости — попытаться отогреть ее при первой возможности</li> </ol>
<p>Поломка водомерного стекла</p>		<p>Немедленно отключить указатель и заменить стекло новым</p>

давлений, определяемая высотой столба жидкого кислорода, воздействует на мембранную коробку, крышка которой при этом прогибается. Величина прогиба передается стрелке, указывающей на циферблате прибора количество жидкого кислорода в цистерне, выраженное в килограммах.

Схема мембранного указателя уровня изображена на рис. 112. Пусть уровень жидкости в цистерне 1 имеет высоту  $A$ . Герметически закрытый корпус 2 прибора соединен с верхней частью

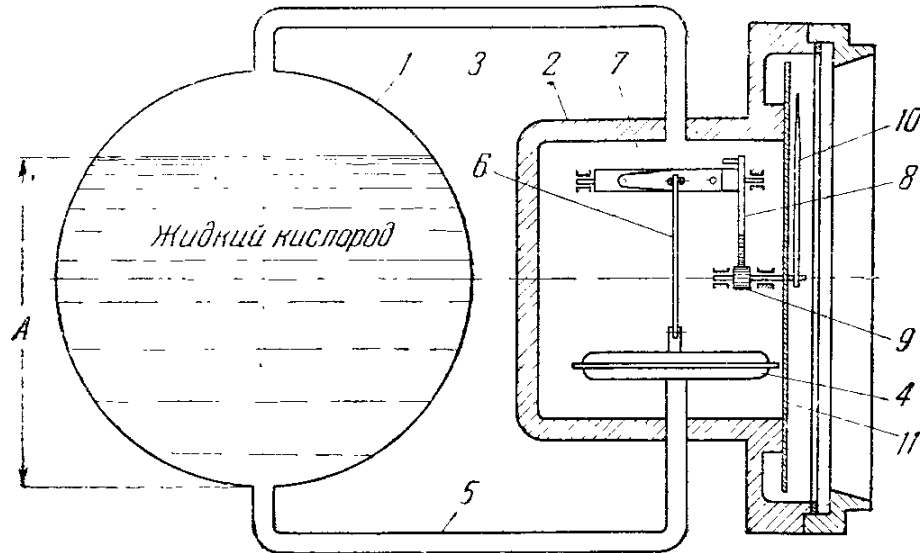


Рис. 112. Схема мембранного указателя уровня жидкости:

1—цистерна; 2—корпус; 3—верхняя трубка; 4—мембранная коробка; 5—нижняя трубка; 6—тяга; 7—ось; 8—сектор; 9—шестерня; 10—стрелка; 11—шкала.

цистерны трубкой 3. Внутренняя часть мембранной коробки 4 прибора соединена трубкой 5 с нижней частью цистерны. Давление внутри мембранной коробки 4 всегда будет больше давления в корпусе 2 на величину давления столба  $A$  жидкости в цистерне. Под действием этой разности давлений верхняя стенка коробки будет выгибаться вверх. При изменении высоты  $A$  столба жидкости соответственно изменится и разность давлений в коробке 4 и корпусе 2, а следовательно, и величина прогиба крышки коробки 4. Чем выше уровень жидкости в цистерне, тем больше прогиб коробки прибора.

Крышка коробки посредством тяги 6 соединена с осью 7, на которой укреплен зубчатый сектор 8. Этот сектор сцеплен с шестерней 9, на оси которой находится стрелка 10. Когда высота  $A$  уровня жидкости увеличивается, крышка мембранной коробки 4 выгибается вверх и, поворачивая ось 7 с сектором 8, вращает шестерню 9. При этом стрелка 10 отклоняется вправо, показывая на шкале 11 количество килограммов жидкости в цистерне, соответствующее данной высоте столба  $A$  жидкого кислорода. Каждое деление на шкале соответствует 100 кг.

## 6. АНАЛИЗЫ ГАЗОВ

**Определение чистоты кислорода.** Этот анализ производят 1 раз в час, а при наладке режима аппарата и более часто. Для анализа используют прибор, изображенный на рис. 113. Он состоит из стеклянной пипетки 1, соединенной с шаром 2. Пипетка заполнена спиралью из проволоки красной меди диаметром 0,8 мм. Длина спиралей составляет 10 мм, а диаметр 5 мм. В пипетку наливают раствор хлористого аммония и аммиака. Для приготовления этого раствора 750 г хлористого аммония (нашатыря) растворяют в смеси, составленной из 1 л дистиллированной воды и 1 л 18%-ного раствора аммиака (нашатырный спирт). Пипетка 1 посредством капиллярной трубки 3 соединена с измерительной бюреткой 4, имеющей трехходовой кран 5. Объем бюретки равен 100 см<sup>3</sup>. Последние 5 см<sup>3</sup> верхней части бюретки имеют деления, равные 0,1 см<sup>3</sup>; деления остальной части бюретки равны 1 см<sup>3</sup>.

Начиная анализ газа, трехходовой кран ставят в положение, при котором отросток 6 крана соединяет бюретку с атмосферой. Затем в уравнительный сосуд 7, соединенный с бюреткой резиновой трубкой 8, наливают подкисленную дистиллированную воду. Поднимая уравнительный сосуд, заполняют бюретку водой до трехходового крана, после чего присоединяют к отростку 6 резиновую трубку, подводящую подвергаемый анализу кислород и, опуская сосуд 7, заполняют бюретку кислородом до уровня, отмеченного цифрой 0. При помощи крана 5 сообщают бюретку с трубкой 3 и, поднимая сосуд 7, вытесняют кислород из бюретки в пипетку 1, после чего кран 5 закрывают. Для лучшего поглощения кислорода пипетку 1 встряхивают.

Спустя несколько минут кран 5 открывают и, опуская сосуд 7, переводят остаток газа снова в бюретку 4, приводя уровни

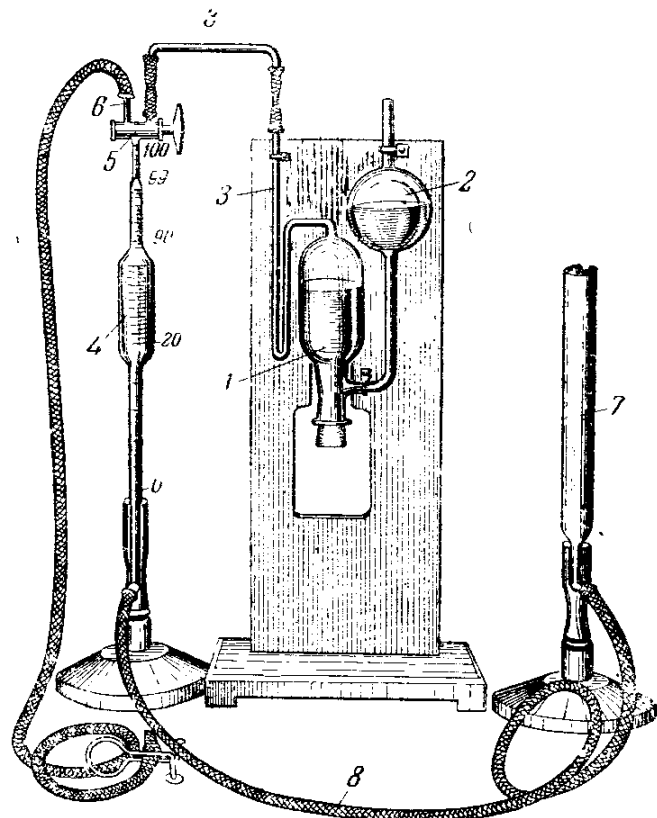


Рис. 113. Прибор для определения чистоты кислорода:

1 — пипетка; 2 — шар; 3 — капилляр;  
4 — измерительная бюретка; 5 — трех-  
ходовой кран; 6 — отросток крана; 7 —  
уравнительный сосуд; 8 — резиновая  
трубка.

воды в бюретке и сосуде 7 к одной высоте. Если при этом уровень воды в бюретке установится, например, на делении 99, то это значит, что  $99 \text{ см}^3$  из  $100 \text{ см}^3$ , взятых для анализа, занимал кислород, который оказался поглощенным раствором хлористой меди, находящимся в пипетке 1. Следовательно, чистота подвергнувшегося анализу кислорода равна 99%. Остаток приходится на долю главным образом азота, содержащегося в кислороде.

Для проверки результатов анализа оставшийся газ еще раз вытесняют в пипетку, снова встряхивают ее и, перепустив остаток газа обратно в бюретку, производят вторичный отсчет. Если результаты обоих отсчетов отличаются не более чем на

0,01%, то анализ был произведен правильно. В противном случае его следует повторить. Раствор в пипетке следует менять примерно после каждых 60 анализов.

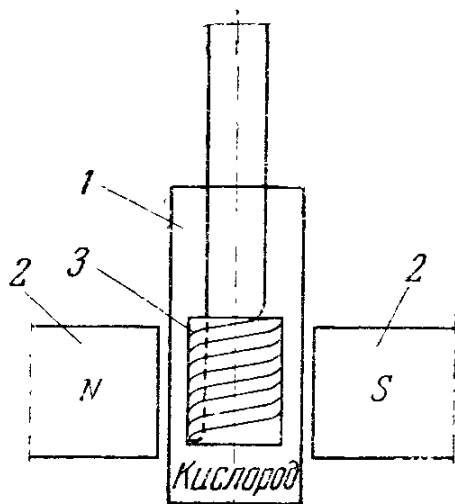


Рис. 114. Принцип действия магнитного кислородного газоанализатора:

1—камера; 2—магнитные полюсы;  
3—электрическая спираль.

азота, водорода и других газов. Если кислород подвергнуть действию сильного магнитного поля, то его молекулы намагничиваются и начинают притягиваться магнитом. На магнитную восприимчивость кислорода сильное влияние оказывает температура. С повышением температуры способность кислорода намагничиваться резко падает.

Принцип действия магнитного газоанализатора для кислорода можно понять из схемы рис. 114. Пусть камера 1 заполнена кислородом и расположена между магнитными полюсами 2. В камере помещена нагревательная спираль 3 из платиновой проволоки диаметром 0,05 мм. Сопротивление проволоки предварительно точно измерено. Под действием магнитного поля более холодные молекулы кислорода, находящиеся у стенок камеры, начинают притягиваться к магниту. Молекулы газа, располагающиеся около спирали, как более нагретые, намагничиваются меньше, теряют свои магнитные свойства и выталкиваются из магнитного поля более холодными частицами газа. В результате этого около поверхности спирали образуется непрерывный поток газа, охлаждающий нагревательный элемент. Степень охлажде-



ния можно определить по уменьшению сопротивления спирали: чем сильнее поток газа, тем больше охлаждается спираль и тем ниже будет ее сопротивление. Если взять не чистый кислород, а смесь кислорода и азота, то поскольку лишь один кислород обладает магнитными свойствами, интенсивность движения газа в камере будет зависеть только от содержания в смеси кислорода. Чем больше в ней кислорода, тем сильнее будет циркуляция газа в камере 1 и тем меньше будет сопротивление спирали 3.

Газоанализатор (рис. 115) представляет собой латунный корпус 1 с двумя камерами 2 и 3, в которых помещено по одному одинаковому нагревательному элементу 4 и 5. Камера 2 расположена в магнитном поле между двумя башмаками магнита 6 и называется измерительной камерой. Камера 3 лежит вне магнитного поля и называется сравнительной камерой. Анализируемый газ попадает в камеры 2 и 3 через отверстие 7 и промежуточную камеру 8. В зависимости от содержания кислорода в газе сопротивление спирали 4 уменьшается или увеличивается, в то время как сопротивление спирали 5 остается постоянным. Чем больше разность сопротивлений в спиральях, тем, следовательно, выше содержание кислорода в газе.

Газоанализатор включен в электрическую схему, изображенную на рис. 116, на котором также приведены обозначения отдельных частей схемы. Стрелка измерительного прибора 6 указывает процентное содержание кислорода в анализируемой смеси.

Магнитный газоанализатор позволяет производить непрерывный автоматический контроль чистоты получаемого кислорода, с использованием самопишущего регистрирующего прибора, что облегчает задачу автоматизации управления процессом работы кислородного аппарата.

**Определение чистоты азота.** Анализ азота так же, как и кислорода, делают не реже 1 раза в час. Для определения чистоты азота применяют прибор подобный тому, который используют при анализе кислорода. Отличие заключается лишь в том, что бюретка этого прибора имеет несколько иную форму, указанную на рис. 117 и 118. Емкость бюретки равна  $100 \text{ см}^3$ . Нижняя, более уз-

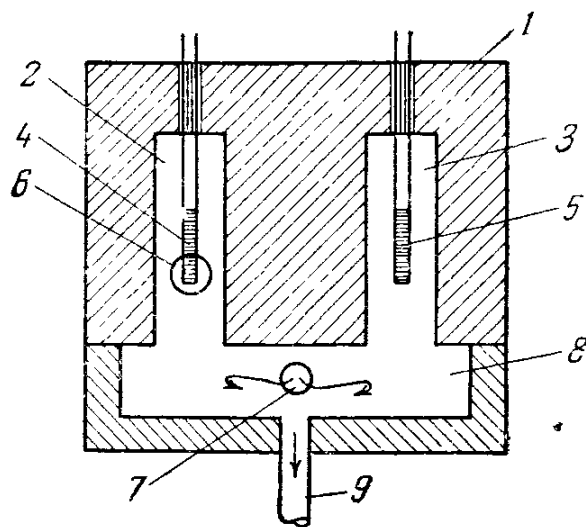


Рис. 115. Схема магнитного кислородного газоанализатора:

1—латунный корпус; 2—измерительная камера; 3—сравнительная камера; 4, 5—нагревательные элементы в измерительной и сравнительной камерах; 6—полюсной наконечник магнита; 7—вход анализируемого газа; 8—камера для приема анализируемого газа; 9—выход анализируемого газа.

кая, часть имеет объем  $10 \text{ см}^3$  и деления  $0,1 \text{ см}^3$ . Кроме того, для поглощения небольших количеств кислорода, которые содержатся в азоте, пользуются щелочным раствором пирогаллола или желтым фосфором.

Приготовление раствора пирогаллола производят следующим образом. При нагревании растворяют отдельно  $44 \text{ г}$  пирогаллоловой кислоты в  $100 \text{ см}^3$  воды и  $76 \text{ г}$  едкого калия в  $180 \text{ см}^3$

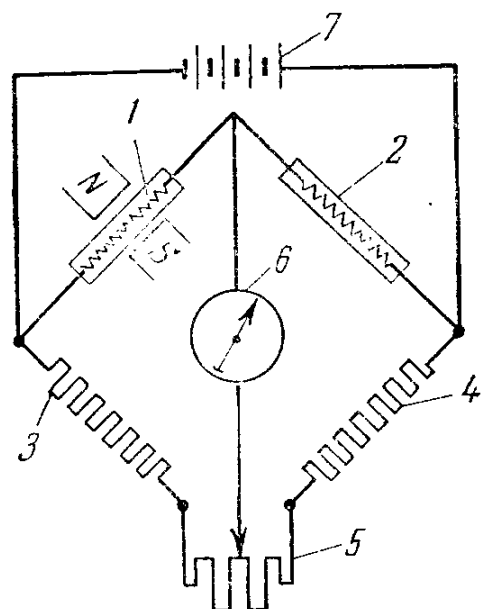


Рис. 116. Электрическая схема магнитного кислородного газоанализатора:

1, 2—нагревательные элементы в измерительной и сравнительной камерах; 3, 4—уравнительные сопротивления; 5—реостат для установки равновесия схемы; 6—измерительный прибор; 7—источник постоянного тока (аккумулятор, сухой элемент и т. п.).

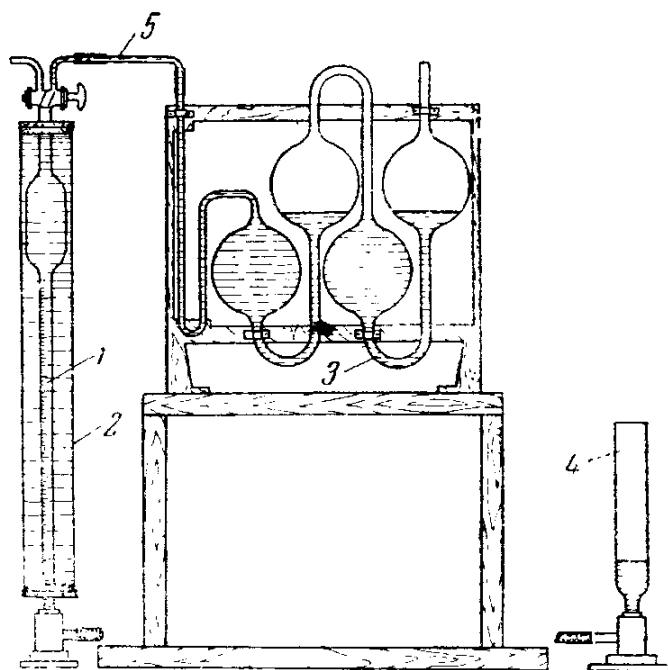


Рис. 117. Прибор для определения содержания кислорода в техническом азоте при помощи раствора пирогаллола или гидросульфита натрия:

1—бюретка; 2—водяная рубашка; 3—четырёхшариковая пипетка; 4—уравнительный сосуд; 5—кашалярная трубка.

воды. Затем обе жидкости смешивают и полученным раствором быстро заполняют пипетку. В закрытом сосуде приготовленный таким образом раствор пирогаллола можно хранить в течение нескольких месяцев. Вместо щелочного раствора пирогаллола можно пользоваться щелочным раствором гидросульфита натрия, приготовленным следующим образом.  $142,9 \text{ г}$  едкого калия растворяют в  $1 \text{ л}$  воды; перед наполнением пипетки  $200 \text{ см}^3$  этого раствора нагревают в колбе до  $30\text{—}35^\circ$  добавляют к нему  $57,2 \text{ г}$  гидросульфита натрия и заливают раствор слоем вазелинового или парафинового масла для защиты от воздуха. После растворения гидросульфита готовый раствор отбирают пипеткой и переносят в четырехшариковую пипетку прибора. Раствор годен в течение 3 суток.

Порядок производства анализа тот же, что и при определении чистоты кислорода. Смену раствора пирогаллола производят после каждых 150 анализов.

При использовании в качестве поглотителя кислорода желтого фосфора применяют прибор, изображенный на рис. 118, который работает так же, как и описанные выше приборы для анализа азота и кислорода. Отличие, как это видно из чертежа, состоит лишь в устройстве поглотительной части прибора. При соприкосновении с атмосферным воздухом желтый фосфор воспламеняется, поэтому при работе с ним нужно проявлять особую осторожность: держать фосфор все время под водой и остерегаться разбить прибор, так как это может вызвать загорание находящегося в нем фосфора.

**Определение вредных примесей в медицинском кислороде.** Определение примесей производят в склянках для промывания газа. При каждом определении трубку склянки, предназначенную для ввода газа, соединяют с резиновой трубкой, идущей от редукционного вентиля баллона с кислородом. Трубку склянки для выхода газа присоединяют к счетчику, учитывающему количество пропущенного кислорода. Пропускание кислорода ведут со скоростью, не превышающей 4 л/час. Перед наливанием в склянку поглотительного раствора из нее предварительно при помощи струи кислорода вытесняют воздух. Резиновая трубка, по которой подводится кислород в склянку, должна быть также продута сильной струей кислорода.

**Определение окиси углерода.** 2 л кислорода пропускают через промывную склянку, содержащую слабо нагретый аммиачный раствор азотнокислого серебра. Раствор должен оставаться бесцветным и прозрачным, что указывает на отсутствие окиси углерода. Аммиачный раствор азотнокислого серебра готовят следующим образом. 5 г азотнокислого серебра взвешивают с точностью до 0,001 г и растворяют в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. К раствору приливают по каплям при постоянном помешивании

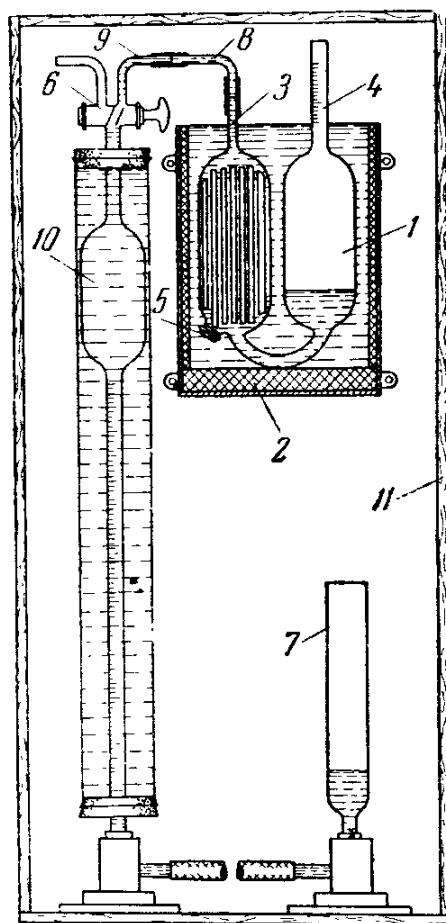


Рис. 118. Прибор для определения содержания кислорода в техническом азоте при помощи желтого фосфора:

1 — пипетка; 2 — металлический ящик; 3, 4 — отводные трубки; 5 — пробка; 6 — кран; 7 — уравнительный сосуд; 8 — соединительная трубка; 9 — отросток; 10 — бюретка; 11 — футляр.

10%-ный раствор аммиака, пока осадок не будет почти (но не полностью) растворен. Раствор фильтруют. Хранят раствор в хорошо закупоренных склянках темного стекла, в защищенном от света месте.

**Определение газообразных кислот и оснований.** 110 см свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воды подкрашивают несколькими каплями раствора лакмуса. 10 см<sup>3</sup> этой воды оставляют для контроля окраски, а через остальные 100 см<sup>3</sup> пропускают 2 л кислорода, после чего сравнивают с контрольной пробой. При отсутствии определяемых примесей не должно быть заметной разницы в окраске сравниваемых растворов.

**Определение озона и других газов-окислителей.** Влияние углекислоты воздуха во время этого испытания должно быть абсолютно исключено. 2 л кислорода пропускают через свежеприготовленный раствор, состоящий из 0,5 г растворимого крахмала и 0,5 г иодида калия, растворенных в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. При отсутствии вредных примесей окраска жидкости не должна изменяться.

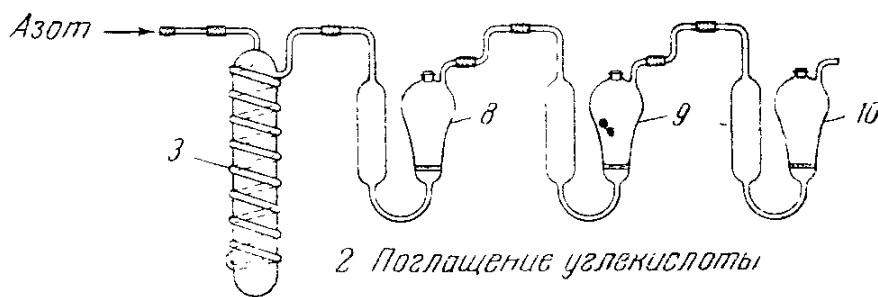
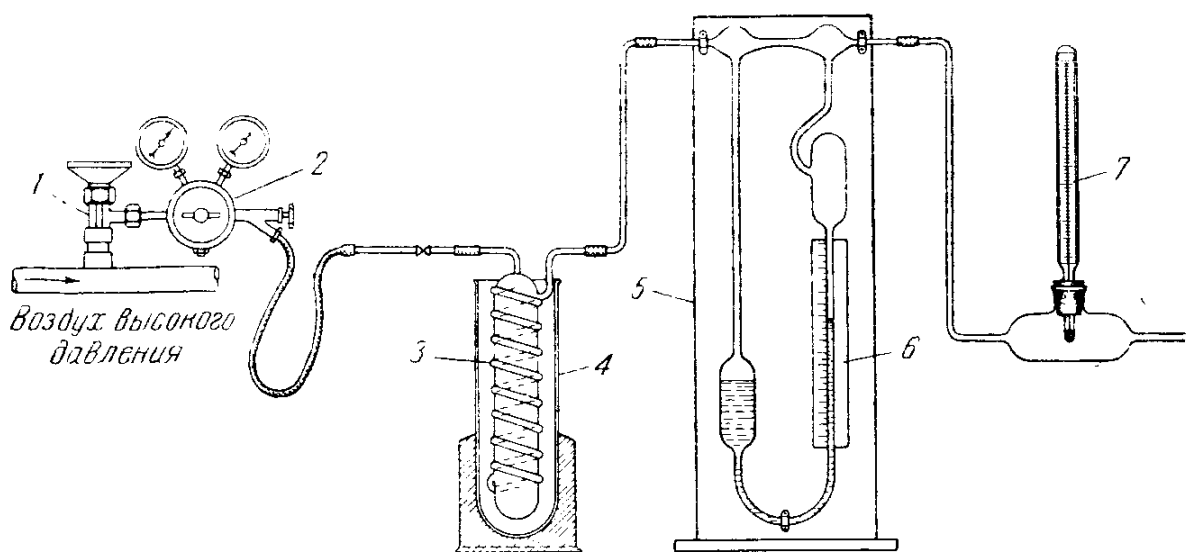
**Определение углекислого газа.** 500 см<sup>3</sup> кислорода пропускают через 100 см<sup>3</sup> прозрачного раствора гидрата окиси бария. Раствор готовят взбалтыванием 5 г гидрата окиси бария в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Появившаяся муть в растворе после пропускания кислорода не должна быть интенсивнее муты контрольного раствора, что указывает на отсутствие углекислого газа. Контрольный раствор получают путем смешения 1 см<sup>3</sup> раствора двууглекислого натрия (0,2 г двууглекислого натрия в 100 см<sup>3</sup> свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воды) и 100 см<sup>3</sup> прозрачного раствора гидрата окиси бария.

**Определение содержания углекислоты в воздухе.** На воздухопроводе после осушительной батареи должен иметься вентиль 1 и редуктор 2 для отбора проб воздуха (рис. 119). Воздух пропускают через стеклянный змеевик 3, погруженный в сосуд 4 с жидким кислородом. В змеевике углекислота, содержащаяся в воздухе, вымерзает. Количество пропускаемого воздуха измеряют с помощью прибора 5, называемого реометром, который имеет шкалу 6, показывающую расход воздуха в л/мин. Температуру воздуха измеряют термометром 7. Спустя некоторое время пропускание воздуха через змеевик 3 прекращают, сосуд убирают, а змеевик продувают слабым потоком сухого азота, как это указано на нижней части рис. 119. К другому концу змеевика на место реометра присоединяют последовательно три поглотителя 8, 9 и 10, наполненные баритовой водой. В каждый поглотитель наливают 25 см<sup>3</sup> поглотительного раствора.

Вымерзшая в змеевике углекислота, отогреваясь азотом, испаряется и поглощается баритовой водой. Поток азота должен быть отрегулирован таким образом, чтобы через поглотители проходил 1 л газа в течение 10—15 мин. Если баритовая вода помутнеет, то это указывает на недостаточную очистку воздуха.

от углекислоты. Количественное определение углекислоты производится, как правило, лаборантом.

*1. Вымораживание углекислоты*



*2. Поглощение углекислоты*

Рис. 119. Прибор для определения содержания углекислоты в воздухе:

1—вентиль; 2—редуктор; 3—змеевик; 4—сосуд с жидким кислородом; 5—реометр; 6—шкала реометра; 7—термометр; 8, 9, 10—поглотители.

Для приготовления 1 л поглотительного раствора 10 г хлорида бария и 3,5—4 г кристаллического гидрата окиси бария растворяют в соответствующем количестве свежeproкипяченной дистиллированной воды. Раствор хранят в бутылки, закрытой пробкой для предохранения от влияния углекислоты, содержащейся в атмосферном воздухе. При пользовании этим раствором во время анализа принимают особые меры, предохраняющие раствор от соприкосновения с атмосферным воздухом.

Лабораторией завода составляется подробная инструкция о порядке производства анализа.

**Определение состава газа с помощью газовых весов.** Этот способ основан на взвешивании двух газовых столбов различных газов, но одинаковой высоты и диаметра, с помощью специального прибора—газовых весов.

Для получения газовых столбов используют вертикальные трубки-стояки, заполненные газом. Нижние концы стояков присоединены к чувствительному дифференциальному манометру. Разность давлений двух столбов, измеряемая дифманометром, будет пропорциональна разности весов газовых столбов. Чем тяжелее один из газов, тем большее отклонение покажет дифма-

нометр. Если известна плотность одного из газов, то по показаниям газовых весов легко определить плотность и состав второго газа, пользуясь для этого формулами или заранее составленными таблицами.

Газовые весы (рис. 120) состоят из трех основных частей: стояков 1, 2, щитка 3 с укрепленными на нем кранами и стеклянными тройниками для переключения газов, и дифференциального

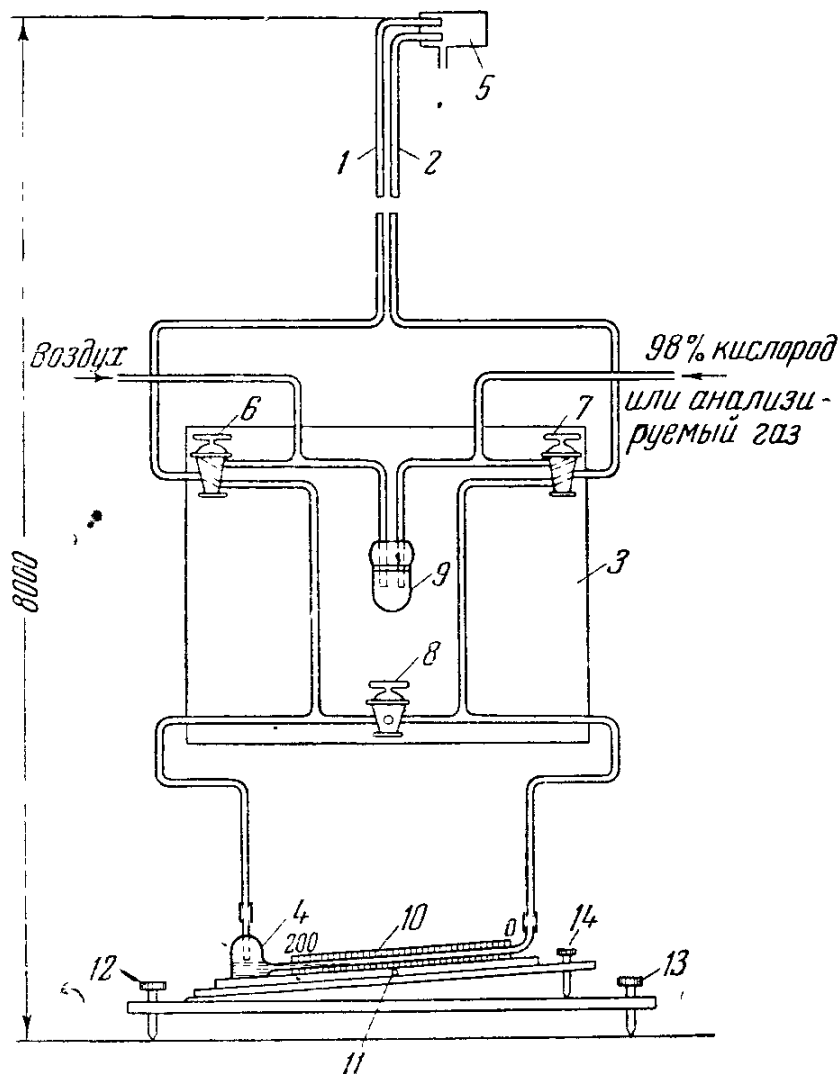


Рис. 120. Схема газовых весов:

1, 2—стояки; 3—щиток; 4—дифманометр; 5—колпак;  
6, 7—трехходовые краны; 8—уравнительный кран;  
9—водяной затвор; 10—шкала дифманометра; 11—винт  
для передвижения шкалы; 12, 13, 14—установочные  
винты.

манометра 4. Стояки представляют собой медные трубки диаметром 10 мм и высотой 8 м. Вверху концы стояков защищены колпаком 5, сообщающимся с атмосферой. Нижние концы стояков присоединены к трехходовым кранам 6 и 7. Кран 8 служит для установки дифманометра на нуль. Открытый водяной затвор 9 служит для установления скорости движения газов при заполнении ими стояков, а также для выпуска в атмосферу исследуе-

мых газов во время производства анализа. Дифманометр наполняют керосином, который более подвижен, чем вода. Шкалу 10 манометра для удобства отсчетов можно передвигать винтом 11.

Неточность анализа может быть вызвана негерметичностью прибора, а также закупоркой стояков и трубок, наличием влаги в стояках и дрожанием пола помещения, где установлены весы. Все эти помехи должны быть устранены при осуществлении анализа газа с помощью газовых весов. Анализ производят следующим образом. С помощью поворота кранов 6 и 7 в левый стояк пропускают воздух, а в правый—98%-ный кислород. Примерно через 2—3 мин. можно считать, что стояки заполнились газами. После этого закрывают кран 8, а краны 6 и 7 поворачивают в положение, при котором стояки соединяются с дифманометром. При помощи винтов 12, 13 и 14 устанавливают прибор таким образом, чтобы жидкость в наклонной трубке дифманометра остановилась на делении 50. Затем через правый стояк пропускают анализируемый газ (например, сырой аргон), в то время как через левый стояк продолжает протекать воздух. Допустим, что при этом жидкость в трубке дифманометра остановилась на каком-то делении  $A$ . Тогда содержание аргона в исследуемом газе определится по формуле

$$x = 7,55 + 0,52 A + 0,339 y$$

где  $x$ —содержание аргона в сыром аргоне в %;

$A$ —отсчет по шкале дифманометра;

$y$ —содержание кислорода\* в пробе сырого аргона в %.

Вместо формулы можно пользоваться заранее составленной таблицей, где по значениям  $y$  и  $A$  сразу находят величину  $x$ .

*Пример.* При анализе на дифманометре получен отсчет  $A=40$ ; анализ сырого аргона на содержание в нем кислорода показал, что  $y=50\%$ . Тогда по формуле имеем:

$$x = 7,55 + 0,52 \cdot 40 + 0,339 \cdot 50 = 45,3\%$$

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В КИСЛОРОДЕ

Содержание влаги в кислороде определяют при помощи специального прибора, называемого гигрометром. Схема гигрометра изображена на рис. 121. В корпусе гигрометра 1 находится окно 2 из органического стекла и медный полый стержень 3, к которому припаяна медная пластинка 4 с зеркальной наружной поверхностью (хромированной). К наружному концу стержня 3 припаян под прямым углом сплошной медный стержень 5. Через полый конец стержня 3 проходит термopара, спай которой припаян к центру пластинки 4. Стержень 3 изолирован от корпуса гигрометра текстолитовой втулкой. Стержень 5 погружен в сосуд 6 с жидким кислородом. Второй спай термopары погру-

\* Эту величину определяют в обычном приборе, употребляемом для анализа чистоты кислорода.

жен в сосуд 7, заполненный льдом. Величину электродвижущей силы измеряют милливольтметром 8 со шкалой, калиброванной на  $^{\circ}\text{C}$ .

Испытываемый на влажность кислород подают в гигрометр из баллона 9 через вентиль 10 и соединительную трубку 11, оканчивающуюся около центра зеркальной поверхности пластинки. Из гигрометра кислород отводится в атмосферу через трубку 12, микрометрический вентиль 13 и реометр 14. Манометр 15 служит для измерения давления в гигрометре и в баллоне с кислородом.

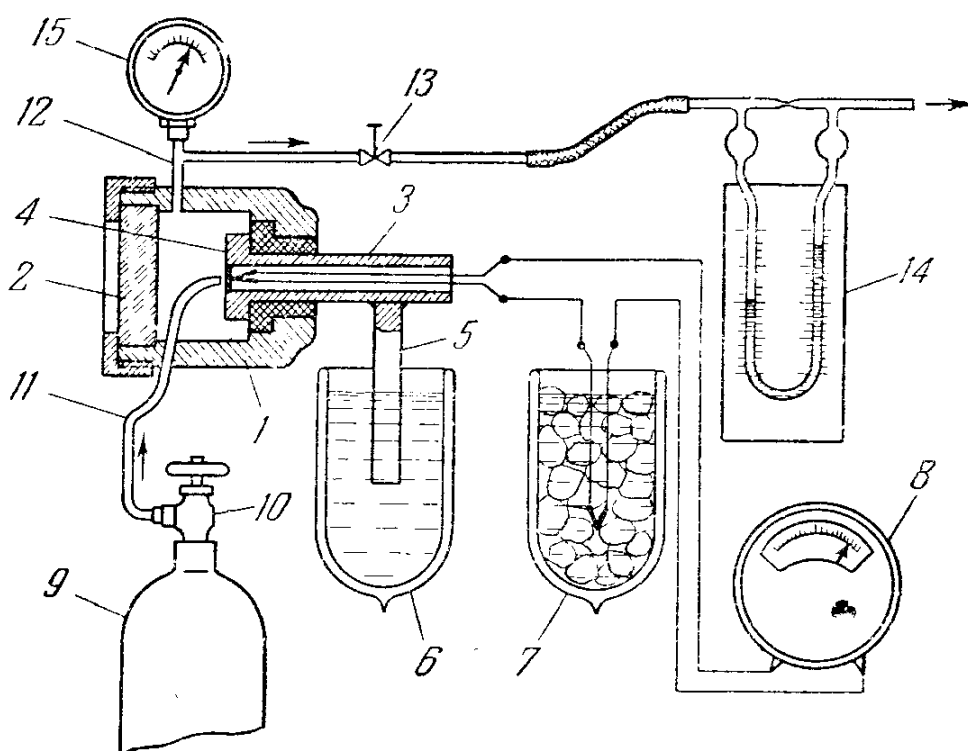


Рис. 121. Прибор для определения влажности кислорода (гигрометр):

1—корпус прибора; 2—стекло; 3—полый стержень; 4—пластинка; 5—сплошной стержень; 6—сосуд с жидким кислородом; 7—сосуд со льдом; 8—милливольтметр; 9—баллон; 10—вентиль; 11, 12—трубки; 13—регулирующий вентиль; 14—реометр; 15—манометр.

К трубке 11 присоединяют баллон с испытуемым кислородом (величина давления кислорода в баллоне не имеет значения). Открывают постепенно вентиль 10 и производят продувку гигрометра кислородом со скоростью 3—5 л/мин. Скорость пропускаемого кислорода регулируют вентилем 13 и контролируют реометром 14. После продувки в течение нескольких минут скорость пропускаемого кислорода уменьшают до 1—2 л/мин и начинают охлаждать стержень 5 путем погружения его в сосуд 6 с жидким кислородом. Охлаждение стержня ведут таким образом, чтобы температура, пропорциональная разности потенциалов, контролируемой милливольтметром 8, понижалась не более чем на 4—5 $^{\circ}$  в 1 мин. Когда влага, содержащаяся в кислороде, начнет осе-



дать на зеркальную поверхность пластины 4, последняя потускнеет. В этот момент по показаниям милливольтметра отмечают температуру кислорода, поступающего в гигрометр.

Содержание влаги в кислороде вычисляют по формуле

$$x = g \cdot \frac{t_1 + 273}{t + 273}$$

где  $x$ —содержание влаги в  $г/м^3$ ;

$t$ —температура кислорода в баллоне в  $^{\circ}C$ ;

$t_1$ —температура кислорода в гигрометре (при потускнении зеркальной поверхности пластины) в  $^{\circ}C$ ;

$g$ —содержание влаги в кислороде, соответствующее температуре  $t_1$ .

Содержание влаги в кислороде определяется по приведенным ниже данным.

Температура, $^{\circ}C$	Содержание влаги $г/м^3$	Температура, $^{\circ}C$	Содержание влаги $г/м^3$	Температура, $^{\circ}C$	Содержание влаги $г/м^3$
—45	0,107	—52	0,048	—59	0,022
—46	0,096	—53	0,043	—60	0,019
—47	0,086	—54	0,040	—61	0,016
—48	0,076	—55	0,036	—62	0,014
—49	0,069	—56	0,032	—63	0,013
—50	0,060	—57	0,028	—64	0,012
—51	0,053	—58	0,025	—65	0,010

Этим же способом можно определять содержание влаги в воздухе.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТВОРА ЕДКОГО НАТРА

Этот анализ производится 1 раз в 2—3 дня с целью определения годности раствора в скрубберах и декарбонизаторах. Исследуемый раствор наливают в склянку, предварительно сполоснутую этим же раствором. Посредством пипетки из склянки отбирают  $5 см^3$  раствора, который помещают в мерную колбу, а затем разбавляют дистиллированной водой до  $250 см^3$  и прибавляют 2 капли фенолфталеина.  $25 см^3$  этого раствора отбирают пипеткой в колбу емкостью  $250 см^3$  и по каплям прибавляют туда из бюретки водный раствор соляной кислоты. Кислоту добавляют до тех пор, пока не исчезнет розовая окраска раствора. Количество израсходованной при этом соляной кислоты записывают. Затем в раствор прибавляют 3 капли раствора метилоранжевого и продолжают добавлять в него соляную кислоту до перехода желтой окраски раствора опять в розовую и снова записывают потребованное для этого количество соляной кислоты. Такой способ анализа называется титрованием.

Если обозначить:  $A$ —количество соляной кислоты в  $см^3$  при добавлении ее в присутствии фенолфталеина, а  $B$ —то же в при-

сутствии метилоранжевого, то степень использования раствора щелочи в декарбонизаторе определяется по формуле:

$$\frac{2B}{A+B} \cdot 100$$

Например,  $A=13,2 \text{ см}^3$ ,  $B=6,5 \text{ см}^3$ , следовательно, степень использования раствора щелочи составляет:

$$\frac{2 \cdot 6,5 \cdot 100}{13,2 + 6,5} = \frac{13 \cdot 100}{19,7} = 66\%$$

Если при втором добавлении соляной кислоты (в присутствии метилоранжевого) расход ее будет больше, чем при первом (в присутствии фенолфталеина), то это указывает на то, что раствор щелочи использован полностью и весь едкий натр перешел в соду и бикарбонат натрия.

Для приготовления раствора соляной кислоты берут  $3,5 \text{ см}^3$  соляной кислоты, удельного веса 1,19 и разбавляют водой до 1 л. Раствор фенолфталеина готовят, растворяя 1 г твердого фенолфталеина в  $60 \text{ см}^3$  спирта с последующим добавлением  $40 \text{ см}^3$  воды. Раствор метилоранжевого получают, растворяя 0,1 г твердого метилоранжевого в  $100 \text{ см}^3$  воды.

## 9. КОНТРОЛЬ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА НА СОДЕРЖАНИЕ АЦЕТИЛЕНА

Этот вид контроля имеет важное значение для безопасной работы кислородного аппарата и предотвращения взрыва вследствие накопления ацетилена в жидком кислороде конденсатора или в жидкости испарителя.

Отбор проб производится в следующие сроки:

- а) из конденсаторов аппаратов, снабженных адсорберами, один раз в смену (3 раза в сутки);
- б) то же без адсорберов—через каждые 4 часа (6 раз в сутки);
- в) из испарителя аппаратов с адсорберами и без адсорберов 2 раза в смену (в начале и в середине смены);
- г) из стационарных танков 1 раз в сутки.

Пробы жидкого кислорода из конденсатора отбирают в металлический вакуумный сосуд емкостью 5 л. Из этого сосуда отбирают  $250 \text{ см}^3$  жидкого кислорода и сейчас же выливают их в стеклянную колбу емкостью  $300 \text{ см}^3$ , помещенную в деревянный ящик со шлаковой ватой. Эту колбу охлаждают снаружи жидким кислородом. Необходимо следить, чтобы при этом жидкий кислород не попал в колбу. Шлаковая вата в ящике во избежание взрыва не должна быть загрязнена маслом, тряпками, бумагой и т. п.; нельзя употреблять шелковую и хлопковую вату.

Пробы жидкости из испарителя разделительного аппарата отбирают в количестве 0,5 л в стеклянную колбу емкостью 0,6 л, также помещенную в деревянный ящик со шлаковой ватой.

**Производство анализа.** Схема применяемой для анализа аппаратуры показана на рис. 122. Поместив соответствующее количество анализируемого жидкого кислорода в колбу 1, ее закрывают пробкой с двумя стеклянными трубками 3. Затем колбу присоединяют к змеевику 2 при помощи резинового шланга и за-

крывают кран 4. Пробку и кран предварительно испытывают на герметичность.

Из колбы 1 продукты испарения анализируемой жидкости пропускают через стеклянный змеевик 2, погруженный в сосуд 5 с жидким кислородом. Содержащийся в анализируемой жидкости ацетилен полностью вымораживается в змеевике 2. По мере испарения кислорода колбу 1 нужно освобождать от изоляции. Перед окончанием испарения колбу вынимают из ящика.

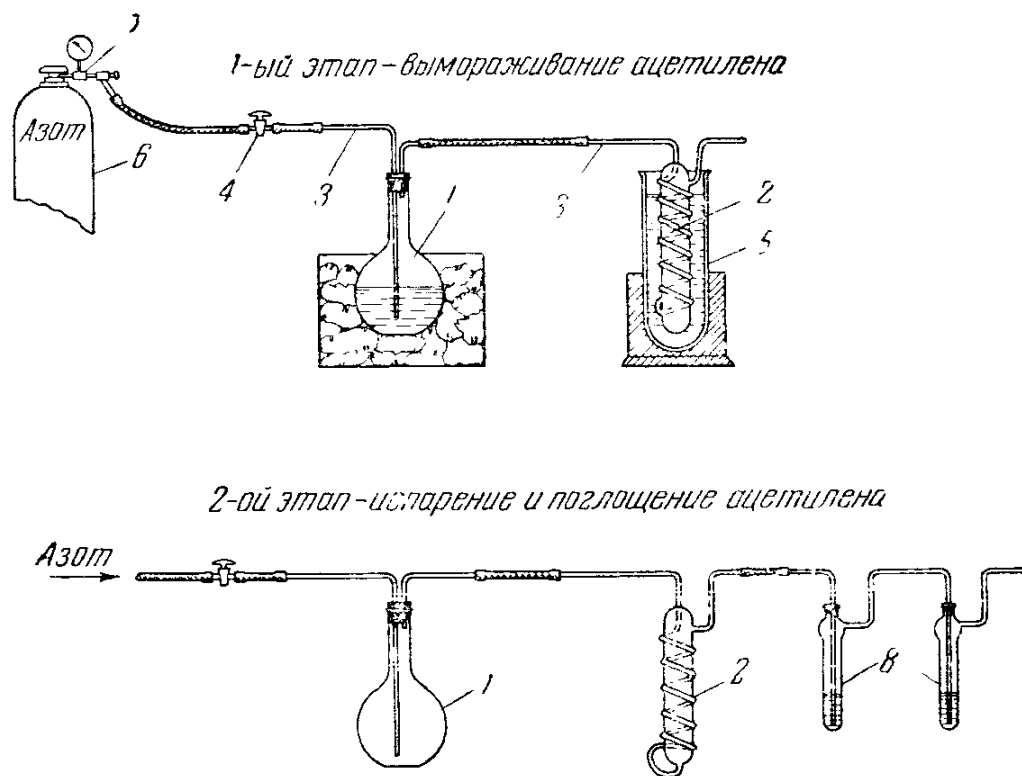


Рис. 122. Схема прибора для определения ацетилена в жидком кислороде:

1—колба с жидким кислородом; 2—стеклянный змеевик; 3—трубка; 4—кран; 5—стеклянный сосуд с жидким кислородом; 6—баллон с азотом; 7—редукционный вентиль; 8—поглотители.

После испарения из колбы всей жидкости аппаратуру в течение 10 мин. продувают азотом из баллона 6 через редукционный вентиль 7 или азотом, отбираемым непосредственно из-под крышки конденсатора разделительного аппарата. Это делается для того, чтобы удалить из аппаратуры кислород, мешающий дальнейшему анализу, и вытеснить в змеевик 2 оставшийся в колбе ацетилен. По окончании продувки к змеевику 2 присоединяют два поглотителя 8, в которых находится по  $10 \text{ см}^3$  поглотительного раствора, смешанного с раствором желатины. Змеевик 2 вынимают из сосуда 5, отогревают и вновь продувают систему азотом. Ацетилен при этом испаряется и увлекаемый азотом попадает в поглотители. В результате взаимодействия ацетилена с поглотительным раствором получается раствор ацетиленистой меди красного цвета. Чем больше ацетилена содержится в пробе жидкости, тем

гуще будет окраска раствора. Для количественного определения ацетилена используют эталонные стекла или эталонные растворы, которым придана окраска, соответствующая окраске растворов с известным содержанием ацетилена. Путем сравнения окраски поглотительного раствора с окраской эталонов определяют содержание ацетилена в пробе жидкого кислорода.

Количество ацетилена в каждом поглотителе равно тому количеству ацетилена, которое соответствует стандартному раствору с окраской одинаковой интенсивности.

Общее количество ацетилена в пробе равно сумме количества его в двух поглотителях и выражается в  $см^3$  ацетилена на 1 л жидкости.

Сравнивать с эталонами можно только такие растворы, содержание ацетилена в которых не превышает  $0,1 см^3$ . Растворы, содержащие более  $0,1 см^3$  ацетилена, разбавляются дополнительным количеством поглотительного раствора для получения менее густой окраски; разбавление можно производить в соотношении не более чем 1 : 4. Таким образом при отборе на анализ  $0,25 л$  жидкости этим методом можно определить до  $1,6 см^3$  ацетилена в 1 л анализируемой жидкости.

Кислород, как указывалось, мешает определению, так как придает поглотительному раствору синюю окраску. Во время испарения жидкого кислорода из колбы необходимо следить за тем, чтобы змеевик 2 был достаточно охлажден, иначе возможен проскок ацетилена. С этой целью следует подливать жидкий кислород в сосуд 5 по мере испарения охлаждающей жидкости.

Струю азота при продувке змеевика 2 нужно отрегулировать так, чтобы скорость потока в поглотителях составляла один пузырек в секунду. Нельзя употреблять азот, содержащий более 3% кислорода.

*Примеры.* 1. При сравнении неразбавленных поглотительных растворов окраска их соответствовала окраске стандартных растворов с содержанием ацетилена  $0,09$  и  $0,02 см^3$ . Общее количество ацетилена в анализируемой пробе равно

$$0,09 + 0,02 = 0,11 см^3$$

2. При сравнении окраска поглотительных растворов соответствовала окраске стандартных растворов, содержащих  $0,05$  и  $0,01 см^3$  ацетилена, причем раствор в первом поглотителе был разбавлен в 3 раза. Общее содержание ацетилена равно

$$0,05 \cdot 3 + 0,01 = 0,16 см^3$$

Полученные в обоих случаях результаты анализа надо умножить на четыре для того, чтобы отнести их к 1 л анализируемой жидкости. Кроме того, следует иметь в виду, что действительное содержание ацетилена в жидком кислороде будет на 5%, а в жидкости испарителя на 15—20% ниже, так как при отборе пробы жидкость частично испаряется. Поэтому полученные результаты анализа жидкого кислорода следует умножить на коэффициент 0,95, а результаты анализа жидкости из испарителя на коэффициент 0,8.

Для приготовления 100 см<sup>3</sup> поглотительного раствора берут 0,5 г серно-кислой или азотнокислой меди и растворяют в 20 см<sup>3</sup> дистиллированной воды в мерной колбе на 100 см<sup>3</sup>. Когда медная соль полностью растворится, прибавляют такое количество водного раствора аммиака, чтобы содержание последнего было равно 0,53 г.

Затем в колбу вводят 2,3 г солянокислого гидроксиламина, растворенного в 33 см<sup>3</sup> воды, 4,5 см<sup>3</sup> 2%-ного раствора желатини и 33 см<sup>3</sup> этилового спирта. Прибавлением воды объем раствора доводят до метки. Раствор должен быть бесцветным.

Для определения этого количества измеряют ареометром удельный вес водного раствора аммиака. Пусть он равен, например, 0,912. По таблицам находят, что данному удельному весу соответствует содержание 221,9 г аммиака в 100 см<sup>3</sup> раствора. Следовательно 0,53 г аммиака будет содержаться в  $\frac{100}{221,9} \cdot 0,53 = 2,39$  см<sup>3</sup> раствора.

**Нормы содержания ацетилена.** Допустимое содержание ацетилена в жидком кислороде и в жидкости испарителя выражается в см<sup>3</sup> газообразного ацетилена на 1 л жидкого кислорода или на 1 л жидкости испарителя. При содержании ацетилена до 0,5 см<sup>3</sup>/л в жидком кислороде и до 1 см<sup>3</sup>/л в жидкости из испарителя разделительный аппарат можно эксплуатировать обычным порядком.

Если кислородный аппарат работает без адсорберов, то при содержании в 1 л жидкого кислорода 0,5—1 см<sup>3</sup> ацетилена половину жидкости из конденсатора необходимо слить и спустя 2 час. произвести повторный анализ; если при этом окажется, что содержание ацетилена уменьшилось, то работу аппарата можно не прекращать. Если же содержание ацетилена при первом анализе составляло более 1 см<sup>3</sup>/л или при повторном анализе осталось прежним или увеличилось, то необходимо остановить аппарат, слить всю жидкость из конденсатора и испарителя и после этого пустить аппарат для нового накопления жидкости.

При остановках аппарата на срок более 2 час. нужно обязательно произвести анализ жидкого кислорода из конденсатора и при содержании ацетилена более чем 0,5 см<sup>3</sup>/л слить всю жидкость из конденсатора.

Если содержание ацетилена в кислородном аппарате, снабженном двумя адсорберами ацетилена, составляет 0,5 см<sup>3</sup>/л, то следует произвести переключение адсорберов и спустя 2 часа вновь произвести анализ жидкого кислорода. При наличии одного адсорбера нужно произвести его отогрев. Во время отогрева пробы жидкого кислорода из конденсатора отбирают через каждые 2 часа и если содержание ацетилена достигает 0,7 см<sup>3</sup>/л, то половину жидкости из конденсатора сливают, а если 1,0 см<sup>3</sup>/л, то сливают всю жидкость из конденсатора и испарителя, а затем накапливают ее вновь; при повышении содержания ацетилена в жидкости из испарителя до 1 см<sup>3</sup>/л аппарат останавливают и устраняют причину повышенного содержания ацетилена в поступающем в аппарат воздухе.

Допустимое содержание ацетилена в танке для жидкого кис-

лорода составляет  $1 \text{ см}^3/\text{л}$ . При большом содержании ацетилена жидкость из танка следует полностью слить.

## 10. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения силы сварочного тока применяют электроизмерительный прибор, называемый *амперметром*, а для измерения напряжения—прибор, называемый *вольтметром*. При изображении

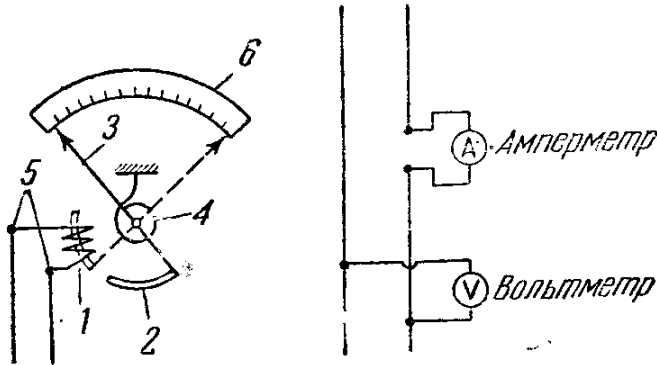


Рис. 123. Схема устройства и включения электроизмерительных приборов:

1—обмотка катушки; 2—сердечник; 3—стрелка; 4—пружина; 5—контакты прибора; 6—шкала.

этих приборов на схеме амперметр принято обозначать буквой *A*, а вольтметр — буквой *V*. Устройство этих приборов основано на использовании магнитного поля, создаваемого электрическим током. На рис. 123 приведена схема устройства такого электроизмерительного прибора.

Когда по обмотке катушки *1* проходит ток, то это вызывает образование магнитного поля вокруг катушки и сердечник *2* втягивается внутрь катушки. При этом стрелка *3* отклоняется вправо, указывая на шкале значение силы или напряжения тока, соответствующее силе того тока, который проходит по обмотке катушки *1*. Спиральная пружина *4* служит для возвращения стрелки *3* в исходное положение, когда ток не проходит через прибор.

Способ включения амперметра и вольтметра в электрическую цепь показан на правой стороне рис. 123. Амперметр включают в цепь последовательно, так как обмотка его катушки обладает небольшим сопротивлением и через нее должен проходить весь ток сварочной цепи. Вольтметр имеет катушку с высоким сопротивлением и поэтому он включается в цепь параллельно, так как берет на себя небольшой ток силой около  $0,1 \text{ а}$ .

Для измерения мощности, потребляемой электродвигателем, применяют *ваттметр*. Схема устройства его показана на рис. 124. Он состоит из двух неподвижных катушек *1* и *2*, насажен-

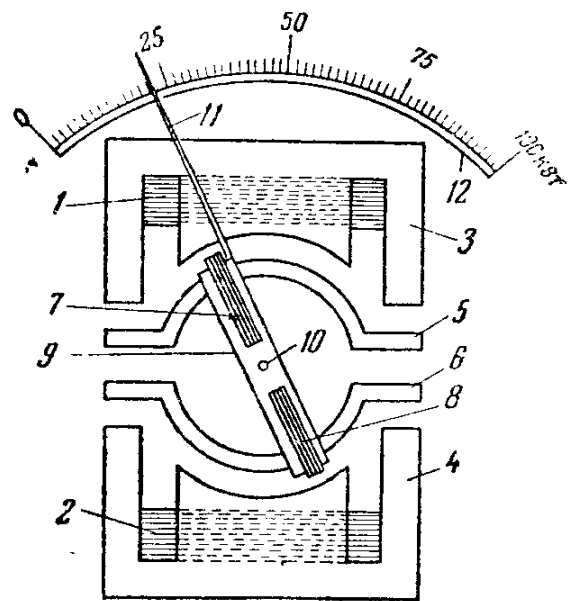


Рис. 124. Схема устройства ваттметра:

1, 2—неподвижные катушки; 3, 4, 5, 6—железные сердечники; 7, 8—подвижные катушки; 9—рамка; 10—ось; 11—стрелка; 12—шкала.

ных на железные сердечники 3 и 4. Между неподвижными катушками находятся еще два железных сердечника 5 и 6, расположенные внутри подвижных катушек 7 и 8. Подвижные катушки надеты на рамку 9, которая может поворачиваться на горизонтальной оси 10 и перемещать связанную с ней стрелку 11. Когда по обмоткам неподвижных и подвижных катушек проходит электрический ток, то вокруг каждой из них образуется магнитное поле. Магнитные поля неподвижных и подвижных катушек, взаимодействуя одно с другим, заставляют поворачиваться рамку на ее оси, что вызывает отклонение стрелки 11 вправо. Чем больше потребляемая мощность, тем больше отклоняется стрелка, указывая соответствующее значение мощности в киловаттах (*квт*) на шкале 12 ваттметра.

## 11. КОНТРОЛЬ БАЛЛОНОВ НА СКЛАДЕ

Поступающие от потребителя на склад порожние баллоны проходят проверку, имеющую целью установить пригодность каждого баллона для наполнения. Проверку баллонов производят специальный контролер или приемщик баллонов; допускают под наполнение только баллоны, удовлетворяющие следующим требованиям:

- 1) окрашенные в установленный цвет и имеющие соответствующие надписи и клейма;
- 2) испытанные гидравлически на пробное давление 225 *ати* и имеющие рабочее давление 150 *ати*;
- 3) имеющие заглушки и колпаки;
- 4) не имеющие видимых наружных дефектов (трещин, вмятин, раковин, косо насаженных башмаков и пр.), а также следов грязи и масла;
- 5) снабженные вентилями, боковой штуцер которых имеет правую трубную резьбу  $\frac{3}{4}$  дюйма;
- 6) имеющие на верхней сферической части клеймо технического инспектора.

Контролер должен также проверить, не истек ли срок следующего очередного испытания баллона, высечаемый на его верхней сферической части. В баллоне всегда должно быть небольшое (0,5 *ати*) остаточное давление кислорода, что проверяется контролером путем кратковременного открытия вентиля. Одновременно контролер должен убедиться в том, что выходящий из баллона газ не имеет никакого запаха, в противном случае баллон немедленно отставляют в сторону и доводят об этом до сведения администрации цеха.

Все забракованные контролером баллоны ставят в специально отведенную для этого ячейку склада, а на каждом баллоне мелом пишут причину отбраковки.

Наполненные кислородом баллоны контролер принимает от наполнителя. При этом необходимо убедиться, что баллон напол-

пен кислородом до установленного для данной температуры давления, а вентиль баллона вполне герметичен. На штуцер вентиля баллона должна быть накручена заглушка, а сам вентиль закрыт колпаком. Наполненные кислородом баллоны хранят на складе отдельно от порожних баллонов.

Для проверки качества кислорода на соответствие его требованиям ГОСТ 5583—50, контролер отбирает по одному баллону от каждой партии наполненных баллонов в рампе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково значение контроля в кислородном производстве?
2. Что подвергают контролю в цехе?
3. Какие контрольные анализы выполняет лаборатория в дополнение к анализам текущего контроля?
4. Как измеряют количество газов?
5. Как устроены диафрагмы и расходомер?
6. Как устроены манометры?
7. Каков принцип работы термометры?
8. Как работают термометры сопротивления?
9. Как устроен термоманометр?
10. В чем состоит принцип работы жидкостного указателя уровня?
11. Как устроен мембранный указатель уровня жидкости?
12. Как производят анализ чистоты кислорода?
13. В чем принцип работы магнитного газоанализатора для кислорода?
14. Чем отличается прибор для определения чистоты азота от прибора для определения чистоты кислорода?
15. Как определяют вредные примеси в медицинском кислороде?
16. Как определяют содержание углекислоты в воздухе?
17. Как производят анализ состава газа с помощью газовых весов?
18. Как определяют содержание влаги в кислороде и воздухе?
19. Как определяют степень использования щелочного раствора?
20. Как производят контроль на присутствие ацетилена в жидком кислороде?
21. Как устроены вольтметр, амперметр и ваттметр?
22. Каким требованиям должны удовлетворять баллоны, поступающие на наполнение кислородом?
23. Как проверяют порожние и наполненные баллоны?



## ГЛАВА XIV

# ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ, ПРОМСАНИТАРИЯ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В условиях социалистического строя забота о здоровье трудящихся и создании безопасных условий работы — одна из главных задач Советского государства. Советский Союз является единственной страной в мире, где работа по охране труда поставлена на должную высоту. Партия и правительство уделяют большое внимание вопросам охраны труда. Наше государство затрачивает огромные средства на осуществление мероприятий в области техники безопасности, для чего в государственных планах развития народного хозяйства предусматриваются необходимые ассигнования. Ни в одной стране не охраняется труд человека так бережно, как в СССР, ибо, как учит товарищ Сталин, «из всех ценных капиталов, имеющих в мире, самым ценным и самым решающим капиталом являются люди, кадры»\*.

Наоборот, в капиталистических странах, особенно в США, где все производство подчинено борьбе за сверхприбыли капиталистов, единственной целью предпринимателя является эксплуатация рабочего, выжимание из него максимума труда при наименьших затратах. Предприниматели и владельцы заводов не заинтересованы в охране труда и здоровья рабочего, так как к их услугам всегда имеется огромная армия безработных, готовых за нищенское вознаграждение работать, подчас в нечеловеческих условиях.

Создание условий для безопасного труда в социалистическом производстве служит важным средством и стимулом для повышения производительности труда, являющейся основным фактором дальнейшего развития и подъема народного хозяйства.

Осуществление необходимых мероприятий по созданию безопасных условий работы возложено на хозяйственные организации и администрацию предприятий, которые ответственны за состояние техники безопасности на заводе и в цехе.

---

\* И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. XI, Госполитиздат, 1939, стр. 491.

Контроль за выполнением существующих у нас законов по трудовому законодательству и правил по технике безопасности осуществляется также профсоюзами, которые имеют на предприятиях общественных инспекторов по охране труда. Президиумом ВЦСПС 21 января 1944 г. утверждено специальное положение об общественном инспекторе по охране труда, его функциях, правах и обязанностях.

С целью ознакомления рабочих с правилами обслуживания современного сложного оборудования, которым оснащены наши заводы, для каждого процесса, аппарата и машины разрабатываются производственные инструкции и правила обслуживания, а также инструкции по технике безопасности. Твердое знание и неуклонное выполнение этих правил и инструкций являются первейшими обязанностями каждого рабочего, обслуживающего тот или иной аппарат и машину.

Нарушение правил обслуживания и инструкций по технике безопасности приводит к несчастным случаям с людьми и авариям оборудования. Поэтому лица, не усвоившие твердо правил работы с оборудованием и инструкции по технике безопасности, не должны допускаться к работе в цехе.

Администрация предприятия обязана следить за строгим соблюдением инструкций по технике безопасности и правил обслуживания, принимая меры к их неуклонному выполнению и систематически проверяя знание этих инструкций обслуживающим персоналом.

## **2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПАСНОСТЕЙ В КИСЛОРОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

При получении кислорода из атмосферного воздуха обслуживающему персоналу приходится иметь дело с едкой щелочью и ее крепкими растворами; газами и жидкостями, имеющими очень низкую температуру; аппаратами и баллонами, находящимися под высоким давлением; различными движущимися машинами и механизмами; электрическими машинами и приборами. Все это создает ряд производственных опасностей для рабочих кислородных установок в случае нарушения ими производственных правил и инструкций по технике безопасности. Основными опасностями являются следующие:

1. Поражения кожи и глаз, могущие произойти при рубке каустической соды, приготовлении щелочного раствора, перезарядке осушительных батарей и декарбонизаторов.

2. Обмороживание тканей тела, происходящее при соприкосновении с жидким кислородом, воздухом или азотом, а также с холодными частями аппаратов.

3. Засорение глаз и раздражение кожи и дыхательных путей шлаковой ватой.

4. Воспламенение насыщенной кислородом одежды при соприкосновении ее с открытым пламенем.

5. Взрыв трубопроводов, сосудов и аппаратов, работающих под давлением, а также наполненных кислородом баллонов при несоблюдении правил обращения с ними.

6. Воспламенение прокладок, влекущее за собой загорание частей арматуры, находящейся в атмосфере сжатого кислорода.

7. Взрыв ацетилена в конденсаторах и испарителях кислородных аппаратов при нарушении правил контроля за содержанием ацетилена в перерабатываемом воздухе.

8. Вспышка масла в цилиндрах и холодильниках компрессора, происходящие вследствие нарушения правил смазки машин.

9. Поражение движущимися частями машин (маховиками, шатунами, тягами, шестернями и пр.) при неосторожном обслуживании их.

10. Поражение электрическим током, могущее произойти при нарушении правил эксплуатации электрических установок.

11. Отравление парами дихлорэтана при промывке кислородного аппарата и обезжиривании деталей или парами аммиака при негерметичности аммиачной системы.

12. Вспышка в цилиндрах кислородного компрессора при попадании в них смазочной воды, содержащей следы масла.

В целях борьбы с некоторыми из перечисленных опасностей применяют средства индивидуальной защиты, пользование которыми обязательно. В качестве необходимого условия для предупреждения других опасностей требуется строжайшее соблюдение производственной дисциплины, правил эксплуатации оборудования и инструкций по технике безопасности. При условии выполнения каждым рабочим этих требований кислородное производство совершенно безопасно для здоровья и жизни обслуживающего персонала.

### 3. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ И МЕРЫ ПОМОЩИ ПОСТРАДАВШИМ

**Защита от едкой щелочи.** Рабочие щелочного отделения кислородных установок должны быть одеты в плотную брезентовую спецодежду, иметь защитные бесцветные очки, а также исправные резиновые перчатки, сапоги и фартуки. В случае попадания щелочи или ее раствора на кожу или в глаза необходимо тотчас же удалить щелочь с помощью ваты, а затем промыть пораженное место чистой водой, 2—3%-ным раствором борной кислоты, или 0,25%-ным раствором уксусной кислоты, после чего смазать пораженное место вазелином. При сильном поражении любой части тела необходимо немедленно обратиться к врачу.

**Защита от пыли шлаковой ваты.** При загрузке шлаковой ваты в аппарат или выгрузке ее из аппарата рабочие должны быть одеты в плотную брезентовую спецодежду и резиновые сапоги с выпущенными поверх них брюками. Куртка должна быть плотно затянута ремнем, а рукава ее завязаны. На лицо одевается

маска-респиратор, защищающая глаза и дыхательные пути от попадания в них мельчайших частиц пыли.

**Защита от паров дихлорэтана и аммиака.** Работа с дихлорэтаном и аммиаком должна производиться в хорошо проветриваемом помещении. Выделяющиеся из аппарата и трубопроводов пары дихлорэтана и аммиака должны отводиться по шлангу из помещения. В случае необходимости рабочие снабжаются противогазами.

При появлении признаков отравления парами дихлорэтана (головная боль, тошнота, кашель) нужно немедленно вывести пострадавшего на свежий воздух, дать ему подышать в течение 2—3 мин. чистым кислородом и направить его в пункт первой помощи.

При ожогах кожи жидким аммиаком пораженное место смазывают раствором виннокаменной или уксусной кислоты, а затем смазывают вазелином. При отравлении газообразным аммиаком поступают, как указано выше для случаев отравления парами дихлорэтана, но дополнительно к кислороду пострадавшему дают дышать парами уксусной кислоты.

**Защита пропитанной кислородом одежды от воспламенения.** При работе с газообразным или жидким кислородом необходимо остерегаться возможности пропитывания и насыщения им одежды, тканей, обтирочного материала и пр. В этом случае при приближении к ним огня возможна вспышка, что приводит к ожогам тела или пожару. Известны случаи, когда насыщенная кислородом одежда или волосы людей вспыхивали при приближении к открытому огню, например при зажигании спички, причиняя тяжелые ожоги.

Чтобы одежда пропиталась кислородом, достаточно прбыть некоторое время в помещении, воздух в котором содержит большое количество кислорода (например, при испарении жидкого кислорода, пролитого на пол, сильных пропусках в трубопроводах и пр.). Если есть опасения, что одежда пропитана кислородом, ее нужно снять и проветрить. В таком помещении категорически запрещено зажигать спички, курить или вносить в помещение открытое пламя.

Особую осторожность следует проявлять при обращении с жидким кислородом. Жидкий кислород, попадая на кожу, может вызвать тяжелые поражения покровов тела, подобные сильному ожогу.

**Защита от действия электрического тока.** Нельзя прикасаться к незащищенным токоведущим частям электродвигателей, приборов и проводов, находящихся под напряжением. Включение двигателей необходимо производить в резиновых перчатках, стоя на резиновом коврике.

При осмотре внутренней части баллонов, машин и аппаратов во время ремонта нужно пользоваться низковольтными лампами напряжением не выше 24 в.

Поражение электрическим током может быть местное, в виде ожога, или общее, когда пораженный током человек теряет сознание. В последнем случае пострадавшему должна быть оказана немедленная помощь—его нужно освободить от одежды, обрызгать лицо водой, растереть грудь или сделать искусственное дыхание. Если пораженный током еще держится за провод, то нужно выключить ток или заземлить этот провод, или приподнять пострадавшего от земли. При этом лица, оказывающие первую помощь пострадавшему, должны иметь на руках резиновые перчатки и надежно изолировать себя от земли (стать на сухую доску, резину, одеть галоши и пр.). Поднимая пострадавшего, нужно браться только за его одежду.

**Защита от движущихся частей машин.** Все движущиеся части машин должны быть снабжены ограждениями. Протирать движущиеся части машины во время ее работы, а также прикасаться к ним руками нельзя, так как машина может захватить одежду, а иногда и части тела работающего. Если это случится, надо немедленно остановить машину и оказать пострадавшему соответствующую помощь, вызвав в случае надобности врача.

#### 4. БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРЕДОТРАЩЕНИЕ АВАРИЙ

Общие правила обслуживания кислородных установок заключаются в следующем:

1. К обслуживанию оборудования могут быть допущены только лица, прошедшие соответствующую подготовку, и усвоившие инструкции по обращению с оборудованием, технике безопасности и противопожарным мероприятиям.

2. Во время работы установки в цехе могут находиться только лица, непосредственно занятые обслуживанием оборудования, а из посторонних—имеющие специальное разрешение администрации цеха. Рабочие в болезненном или нетрезвом состоянии к работе в цехе не допускаются.

3. К эксплуатации могут быть допущены только исправные аппараты и машины, оснащенные необходимыми контрольно-измерительными приборами, предохранительными приспособлениями и арматурой. Около каждой машины и аппарата должны быть вывешены на видном месте их схемы с указанием расположения трубопроводов, вентилях и точек контроля, а также инструкции по обслуживанию. Режим работы каждого аппарата и машины должен отвечать утвержденному технологическому режиму работы кислородной установки данного типа.

4. В кислородном цехе во время работы установки нельзя производить каких-либо строительных или ремонтных работ, особенно сварочных, без специального разрешения администрации.

5. Строго запрещается производить чистку и протирку движущихся частей машины, а также какой-либо ремонт,

подтягивание гаек и пр. Все движущиеся части машины должны быть снабжены ограждениями.

6. Каналы или проемы в междуэтажных перекрытиях цеха должны быть закрыты металлическими щитами, решетками или иметь ограждения.

7. При пуске, обслуживании и остановке аппаратов давление в них нужно изменять медленно и постепенно, плавным открыванием и закрыванием вентилей.

8. При обнаружении в работе оборудования серьезных нарушений и неполадок, грозящих аварией, обслуживающий персонал должен немедленно остановить установку и вызвать начальника цеха, приняв до его прихода неотложные меры к ликвидации дефекта, могущего вызвать аварию.

9. Во всех отделениях кислородного цеха должны соблюдаться чистота и порядок. Нельзя допускать загромождения проходов и запасных выходов различными материалами и оборудованием. Необходимо предохранять все детали и части аппаратов и машин, соприкасающиеся с кислородом, от попадания на них масла и жиров.

10. В цехе должен быть набор запасных частей и инструмента по утвержденным нормам, обеспечивающих бесперебойную работу установки.

11. В случае возникновения аварии в цехе установка должна быть немедленно остановлена. Никто из работающих не имеет права покинуть рабочего места без разрешения своего непосредственного начальника, за исключением случаев, когда создается непосредственная угроза жизни. Во время аварии и ликвидации ее последствий каждый рабочий на установке должен строго соблюдать дисциплину, проявлять особую бдительность и точно выполнять распоряжения мастера или начальника смены, который обязан принять немедленные меры к ликвидации последствий аварии и сообщить о ней администрации цеха и завода. Если авария сопровождается несчастными случаями, нужно немедленно организовать оказание помощи пострадавшим и вызвать врача.

**Воздухоочистительные устройства.** Для предотвращения аварий воздухоочистительных устройств необходимо соблюдать следующие правила.

1. Начинать вскрытие или ремонт декарбонизаторов, скрубберов, осушительных батарей и пр. только в том случае, когда в этих аппаратах спущено давление и из них полностью удален раствор каустической соды. Проверку этого производить путем открытия продувочных контрольных вентилей и по показаниям манометров. Особенно важно соблюдать это условие при вскрытии баллонов осушительной батареи. Вскрываемый баллон должен быть отключен от воздухопроводов высокого давления и его продувочный вентиль полностью открыт.

2. Не подтягивать болты и гайки осушительной аппаратуры и трубопроводов, если аппарат находится под давлением.

3. При работе с каустической содой и ее растворами принимать меры предосторожности и индивидуальной защиты, указанные на стр. 311.

4. Наблюдать за исправным состоянием предохранительных клапанов, отрегулировав их на предельное рабочее давление, допускаемое для данного аппарата, а также за состоянием обводного вентиля и обратного клапана между декарбонизатором и воздушным компрессором.

5. Вся аппаратура, работающая под давлением, должна предъявляться Государственной инспекции Котлонадзора для осмотра и гидравлического испытания в установленные для нее сроки.

**Компрессоры воздушные и кислородные.** Правила обслуживания компрессоров, обеспечивающие безаварийную работу этих машин, заключаются в следующем:

1. Машинист компрессора должен твердо знать правила его обслуживания и точно соблюдать установленный технологический режим работы в отношении давления и температуры.

2. Ограждения ремней и всех движущихся частей компрессора должны всегда находиться в полной исправности и иметь достаточную прочность, гарантирующую от несчастных случаев, например при обрыве ремня.

3. Не следует производить чистку движущихся частей компрессора, а также всякого рода исправления и ремонт (подтягивание болтов, закрепление клиньев и т. п.) во время его работы. В случае чистки, ремонта и осмотра компрессора во время его остановки должны быть приняты меры для предупреждения непроизвольного движения частей компрессора. Во избежание несчастных случаев вследствие остаточного давления в какой-либо части компрессора или трубопровода при вскрытии их должны приниматься особые меры предосторожности: давление должно быть полностью спущено; болты следует ослаблять постепенно, не снимая всех гаек сразу. Запрещается также производить подтягивание соединений воздушной и кислородной магистралей, находящихся под давлением.

4. Нельзя разливать масло в цехе, в особенности около компрессора. Смазывание компрессора во время его работы разрешается производить только посредством имеющихся на нем неподвижных масленок или специальными спринцовками и ручными масленками с длинными оттянутыми носиками.

5. Подвальное помещение под компрессорами должно быть совершенно сухим, хорошо освещенным и не загроможденным посторонними предметами. Все находящиеся в нем трубопроводы, холодильники, масловодоотделители и прочее оборудование, а также арматура должны быть расположены с учетом удобства обслуживания.

6. Во время очередной остановки обязательно проводить мелкий ремонт и осмотр оборудования, делая соответствующую отметку в цеховом журнале. Не производить пуска машины, не

убедившись лично в качестве ремонта. Во время планово-предупредительного ремонта тщательно осматривать все движущиеся, опорные и крепежные детали компрессора с целью выявления дефектов (раковины, трещин и т. п.).

7. Строго соблюдать установленный порядок включения и отключения декарбонизатора и порядок продувки щелочеотделителей и масловодоотделителей компрессора во избежание засасывания щелочного раствора в цилиндры компрессора и возникновения в последнем гидравлического удара.

8. Строго следить за качеством масла, применяемого для смазки цилиндров компрессоров и его соответствием требованиям инструкции по обслуживанию. Не пользоваться маслом, которое не прошло анализа в лаборатории. Хранить разные сорта масла в отдельных резервуарах с указанием названия сорта масла. Следить за тем, чтобы масленки для цилиндрического и машинного масла были различной формы и разной окраски с обозначением названия и сорта масла.

9. Следить за правильной работой подшипников с кольцевой смазкой. Если кольцо в подшипнике не вращается, то проверить правильность его положения и отсутствие загрязнения и загустения масла, находящегося на кольце. Каждые две недели производить промывку подшипников с кольцевой смазкой керосином и наполнять их свежим маслом.

10. При появлении стука в цилиндре компрессора, а также при поломке какой-либо детали механизма компрессора (штока, вала, пальца, шатуна, клапана и пр.) немедленно остановить компрессор и вызвать мастера или начальника цеха. При прекращении подачи тока или короткого замыкания в сети немедленно выключить мотор компрессора.

11. При нарушении величины давления в ступенях компрессора (случаи «перегруза» или «недогруза») необходимо доложить об этом мастеру или сменному инженеру для установления и устранения причины.

12. Следить за достаточным поступлением охлаждающей воды в холодильники и рубашки компрессоров и ее температурой. Если компрессор был пущен по недосмотру без подачи охлаждающей воды или во время работы компрессора она внезапно прекратилась, то компрессор следует немедленно остановить. Охлаждающую воду можно пускать лишь после того, как цилиндры компрессора достаточно охладятся.

13. Рабочие части цилиндров компрессора и вставные втулки (гильзы) цилиндров должны подвергаться 1 раз в 5 лет гидравлическому испытанию на давление, в полтора раза превышающее рабочее давление. После каждой проточки цилиндры и вставные втулки также подвергаются гидравлическому испытанию на указанное давление.

14. Не пускать компрессор в ход, если его предохранительные клапаны или манометры неисправны. Среди запасных частей ком-



прессора должны находиться клапаны и манометры для каждой ступени группы компрессоров одного типа. Это дает возможность производить смену частей без нарушения нормальной работы этой группы.

15. Очищать водяные рубашки цилиндров и резервуаров холодильников компрессора от грязи и накипи не реже 1—2 раз в год.

16. Наблюдать за герметичностью соединений трубопроводов. Трубопроводы должны быть плотно закреплены и не иметь вибрации.

17. Предохранять детали кислородного компрессора от попадания на них масла, для чего обезжиривать детали при помощи растворителя. Хранить детали в специальных шкафах и футлярах и обезжиривать руки при работе с ними. Следить за отсутствием малейших следов масла в дистиллированной воде, применяемой для смазки цилиндров. Тщательно наблюдать за работой маслослизывающих сальников на штоке компрессора, своевременно меняя их набивку во избежание ее замасливания.

**Детандеры.** Чтобы детандер работал безаварийно, необходимо соблюдать следующие правила:

1. Место, где установлен детандер, должно быть хорошо освещенным и чистым.

2. Ременная передача детандера должна иметь соответствующее ограждение. При обслуживании работающего детандера необходимо соблюдать осторожность, чтобы не задеть за движущиеся части машины рукой или одеждой.

3. Нельзя подтягивать соединения, трубопроводы и другие части детандера, находящиеся под давлением, а также регулировать клапаны детандера во время его работы.

4. Строго соблюдать нормы подачи масла в цилиндр поршневого детандера, не допуская излишней смазки или применяя масло не той марки, которая указана в инструкции по обслуживанию машины. Своевременно производить переключение и очистку воздушных фильтров, установленных для улавливания масла после детандера.

5. Регулярно очищать пружины предохранительного и выпускного клапанов от оседающих на них инея и льда. Своевременно производить продувку предохранительного клапана, не допуская его примерзания.

6. Систематически проверять действие регуляторов безопасности и автоматических клапанов или шиберов, прекращающих поступление сжатого воздуха в детандер, при увеличении его оборотов свыше допустимого предела.

7. При появлении стука в цилиндре или в механизме движения детандера немедленно остановить машину и выяснить причину неполадки.

8. При внезапном прекращении подачи тока или обрыве ременной передачи немедленно закрыть подачу воздуха высокого давления в детандер и затормозить машину.

9. При сборке детандера после ремонта законтривание его поршня надо производить с особой тщательностью, так как ослабление гайки крепления поршня на штоке может вызвать аварию машины.

**Воздухоразделительные аппараты.** Условия для безаварийной работы этих аппаратов заключаются в следующем.

1. При продувке частей разделительного аппарата обслуживающий персонал должен находиться сбоку от продуваемых вентилях.

2. Во время переливания жидкого кислорода из одного сосуда в другой нельзя проливать его на пол и допускать попадания кислорода на одежду и кожу обслуживающего персонала.

3. Не производить подтягивание болтов фланцев аппарата, если трубопровод находится под давлением.

4. Определять пропуски в соединениях только при помощи мыльной воды. Строго воспрещается применять для этого тлеющие предметы.

5. Осторожно обращаться с приборами для анализа азота, в которых в качестве поглотителя кислорода применяется желтый фосфор.

6. Следить за тем, чтобы корпус электровоздухоподогревателя был заземлен. Доливание воды в его ванну производить только при выключенном рубильнике подогревателя.

7. Производить в установленные сроки анализы жидкости конденсатора и испарителя на содержание в них ацетилена и прекращать работу аппарата, если содержание последнего превысит нормы, предусмотренные для данного аппарата (стр. 305).

8. Следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и соблюдать установленные для данного аппарата порядок обслуживания и технологический режим.

9. После длительной остановки воздухоразделительных аппаратов пуск их производить только после предварительного отогревания и тщательной продувки.

10. Закрывать и открывать все вентили, особенно расширительные, осторожно и постепенно, так как иначе можно нарушить процесс работы аппарата или вызвать его повреждение.

11. Отрегулировать предохранительные клапаны верхней и нижней колонн на предельное рабочее давление плюс 10% от этой величины. Проверку клапанов производить при каждом полном отогревании аппарата.

12. Если в аппарате произойдет взрыв, то немедленно выключить подачу воздуха в аппарат и остановить воздушный компрессор. Иногда при незначительной силе взрыва на его возникновение указывает глухой удар внутри аппарата, сопровождаемый внезапным падением давления воздуха в аппарате.

13. Вентиль подачи воздуха в аппарат закрывать при каждой остановке компрессора (поломка, прекращение подачи энергии и пр.).

14. Следить за тем, чтобы 2 раза в год весь аппарат подвергался пневматическому испытанию на герметичность. Давление, применяемое при испытании, должно соответствовать максимально допустимому рабочему давлению.

**Танки и газификаторы.** При обслуживании танков и газификаторов необходимо соблюдать следующие правила:

1. Предохранять танки и газификаторы от попадания в них масла и жиров.

2. Не допускать вблизи кислородного газгольдера, танка или газификатора с жидким кислородом курения и зажигания огня.

3. Газификаторы должны быть установлены в изолированных помещениях (кабинах) с отдельным входом. Во время работы газификатора под давлением, в помещении, где он установлен, не должен находиться обслуживающий персонал.

4. Не применять для отогревания вентилей и трубок танка и газификатора открытое пламя, а пользоваться для этого только сухим горячим воздухом или азотом.

5. Указатели уровня на танке, цистерне и холодном газификаторе должны находиться в исправном состоянии и быть наполненными тетрабромэтаном.

6. Систематически проверять герметичность гибких шлангов, предназначенных для переливания жидкого кислорода и не пользоваться шлангами, имеющими пропуски.

7. Подвергать газификаторы регулярному отогреванию, промывке от масла и испытанию гидравлическим давлением в сроки, установленные инструкцией по эксплуатации.

8. Своевременно промывать от масла танки и подвергать их пневматическому испытанию; тщательно удалять остатки диоксида азота из газификатора танка и коммуникаций посредством продувки горячим воздухом или горячим азотом.

**Баллоны.** Лица, работающие в наполнительной и в складе баллонов, должны хорошо знать правила эксплуатации баллонов и техники безопасности. Основными из этих правил являются следующие.

1. Руки, спецодежда и инструмент работающих не должны иметь даже следов масла; надо также тщательно следить за тем, чтобы масло не попало на вентили, прокладки и другие части кислородных наполнительных рамп.

2. Все детали наполнительных устройств (трубы, вентили и пр.), соприкасающиеся со сжатым кислородом, должны изготавливаться из красной меди и ее сплавов (латуни) или из нержавеющей стали, не окисляющихся и не горящих в кислороде. Изготовление деталей из углеродистой стали не допускается.

3. Наполнительные устройства должны быть снабжены исправными и проверенными манометрами и предохранительными клапанами; маховички всех вентилей должны открываться и закрываться от руки. Необходимо устранять резкие перегибы на соединительных трубках и следить за исправностью фибровых про-

кладок. При затягивании накидных гаек надо пользоваться специальными ключами, удерживающими штуцеры гаек от вращения, а медную трубку—от скручивания.

4. Полы в наполнительном помещении и в складе баллонов должны поддерживаться в полной исправности. Курение и зажигание огня в этих помещениях категорически запрещается.

5. Строго запрещается подтягивать гайки соединений, находящихся под давлением кислорода.

6. При появлении пропуска кислорода в месте присоединения вентиля баллона к трубе рампы или в сальнике вентиля баллон должен быть отключен от рампы, а пропуск устранен путем подтягивания соответствующего соединения. Если это не поможет, то необходимо сменить уплотняющую фибровую прокладку.

7. Открывание вентиля на кислородной рампе и баллонах следует производить очень медленно и постепенно. Сначала для того, чтобы сбросить с места клапан, надо слегка повернуть против часовой стрелки маховик вентиля. Через несколько секунд давление над клапаном уравнивается с давлением под клапаном. Только после этого можно продолжать открывание вентиля, поворачивая для этого очень медленно маховичок.

8. На вентили, приготовленные к перевозке баллонов, должны быть накручены заглушки и колпаки. При перемещении баллона на незначительное расстояние, например внутри помещения, его надо перекатывать руками, держа в слегка наклонном положении (кантовка баллонов). При перемещении баллонов на более далекое расстояние необходимо использовать тележку или переносить баллоны на специальных носилках. Категорически запрещается переноска баллона на плечах, так как при этом баллон можно уронить и он ударится об пол. При перевозке на автомашинах баллоны надо укладывать на деревянные подкладки, обитые войлоком. Погрузку баллонов необходимо производить очень осторожно, защищая их от ударов друг о друга. В летнее время, при перевозке и хранении, баллоны следует покрывать брезентом с целью защиты их от действия солнечных лучей.

9. Если в поступившем на наполнение баллоне окажется какой-либо газ, дающий с кислородом взрывчатую смесь (например, ацетилен, водород), то это может вызвать взрыв баллона. Поэтому в поступающих от потребителя на склад порожних баллонах должно быть остаточное давление  $0,5 \text{ атм}$  для того, чтобы была возможность проверить, какой газ находился в баллонах ранее. Баллоны, присланные полностью опорожненными, направляются в ремонтную мастерскую, где их подвергают продувке сжатым воздухом, азотом или промывают водой.

Находящиеся под высоким давлением баллоны со сжатым кислородом требуют самого внимательного и осторожного обращения.

В практике пользования кислородными баллонами имели место, хотя и весьма редко, случаи взрывов баллонов. Наиболее

Сильные из них причинили значительные разрушения и сопровождалась несчастными случаями.

Основными причинами взрывов баллонов являются:

- а) износ баллонов вследствие коррозии металла;
- б) дефекты, допущенные при изготовлении баллонов (трещины, илени, складки и пр.);
- в) неудовлетворительное качество металла, из которого изготовлены баллоны;
- г) нарушение основных правил обращения с баллонами, наполненными кислородом.

На заводах, производящих баллоны, осуществляется особо тщательный контроль за технологическим процессом и качеством изготавливаемых баллонов. Правильно изготовленный баллон обладает вполне достаточной прочностью и работа с ним вполне безопасна. Однако несмотря на это, осторожность в обращении с баллонами является одним из основных и обязательных условий при их эксплуатации.

## 5. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Применяемые в кислородном производстве процессы не создают непосредственной угрозы возникновения пожара в цехе. Однако некоторые особенности этого производства требуют соблюдения ряда противопожарных мероприятий. Эти особенности связаны со свойством кислорода усиливать процессы горения. Поэтому возникновение пожара в помещениях, где хранятся большие количества кислорода (в газгольдерных; наполнительных; на складах, наполненных кислородными баллонами; в помещениях для танков и газификаторов; в местах прокладки кислородопроводов и т. п.), может иметь большие разрушительные последствия.

С этой точки зрения в кислородном цехе предусмотрены необходимые противопожарные мероприятия, которые должен твердо знать обслуживающий персонал. Пожар в кислородном цехе может возникнуть вследствие:

- а) неисправности электропроводки и коротких замыканий электрической цепи;
- б) перегрузки электродвигателя;
- в) грозových разрядов;
- г) курения или зажигания в цехе огня;
- д) воспламенения насыщенных кислородом горючих предметов, как-то: прокладок кислородных вентилях, протирочных концов, одежды, а также желтого фосфора, применяемого для анализа азота.

Во избежание возможности возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила.

1. Помещения кислородного цеха должны быть достаточно просторными; пожарные проходы и запасные выходы в них не должны быть загромождены.

2. Доступ к установленным в цехе пожарным кранам, шлангам, огнетушителям и ящикам с песком должен быть свободным.

3. В цехе должны находиться противопожарные инструменты и средства защиты (лопаты, ведра, топоры, огнетушители, гидранты, вилы, ящики с песком и пр.) и обслуживающий персонал обязан хорошо знать, как ими пользоваться.

4. Хранение в кислородном цехе огнеопасных и горючих веществ (керосина, смазочных масел, обтирочного материала и пр.) может быть допущено только на специально отведенных для этого местах и в количестве не более суточного запаса, причем эти вещества должны храниться в железной посуде и ящиках.

5. Курение и зажигание огня в помещениях кислородного цеха, наполнительной и складах баллонов, а также на территории кислородного завода (кроме специально отведенных для этого мест) категорически воспрещается.

Сварка, резка, пайка и вообще все работы, связанные с нагревом деталей горелкой, паяльной лампой или электрической сварочной дугой, разрешается производить в цехе только под личным наблюдением мастера, ответственного за выполнение работ и их безопасность в пожарном отношении. Вблизи от места проведения этих работ не должны находиться горючие материалы или легко загорающиеся предметы.

7. В начале каждой смены аппаратчики обязаны проверить наличие воды в пожарном водопроводе.

Необходимо повседневно следить за отсутствием пропусков кислорода вследствие негерметичности арматуры, трубопроводов, газгольдеров и т. д. Пропуски кислорода способствуют повышению концентрации кислорода в воздухе, что усиливает пожароопасность прилегающих участков цеха. Насыщенность воздуха кислородом представляет особую опасность, если вблизи производятся ремонтные работы с применением сварки, резки или пайки. Ремонт кислородопроводов посредством сварки или пайки следует производить только после тщательной продувки их азотом, паром или воздухом с целью полного удаления кислорода.

В случае возникновения пожара в цехе обслуживающий персонал обязан:

1. Немедленно вызвать заводскую пожарную команду и принять меры к ликвидации огня или предупредить его распространение всеми имеющимися под рукой средствами. Загоревшееся масло или промасленные материалы следует тушить с помощью пенного огнетушителя, песком или азотом; при загорании изоляции электрических проводов необходимо немедленно обесточить линию; горящие деревянные предметы, бумагу, спецодежду и пр. нужно тушить водой из пожарных шлангов.

2. Остановить установку в соответствии с имеющейся инструкцией и известить администрацию цеха и завода.

3. Остаться на своих рабочих местах, выполняя распоряжения начальника смены или мастера.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое значение имеет техника безопасности в социалистическом производстве?
  2. Каковы основные источники опасностей при производстве кислорода?
  3. Какие средства индивидуальной защиты применяют в кислородном производстве?
  4. Какая помощь должна быть оказана пострадавшему от электрического тока?
  5. В чем заключаются основные условия безопасного обслуживания кислородного оборудования?
  6. Перечислите обязанности персонала цеха при аварии.
  7. В чем состоит безопасность обслуживания воздухоочистительных устройств?
  8. Перечислите меры безопасности и предотвращения аварии при обслуживании компрессоров.
  9. Изложите правила безопасного обслуживания детандеров.
  10. В чем состоят меры безопасности при обслуживании воздухоразделительных аппаратов?
  11. Какие меры предосторожности следует принимать при обслуживании танков и газификаторов?
  12. Какие меры предосторожности должны применяться при наполнении кислородных баллонов и обращении с ними?
  13. В чем заключаются противопожарные мероприятия, осуществляемые в кислородном цехе?
  14. Каковы обязанности обслуживающего персонала при пожаре в цехе?
-

## ГЛАВА XV

# ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ЭКОНОМИКА КИСЛОРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 1. ЗНАЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА

Вся хозяйственная жизнь Советского Союза определяется и направляется государственным народнохозяйственным планом. Основными задачами плана являются увеличение народного общественного богатства, неуклонный подъем материального и культурного уровня трудящихся, укрепления независимости и обороноспособности нашей социалистической Родины.

Государственный народнохозяйственный план охватывает все стороны жизни страны и в первую очередь ее социалистическую промышленность. Выполнение и перевыполнение общего народнохозяйственного плана стало основным законом развития советской экономики. Общий народнохозяйственный план складывается из планов различных отраслей промышленности и входящих в них предприятий, цехов и отдельных участков. Поэтому выполнение общегосударственного плана возможно лишь при условии выполнения своих планов всеми звеньями промышленности.

Каждый рабочий-аппаратчик, машинист и наполнитель, работающий на своем участке в кислородном цехе, должен всегда помнить, что его труд неразрывно связан с работой всей промышленности Советского Союза, что выполнение им производственных заданий помогает выполнению планов другими участками завода, предприятиями и отраслями промышленности. В конечном счете это ведет к выполнению и перевыполнению общего государственного плана.

Кислород в настоящее время необходим для большинства заводов и строек.

Иногда недостаток кислорода может вызвать задержку очень важных работ. Это налагает особую ответственность на обслуживающий персонал кислородных установок и требует от него четкой, экономичной и безаварийной работы.

Правильная организация производства и труда—важнейший фактор в деле выполнения народнохозяйственного плана каждым предприятием. От нее зависят производительность труда рабочего, с ростом которого неразрывно связано выполнение общегосударственного плана.



государственного плана и повышение материально-культурного уровня жизни трудящихся нашей страны.

Основным принципом правильной организации труда в условиях социалистического производства является широкое развитие социалистического соревнования; внедрение передовых стахановских методов работы; применение прогрессивных норм, позволяющих лучше использовать оборудование; правильная организация управления производством на основе единоначалия и внедрения хозяйственного расчета.

## 2. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Во главе завода стоит директор, в подчинении которого находятся все участки данного предприятия. Директор управляет работой завода на основе единоначалия и является лицом, ответственным за состояние и работу предприятия в целом. Обычно, на большинстве заводов, директору непосредственно подчиняются следующие отделы заводоуправления: плановый, финансовый, бухгалтерия, труда и зарплаты, отдел кадров, капитального строительства.

Первым заместителем директора на заводе является главный инженер, который руководит отделами: производственным и техническим, главного механика и энергетика, техники безопасности, подготовки кадров, центральной лабораторией, а также производственными и вспомогательными цехами.

На многих заводах у директора имеется второй заместитель по общим вопросам, в ведении которого находятся отделы: снабжения, сбыта, транспортный, административно-хозяйственный, жилищный и др.

Производственные цехи делятся на *основные и вспомогательные*. К основным относятся цехи, выпускающие на данном предприятии товарную продукцию, т. е. продукцию, идущую другим потребителям. На кислородном заводе кислородный цех является основным. Вспомогательные цехи—ремонтно-механический, энергетический, транспортный и др.—обеспечивают нормальную работу завода в целом и его основных производственных цехов. На крупных машиностроительных, металлургических, химических и других предприятиях, где производимый кислород потребляется в пределах данного завода, кислородный цех также относится к группе вспомогательных. В этом случае он входит в группу энергетических цехов, подчиняющихся главному энергетику завода. Все цехи работают на хозяйственном расчете, т. е. каждый цех имеет свою производственную программу и свою смету затрат на заданный выпуск продукции.

Кислородный цех возглавляется начальником цеха, а если цех небольшой—то мастером. На крупных кислородных заводах, где одновременно работает несколько установок, имеется еще отдельный начальник смены и сменный инженер или техник.

Обслуживание кислородной установки в целом производится рабочей бригадой, в которую входят: аппаратчик, помощник аппаратчика, машинист, помощник машиниста, наполнитель и откатчики.

В зависимости от размера и сложности данной кислородной установки состав рабочей бригады может изменяться в ту или иную сторону. Так как установка действует в течение многих дней непрерывно, то бригады работают посменно, в течение 8 час. каждая. Старшим в бригаде является аппаратчик, которому подчиняется весь остальной персонал рабочей бригады. В небольших кислородных цехах вместо начальника смены обязанности старшего по смене выполняет аппаратчик. Помимо бригады, имеется вспомогательный персонал—дежурный слесарь, дежурный электрик, уборщицы и пр.

Работа бригады должна быть организована так, чтобы выполнение заданного производственного плана (сменного задания, суточного, декадного, месячного, квартального и годового) осуществлялась при наиболее высоких техно-экономических показателях работы кислородной установки.

Выполнение и перевыполнение производственных планов, максимальное использование внутренних резервов оборудования, строжайшая экономия материалов и электроэнергии являются основными законами социалистического производства.

Для выполнения этого персонал, обслуживающий кислородные установки, должен стремиться к достижению наивысшей производительности кислородных агрегатов, к снижению до минимума простоев установки, к безаварийной работе кислородного оборудования.

### 3. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА

**Содержание плана.** Советское социалистическое народное хозяйство является плановым хозяйством. В этом состоит одно из его основных отличий и преимуществ по сравнению с хозяйством капиталистических стран, в которых все производство подчинено стихийным законам капиталистической конкуренции.

Государственный план в нашей стране является конкретным выражением политики партии Ленина—Сталина в области дальнейшего развития экономики социалистического хозяйства с целью построения коммунистического общества.

В соответствии с государственным народнохозяйственным планом устанавливаются планы производства и финансирования (промфинпланы) каждого предприятия.

Промфинплан завода состоит из следующих основных разделов:

1. Производственная программа по выпуску продукции в натуральном и стоимостном выражении.

2. Лимиты\* по численности персонала, фондов зарплаты и задания по производительности труда (план по труду).

3. Смета затрат на производство и задания по снижению себестоимости продукции (план по себестоимости).

4. Финансовый план.

5. План капитальных работ и капитального ремонта.

Для выполнения плана предприятию выделяются фонды на материалы, лимиты на электроэнергию, оборотные средства и лимиты на кредиты из Госбанка.

На основе общезаводского плана разрабатываются планы по отдельным цехам, участкам, сменам и бригадам.

**Производственная программа и ее определение.** При определении производственной программы кислородного завода или цеха за основу берутся мощности установленного оборудования с учетом его остановок на ремонт. При этом в основу кладутся средне-прогрессивные нормы использования оборудования, достигнутые передовиками производства.

Основным показателем в данном случае является *коэффициент полезного использования оборудования*, который определяется путем деления продолжительности периода получения кислорода на общую продолжительность рабочей кампании. Под рабочей кампанией понимается продолжительность работы установки от пуска до пуска.

Баланс времени (в час.) работы кислородной установки, например, производительностью 130 м<sup>3</sup>/час будет следующий:

Календарное время 24×365 . . . . .	8760
Нерабочее время 24×6 . . . . .	144
Капитальный ремонт 24×8 . . . . .	192
Промывка аппарата 24×2,5 . . . . .	60

Фонд рабочего времени установки будет равен:

$$8760 - 144 - 192 - 60 = 8364 \text{ час.}$$

Баланс времени одной кампании составит (в час.):

Длительность кампании . . . . .	600
Количество кампаний в году . . . . .	$8364 : 600 = 13,9$
Время полного отогрева . . . . .	24
В том числе	
подготовка к отогреву . . . . .	1
полный отогрев . . . . .	6
планово-предупредительный ремонт . . . . .	16
подготовка к пуску . . . . .	1
Время на накопление жидкости . . . . .	10
Время на текущий ремонт . . . . .	16
Время на частичные отогревы . . . . .	15

Следовательно, время работы установки на получение кислорода в течение одной кампании составит:

$$600 - 24 - 10 - 16 - 15 = 535 \text{ час.}$$

\* Лимит—предельная величина или предельное количество.

Тогда коэффициент полезного использования оборудования за одну кампанию будет равен

$$\frac{535}{600} \cdot 100 = 89\%$$

Возможная выработка кислорода при этом составит (в м<sup>3</sup>).

$$\text{За одну кампанию} \dots \dots \dots 130 \times 535 = 69\,550$$

$$\text{За год} \dots \dots \dots 69\,550 \times 13,9 = 966\,745$$

С удлинением кампании коэффициент полезного использования оборудования установки повышается. Так, если для нашего примера продолжительность кампании принять равной 3000 час. в год, время на текущий ремонт соответственно 30 час. и на частичные отогревы 60 час., то время работы установки на выработку кислорода составит:

$$3\,000 - 24 - 10 - 30 - 60 = 2\,876 \text{ час.}$$

Тогда коэффициент полезного использования оборудования установки будет равен:

$$\frac{2876}{3000} \cdot 100 = 96\%$$

Нормы времени технологического процесса зависят от типа установки, ее рабочего состояния и качества обслуживания. Увеличивая продолжительность кампании и снижая время на непроизводительные простои, можно повысить коэффициент использования оборудования установки и, следовательно, выработку кислорода.

На отдельных передовых заводах кислородной промышленности средний коэффициент полезного использования оборудования установок достигает 96% и выше. На некоторых заводах продолжительность кампаний установок составляет 3000—4000 час., что достигается в основном применением более совершенных способов очистки и осушки воздуха, а также использованием частичных отогревов аппарата взамен полного отогрева.

В процессе разработки плана, на основе анализа работы цеха за истекший период, выявляются производственные потери и причины, тормозящие дальнейший рост выпуска продукции и снижение ее себестоимости. С целью устранения этих препятствий совместно с общим планом составляется план организационно-технических мероприятий, создающих условия для выпуска намеченного количества продукции. Промышленно-финансовый план, объединенный с планом организационно-технических мероприятий, составляет так называемый *техпромфинплан* завода или цеха.

При составлении техпромфинплана и производственной программы учитывается также увеличение мощностей за счет ввода дополнительного оборудования, более полного использования имеющихся агрегатов и внедрения передовой техники.

**План по труду.** Основой плана по труду являются лимиты по численности персонала, необходимого для выполнения предусмотренной планом производственной программы. Эти лимиты устанавливаются по категориям работников: рабочие, инженерно-технические работники (ИТР), служащие, младший обслуживающий персонал (МОП), ученики. Определение потребности в рабочей силе производится в зависимости от количества действующего оборудования, приходящегося на одного рабочего, и количества смен.

Расчет потребного фонда заработной платы по каждой категории работающих производится на основании установленного штата обслуживающего персонала, действующих окладов и тарифных разрядов и систем оплаты труда.

**Производительностью труда** называется количество продукции (в натуральном или денежном выражении), выпускаемой цехом, приходящееся на одного рабочего. Этот показатель имеет первостепенное значение при планировании производства. Чем больше кислорода дает установка в течение квартала или года и чем меньше персонала ее обслуживает, тем выше производительность труда.

Поэтому при составлении плана по труду необходимо полностью учитывать передовой опыт стахановского обслуживания машин и аппаратуры, внедрение многоагрегатного обслуживания и совмещение профессий, что имеет в условиях кислородного производства решающее значение для выполнения заданий по производительности труда. В целях наиболее правильного и полного использования персонала производится также систематическое изучение загрузки рабочего времени. На основании полученных данных производится перераспределение обязанностей между отдельными рабочими, пересмотр норм обслуживания машин и аппаратов и высвобождение мало загруженного персонала.

**План по себестоимости** состоит в определении всех затрат на производство запланированного количества кислорода в натуральном и денежном выражении. В плане учитывается расход электроэнергии, вспомогательных материалов, заработной платы, топлива, воды и т. д. Сумма этих затрат, отнесенная ко всему плановому выпуску продукции, называется *сметой производства*, а отнесенная к единице продукции (к  $1 \text{ м}^3$  или к  $1000 \text{ м}^3$  кислорода)—*калькуляцией*.

Калькуляция цеховой себестоимости включает в себя *основные расходы* и *накладные расходы*. В кислородном производстве к основным расходам относятся: электроэнергия, каустическая сода, вода, пар, вспомогательные и смазочные материалы, заработная плата производственных рабочих.

В накладные расходы включаются: заработная плата цеховой администрации, расходы на содержание зданий и сооружений; стоимость отопления, освещения, текущего ремонта оборудования, охраны труда; амортизационные отчисления (отчисления

на восстановление капитальных средств, затраченных на строительство цеха); расходы на осуществление рационализаторских мероприятий; содержание цеховой лаборатории.

При составлении калькуляции общезаводской себестоимости к указанным выше затратам добавляются еще общезаводские расходы, к которым относятся административно-управленческие расходы по заводууправлению, по подготовке кадров, по центральной лаборатории, охране, складам, дорогам и пр.

В табл. 20 приведено сравнительное распределение затрат по себестоимости 1000 м<sup>3</sup> кислорода, для небольшой кислородной

Таблица 20

Распределение затрат на производство 1000 м<sup>3</sup> кислорода (в %)о

Статьи расхода	Установка на 100 м <sup>3</sup> /час	Станция на 10000 м <sup>3</sup> /час
Электроэнергия . . . . .	40	63
Каустическая сода . . . . .	3	0,5
Вода . . . . .	Включена в общезаводские расходы	6
Вспомогательные материалы . . . . .		—
Зарплата . . . . .	11	6,3
Отчисления на амортизацию оборудования . . . . .	17	14
Прочие цеховые расходы . . . . .	10	10
Итого цеховая себестоимость . . . . .	81	100
Общезаводские расходы . . . . .	19	—
Итого общезаводская себестоимость . . . . .	100%о	100%о

установки, производящей 100 м<sup>3</sup>/час товарного кислорода для автогенных целей, и для крупной кислородной станции, вырабатывающей 10 000 м<sup>3</sup>/час технологического кислорода.

На себестоимость кислорода в основном влияет степень использования производительности установки и величина коэффициента использования оборудования.

С целью снижения себестоимости кислорода и повышения экономичности работы установки обслуживающий персонал должен стремиться к получению от установки всего того количества кислорода, которое она может дать согласно своему паспорту.

Всякие простои и перерывы в процессе получения кислорода ведут к нарушению нормального режима работы кислородной установки, способствуют более быстрому «замерзанию» аппарата, вызывают дополнительные потери времени на восстановление режима и пр., т. е. в конечном счете ухудшают технико-экономические показатели кислородной установки и повышают себестоимость получаемого кислорода. Таким образом основной путь снижения себестоимости кислорода—это полное использование оборудования, уменьшающее удельный расход энергии на получение кислорода.

Кроме того, для удешевления получаемого кислорода применяется метод многоагрегатного обслуживания, который дает возможность сократить количество людей, обслуживающих установку, и тем самым снизить затраты на выработку продукции. Бригадир-аппаратчик должен всегда помнить, что только хорошая работа его бригады, тщательное и внимательное обслуживание оборудования, своевременный осмотр и планово-предупредительный ремонт, точное соблюдение производственных инструкций, знание всех стадий технологического процесса и особенностей работы машин и аппаратов помогут достигнуть безаварийной и экономичной работы кислородной установки.

Снижение себестоимости продукции является основной линией развития деятельности социалистического предприятия.

Товарищ Сталин еще в 1927 г. в своей речи на V Всесоюзной конференции ВЛКСМ указывал: «Основная линия, по которой должна пойти наша индустрия, основная линия, которая должна определять все ее дальнейшие шаги, это есть линия систематического снижения себестоимости промышленной продукции, линия систематического снижения отпускных цен на промышленные товары»\*.

Если завод или цех перевыполняют задание по снижению себестоимости, то они работают рентабельно, т. е. дают государству прибыль. Это укрепляет общегосударственный бюджет и обеспечивает рост накоплений в народном хозяйстве, которые используются для дальнейшего подъема промышленности и материально-культурного уровня жизни трудящихся.

В государственный доход перечисляется только часть накоплений предприятия. Остальная часть используется на расширение производства и пополнение оборотных средств предприятия, а также передается в фонд директора данного завода. Этот фонд используется на улучшение материально-бытовых и культурных условий работников завода. Таким образом в снижении себестоимости продукции заинтересовано не только государство в целом, но и каждый трудящийся.

Высокая себестоимость продукции указывает на плохую работу завода. Анализ себестоимости позволяет установить причину

---

\* И. В. Сталин, Собрание сочинений, М., Госполитиздат, 1948, т.9, стр.193.

неудовлетворительной работы, приведшей к невыполнению плана по себестоимости. Если, например, на производство кислорода затрачено электроэнергии больше, чем было предусмотрено по плану, то это указывает на плохую работу агрегатов кислородной установки, низкую производительность, частые простои, неудовлетворительное состояние оборудования и пр.

**Финансовый план.** Этим планом определяется потребность предприятия в основных и оборотных средствах и источники ее покрытия. К основным средствам относятся стоимость зданий, сооружений, машин и т. д. Оборотные средства идут на заработную плату, на оплату сырья, топлива, электроэнергии, вспомогательных материалов, на покрытие стоимости заказов материалов и т. д. Эти затраты называются *оборотными* потому, что они возмещаются в последующем выручкой от реализованной продукции. Чем лучше работает завод, тем быстрее реализуется его продукция, тем меньше ему требуется оборотных средств для нормального ведения производства и тем больше прибыли он дает государству. Наоборот «замораживание» оборотных средств, происходящее, например, вследствие накопления излишних запасов материалов и готовой продукции на складах, наносит большой ущерб народному хозяйству. Поэтому борьба за ускорение оборачиваемости денежных средств имеет очень важное значение.

Выполняя свое сменное задание, каждый рабочий бригады, обслуживающий кислородную установку, способствует выполнению народнохозяйственного плана в целом. Поэтому в борьбе за выполнение и перевыполнение производственного плана необходимо широко развернуть социалистическое соревнование; изучать и распространять опыт лучших стахановцев, делая его достоянием всех рабочих; проявлять инициативу, изобретательность; повышать свой идейно-политический, культурный и технический уровень.

#### 4. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА

**Техническое нормирование.** Техническое нормирование служит основой для разработки плана завода или цеха и имеет целью улучшить использование оборудования кислородной установки, повысить производительность труда и заработную плату обслуживающего персонала и снизить себестоимость продукции.

Нормированию подлежат производительность установки, коэффициент использования оборудования и затрата рабочего времени на его обслуживание. При этом устанавливаются *норма выработки* и *норма времени*.

Нормой выработки называется количество продукции, выпускаемой одним рабочим за определенный промежуток времени.

Нормой времени называется количество рабочего времени в человеко-часах, затрачиваемое на выпуск единицы продукции (1 м<sup>3</sup> или 1000 м<sup>3</sup> кислорода).



Среднепрогрессивные нормы показателей работы установки определяются на основе применения наивыгоднейших технологических режимов и наилучшего использования оборудования, устойчиво достигнутых передовиками производства на данном предприятии. Среднепрогрессивные нормы дают возможность ускорить рост нашей социалистической промышленности и повысить производительность труда всех рабочих до уровня передовых. Они способствуют сокращению трудовых затрат, расхода материалов и электроэнергии; снижению потерь в производстве; улучшению качества получаемого кислорода. Для внедрения среднепрогрессивных норм необходимо проведение соответствующих организационно-технических мероприятий.

В условиях нашего социалистического народного хозяйства непрерывно улучшается организация труда, повышается технический уровень производства и вводится ряд улучшений, способствующих росту производительности оборудования, уменьшению трудовых затрат, снижению себестоимости получаемого кислорода. Поэтому однажды установленные нормы не являются чем-то неизменным, а подвергаются систематическому пересмотру в плановом порядке. Такой пересмотр норм способствует увеличению производительности труда и повышению заработной платы рабочих.

**Заработная плата.** Правильно построенная система заработной платы является важнейшим фактором в деле повышения производительности труда, снижения себестоимости и улучшения качества продукции. В социалистическом обществе труд оплачивается в соответствии с его количеством и качеством. Развитие общественного производства в нашей стране непосредственно связано с личной заинтересованностью трудящихся.

В решениях XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б) подчеркнуто: «Необходимо . . . в области заработной платы строго и последовательно проводить принцип материального поощрения хорошо работающих; осуществляемый в виде сдельной системы оплаты для рабочих, премиальной системы для руководящих работников и в виде большей оплаты квалифицированного труда, сравнительно с неквалифицированным»\*.

В кислородной промышленности для оплаты работы применяются следующие системы оплаты труда, в зависимости от характера работы, размера производства и других условий.

**Сдельная,** когда рабочему данной профессии и разряда назначают заранее установленный в соответствии с нормой расценки за единицу продукции, например 1 м<sup>3</sup> кислорода. Чем больше кислорода будет выпущено, тем больше будет заработок рабочего.

**Сдельно-прогрессивная,** когда рабочий при выполнении плана получает оплату по повышенному расценку за каждую единицу продукции, полученную сверх нормы. Эта система оплаты наи-

---

\* Резолюция XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б), Госполитиздат, 1941, стр. 11.

более совершенна, так как способствует повышению производительности агрегатов, снижению себестоимости кислорода и увеличению заработка рабочих.

**Повременная** оплата производится за проработанное время без учета количества выпущенной продукции. Обычно эта система применяется для вспомогательных рабочих: дежурных слесарей, электриков и др.

Кроме того, на некоторых кислородных заводах применяется премиальная система дополнительной оплаты за безаварийную работу кислородного оборудования и экономию электроэнергии.

## 5. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

Чтобы оборудование кислородной установки находилось в хорошем состоянии, оно должно регулярно подвергаться *профилактическому осмотру, планово-предупредительному ремонту и капитальному ремонту.*

**Профилактический осмотр** всех машин кислородной установки производится ежегодно в сроки, установленные графиком. При этом с целью своевременного обнаружения повышенного износа, трещин и др. дефектов осмотру подвергают болты крепления, рабочие поверхности цилиндров, клапаны, шатуны, ползунки и их направляющие, коленчатые валы, холодильники, баллоны осушительных устройств и пр. Осмотр производится обслуживающим персоналом и сменными слесарями. Одновременно с осмотром производят работы по очистке оборудования и устранению замеченных дефектов.

Для нормальной работы установки и сокращения времени простоя оборудования в цехе находится установленный комплект запасных частей. Осмотр, очистка и промывка цилиндров и клапанов кислородных компрессоров производятся при каждой остановке кислородного аппарата на отогревание.

**Планово-предупредительный ремонт** производится во время остановки кислородной установки на отогревание, до или после отогрева аппарата, и выполняется обслуживающим персоналом установки и сменными слесарями. В их обязанности при проведении планово-предупредительного ремонта входят: пришабривание и перетяжка подшипников; смена сальниковой набивки и поршневых колец последней ступени компрессора; перешивка приводного ремня; промывка рубашек цилиндров и очистка холодильников; смена и ремонт клапанов; смена манжет поршней кислородных компрессоров и детандеров; замена прокладок фланцевых соединений и пр. Этот вид ремонта является основным для поддержания оборудования установки длительное время в работоспособном состоянии.

**Капитальный ремонт** производится 1 раз в год в установленное для данного цеха время. Этот вид ремонта служит для восстановления изношенного оборудования установки и требует обычно полной разборки соответствующих машин и аппаратов. Он

выполняется, в зависимости от располагаемых возможностей, силами главного механика данного завода с участием обслуживающего персонала кислородного цеха или с привлечением других предприятий. В последнем случае машины и аппараты для ремонта демонтируют и направляют на другой завод. При этом проверяют состояние фундаментов машин и выверяют их.

Перед сдачей в капитальный ремонт оборудование должно быть тщательно очищено и промыто и в случае необходимости упаковано для отправки. После капитального ремонта оборудование подлежит испытанию в работе и приемке по акту соответствующей комиссией.

## 6. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СТАХАНОВСКОЙ РАБОТЫ В КИСЛОРОДНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Социалистическое соревнование и его высшая форма—стахановское движение являются основными методами общественного труда при социализме и построении коммунистического общества.

Товарищ Сталин учит нас, что социалистическое соревнование есть коммунистический метод строительства новой жизни. «Самое замечательное в соревновании,—говорит товарищ Сталин, состоит в том, что оно производит коренной переворот во взглядах людей на труд, ибо оно превращает труд из зазорного и тяжелого бременя, каким он считался раньше, в дело *чести*, в дело *славы*, в дело *доблести* и *геройства*»\*.

Выступая перед избирателями Сталинского округа Москвы 9 февраля 1946 г., товарищ Сталин показал величественные перспективы дальнейшего развития всего нашего народного хозяйства.

Итоги выполнения планов послевоенной Сталинской пятилетки показывают что наша страна уверенно идет по этому пути. Массовое развитие стахановского движения и социалистического соревнования помогает успешно решать задачи дальнейшего подъема и развития народного хозяйства.

Стахановское движение создает основу для повышения общего культурно-технического уровня рабочего класса, преодолевает разрыв между физическим и умственным трудом.

Товарищ Сталин учит, что стахановское движение обязательно связано с новой техникой. Выступая на Первом всесоюзном совещании стахановцев 17 ноября 1935 г., товарищ И. В. Сталин сказал: «Стахановское движение было бы невысказано без новой, высшей техники»\*\*.

Чтобы иметь возможность действительно по-стахановски обслуживать агрегаты кислородной установки, аппаратчики, машинисты и другой персонал должны в совершенстве овладевать техникой кислородного производства, стать рационализаторами

---

\* И. В. Сталин, Сочинения, М., Госполитиздат, 1949, т. 12, стр. 315.

\*\* И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. XI, Госполитиздат, 1939, стр. 493.

и проводниками новой техники и культуры производства, так как это является одним из главнейших условий стахановской работы.

\* \* \*

Рассмотрим основные направления работы стахановцев-кислородчиков, которые благодаря образцовому обслуживанию оборудования и внедрению рационализаторских мероприятий добились высоких показателей работы ряда кислородных установок.

**Максимальное увеличение производительности кислородной установки.** Способы увеличения производительности установки основаны, во-первых, на увеличении количества воздуха, подаваемого в разделительный аппарат. Для этого используется поддув в основной компрессор, увеличение числа его оборотов, включение нескольких компрессоров на параллельную работу, сокращение потерь воздуха. Во-вторых, повышение производительности установки достигается путем уменьшения потерь кислорода с отходящим азотом и уменьшения потерь, происходящих вследствие негерметичности коммуникаций.

Например, на одном из заводов на установке производительностью  $30 \text{ м}^3/\text{час}$  был применен поддув в первую ступень воздушного компрессора, в результате чего производительность установки увеличилась на  $52\text{—}57 \text{ м}^3/\text{час}$  кислорода при чистоте отходящего кислорода  $97\text{—}98\%$ . Общий расход энергии при этом снизился с  $1,6$  до  $1,4 \text{ квт-ч}/\text{м}^3$ .

Если подача дополнительного количества воздуха в установку требует нового оборудования и не всегда зависит от обслуживающего персонала, то все остальные пути повышения производительности, связанные с сокращением потерь воздуха и кислорода, всецело зависят от работы обслуживающей бригады и могут быть полностью ею использованы.

В данном случае повышение производительности установки будет зависеть от:

1) содержания машин и аппаратов в полном порядке и чистоте и своевременного выявления имеющихся дефектов в работе оборудования;

2) строгого соблюдения планово-предупредительного ремонта оборудования и высококачественного выполнения его;

3) состояния воздушного компрессора и систематического проведения мероприятий по увеличению коэффициента его подачи;

4) тщательного устранения пропусков воздуха в арматуре и коммуникациях;

5) сокращения потерь воздуха при продувках масло-водоотделителей;

6) тщательного регулирования работы кислородного аппарата с целью получения наибольшей чистоты отходящего азота при максимальном выходе кислорода установленной чистоты;

7) полной герметичности кислородного компрессора, газгольдера, наполнительной рампы и коммуникаций с целью устранения потерь кислорода.

Стахановцы-кислородчики должны иметь ясное представление о материальном балансе работы своей установки. Для этого они должны строго следить за использованием воздуха, перерабатываемого в установке, и за величиной потерь воздуха и кислорода. Необходимо также обращать самое серьезное внимание на контроль работы установки: на определении чистоты кислорода и азота и на измерение количества получаемого кислорода. Только в этом случае они смогут установить действительный материальный баланс установки и принять нужные меры к поднятию ее производительности.

**Увеличение времени полезной работы оборудования и сокращение простоев.** Эти мероприятия увеличивают общее количество кислорода, получаемого установкой за определенный период времени—рабочую кампанию, квартал, год. Чтобы увеличить время полезной работы оборудования и сократить простой необходимо:

- 1) применять вместо полных отогреваний кислородных аппаратов частичные и местные отогревы;
- 2) строго наблюдать за состоянием и работой оборудования и за проведением его отогревания;
- 3) тщательно осуществлять очистку воздуха от углекислоты и осушку его от влаги, так как использование чистого и сухого воздуха увеличивает продолжительность рабочих кампаний агрегатов между двумя остановками на отогрев.

На одном из передовых кислородных заводов была внедрена осушка воздуха вместо каустика, силикагелем и широко применены частичные отогревы аппарата. В результате продолжительность рабочей кампании установки возросла с 600 до 3800 час. При этом время, затрачиваемое на отогрев и пуск установки, снизилось с 4,4 до 0,7% от общей длительности кампаний.

На многих кислородных заводах бригады берут на социалистическую сохранность обслуживаемое ими оборудование. Так, например, на одном из заводов 17 рабочих кислородного цеха приняли на социалистическую сохранность 28 единиц установленного оборудования. Тщательным и своевременным проведением профилактического осмотра и плано-предупредительного ремонта они значительно удлинит время бесперебойной работы этого оборудования.

**Сокращение расходных коэффициентов энергии и материалов.** Сокращение удельного расхода электроэнергии дает проведение следующих мероприятий:

1. Увеличение общей производительности установки и сокращение потерь воздуха и кислорода; вследствие этого уменьшается удельный расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> получаемого кислорода.
2. Повышение изотермического к. п. д. воздушного компрессора, что достигается тщательным наблюдением за состоянием деталей компрессора, отсутствием излишних потерь мощности на трение, правильной смазкой трущихся частей, правильным регулированием работы распределительных клапанов компрессора.

Особенно большое значение имеет хорошее охлаждение газа в рубашках цилиндров и промежуточных холодильниках компрессора.

3. Сокращение затраты энергии при холостой работе установки в пусковой период, а также в периоды отогрева. Это достигается путем сокращения времени отогрева и пуска установки, а также уменьшением количества отогревов, наблюдением за состоянием электропечи для подогрева воздуха, использованием для нагревания воздуха теплоты сжатия воздуха в компрессоре и т. п.

4. Наблюдение за состоянием изоляции и работой теплообменника и аппарата с целью сокращения потерь холода в установке и снижения величины рабочего давления воздуха перед теплообменником.

5. Своевременная остановка кислородного аппарата на частичный, местный и полный отогрев для того, чтобы избежать работы на повышенном давлении воздуха перед теплообменником.

6. Повышение к. п. д. детандера в установках для получения жидкого кислорода, а в установках с аммиачным охлаждением — к. п. д. аммиачного компрессора.

Используя перечисленные мероприятия, ряд кислородных заводов работает 1—2 дня в месяц за счет достигнутой экономии электроэнергии.

Для сокращения удельного расхода каустической соды необходимо:

- 1) увеличивать общую производительность установки по кислороду;
- 2) вести тщательный контроль за использованием раствора каустика в декарбонизаторах и скрубберах;
- 3) улавливать каустик при продувке осушительных батарей каустика и использовать отработанный в осушительных батареях каустик для приготовления раствора для декарбонизаторов;
- 4) сокращать потери каустика при его дроблении;
- 5) применять последовательное включение двух скрубберов с максимальным использованием раствора в первом по ходу воздуха скруббере.

Для сокращения удельного расхода охлаждающей воды необходимо следить за работой и состоянием холодильников компрессора и регулировать поступление воды в них; производить своевременную и тщательную очистку холодильников от накипи и нагара.

Сокращение расхода масла достигается путем тщательного регулирования подачи масла к местам смазки машин, а также устройством приспособлений для улавливания, охлаждения и очистки отработанного масла.

**Многоагрегатное обслуживание и совмещение профессий.** На ряде кислородных заводов стахановцы-аппаратчики, машинисты и наполнители настолько хорошо освоили технику своего дела, что перешли на обслуживание нескольких агрегатов и совмещают профессии.

Так, например, на тех заводах, где имеется два или три кислородных аппарата, стоящих в общем машинном зале, обслуживание их производит один аппаратчик; один машинист обслуживает несколько воздушных и кислородных компрессоров; две бригады, состоящие из аппаратчика и машиниста, обслуживают три кислородные установки; один наполнитель обслуживает две наполнительные рампы и совмещает профессию наполнителя и откатчика; машинист совмещает свою профессию с профессией дежурного слесаря или дежурного электромонтера и т. п.

**Повышение идейно-политического уровня и деловой квалификации.** Изучение основ марксизма-ленинизма, хорошая техническая подготовка, тщательное изучение теории и практики кислородного производства с целью повышения квалификации являются важнейшими условиями овладения методами работы стахановца-кислородчика.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит основное значение организации труда в социалистическом производстве?
2. Как организовано управление предприятием?
3. Какие цехи называются основными и какие вспомогательными?
4. Из чего состоит техпромфинплан предприятия и как он связан с общегосударственным народнохозяйственным планом?
5. На основе чего определяется производственная программа цеха и завода?
6. Какое значение имеет снижение себестоимости продукции в социалистическом производстве?
7. Из каких расходов складывается калькуляция себестоимости получения кислорода?
8. Что такое техническое нормирование и каковы его задачи?
9. Что такое норма выработки и норма времени?
10. На основе каких норм составляется план предприятия?
11. Почему и с какой целью производят пересмотр норм?
12. Какие системы оплаты труда применяют в кислородном производстве?
13. Как организован ремонт оборудования и какие существуют виды ремонта?

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Глизманенко Д. Л., Основы кислородного производства, Гостехиздат, 1947.
2. Буткевич К. С., Ишкин П. П. и др., Эксплуатация кислородных установок, Машгиз, 1949.
3. Герш С. Я., Глубокое охлаждение, ч. II, Издательство «Советская наука», 1949.
4. Френкель М. П., Поршневые компрессоры, Машгиз, 1949.
5. Гусев В. Ф., Монтаж и наладка турбокомпрессоров, Машгиз, 1951.
6. Лисичкин В. Е. и Горшков А. М., Компрессорные машины, Госэнергоиздат, 1948.
7. Беляков В. И. и Галицкий Б. А. Технология компрессоростроения. Машгиз, 1949.
8. Бюллетень „Кислород“, издание Главкислорода МХП за 1946—1951 гг.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адсорбент 103  
 Адсорбер ацетиленовый 106, 199 сл.  
 Азот 23, 47  
     жидкий 13, 57, 78  
     —температура кипения 13  
     —определение чистоты 293  
 Аммиак 23, 50 312  
 Аммоний хлористый 55  
 Амперметр 306  
 Анализ газов 291 сл.  
 Аппарат(ы)  
     кислородно-аргонный 88, 89, 272 сл.  
     кислородный 41 сл., 241 сл.  
     —блок разделения 81, 201  
     —изоляция 201  
     —материальный баланс 44  
     —нарушения нормального режима 245  
     —обслуживание при установившемся режиме 244  
     —остановка 247  
     —отогрев 248 сл.  
     —подготовка вентиляей к местному обогреву 251  
     —к пуску 241  
     —показатели нормального режима 244  
     —проверка герметичности 256  
     —промывка 252  
     —просушка 255  
     —пуск и установление нормального режима 242  
     —расстройство режима 256  
     —расход дихлорэтана при промывке 255  
     —расширительные вентили 246, 247, 250  
     —щит управления 202, 203  
 Аппаратура  
     для осушки воздуха 101, 109 сл.  
     для очистки воздуха от ацетилена 200  
     — от углекислоты 94 сл., 99 сл.  
 Аргон 23, 47, 88  
     анализ 273  
     получение 88, 195
- Ацетилен 49, 197 сл.  
     наличие в конденсаторе 198  
     нормы содержания в жидком кислороде 305  
     прибор для определения его в жидком кислороде 303  
     четырёхбромистый 54
- Баббит 156  
 Баллоны  
     для сжатых газов 232 сл.  
     испытание 236 сл.  
     контроль на складе 307  
     коррозия 235  
     наполнение кислородом 232 сл.  
     окраска 233  
     определение остаточной деформации 237  
     правила эксплуатации 319  
     причины взрывов 321  
     хранение 235 сл.  
 Батареи осушительные 102 сл.  
     обслуживание 109, 110  
 Блок разделения 81, 201 сл.  
*Бойля-Мариотта* закон 20, 26
- Вакуум 19  
 Вата шлаковая 54, 201  
 Ваттметр 306  
 Вентиль(и)  
     двойной 105, 106  
     для баллонов 68  
     запорные высокого давления 63  
     расширительные 64, 65, 260  
 Весы газовые 297, 298  
 Влага, вымораживание 108  
 Вода  
     дестиллированная 53  
     охлаждающая 55  
 Водород 13, 23, 47  
 Вольтметр 306  
 Воздух 23  
     абсолютная влажность 48  
     атмосферный 47  
     жидкий 13, 18, 57  
     —испарение 37  
     —ректификация 37, 195  
     —схема процесса многократного испарения и конденсации 38, 39



Воздух конденсация 37  
машины для сжатия 113 сл.  
обогащение 14  
осушка 48, 101 сл.  
очистка 49, 94 сл., 99 сл., 187  
разделение 13, 41  
расширение в турбодетандере 172  
сжатый 56  
температура после дросселирова-  
ния 27, 29  
технологический процесс разделе-  
ния 241  
установка для осушки твердым  
адсорбентом 104  
Вымораживание влаги 108

### Газы

анализ 291 сл.  
давление 18  
измерение количества 277  
критическая температура 22, 23  
критическое давление 22, 23  
редкие 47  
свойства 18  
сжижение 22, 23  
теплоемкость 21  
Газгольдер(ы) 205, 250 сл.

### Газификаторы 224 сл.

обслуживание 228 сл., 319  
подогреватель 227  
теплые 224  
—взрыв 253  
—потери жидкого кислорода на  
испарение при заливке 225  
холодные 225 сл.

### Газификация топлива 15

Газоанализатор кислородный магнит-  
ный непрерывного действия 292, 293

### Гей-Люссака закон 20, 26

### Гелий 23, 47

Гигрометр 299, 300

Глинозем активный 50, 103, 108

### Давление 18

измерение 281  
критическое газов 22, 23

Декарбонизатор 97 сл.

### Демпфер 177

Детандер 25, 29, 88

адиабатический к. п. д. 171  
величина линейного вредного прос-  
транства цилиндра 179  
изготовление кожаных манжет 181  
—клапанов 179, 180  
конструкция 168 сл.  
неполадки в работе 176  
остановка 175

### Детандер

поршневой 113 сл., 166 сл.  
—обслуживание 175 сл. 317  
—принцип действия 616  
регулирование холодопроизводи-  
тельности 167, 168  
ремонт 179 сл.  
схема холодильного цикла сред-  
него давления 29, 30  
температура воздуха в конце рас-  
ширения 29  
техническая характеристика 168 сл.

Диафрагмы измерительные 278

Дифманометр 93

Дихлорэтан 53, 254, 255, 312

Дросселирование 25, 26

Задвижки 62

### Закон

Бойля-Мариотта 20, 26

Гей-Люссака 20, 26

Кали едкое 55

Камеры пыльные 92

Килограмм-калория 21

### Кислород

газообразный 82

—медицинский 56, 295

—получение 76, 241

—технический 56

жидкий 11, 13, 57, 72

—контроль на содержание ацети-  
лена 302 сл.

—температура кипения 13

наполнение баллонов 232 сл.

определение вредных примесей  
295 сл.

—содержания влаги 299

—газообразных кислот и осно-  
ваний 296

—окси углерода 295

—углекислого газа 296

—чистоты 291

осушка баллонов 235

получение 12, 13, 71 сл.

прибор для определения влажно-  
сти 300

—содержания в техническом  
азоте 294, 295

содержание в жидкости и паре при  
различных давлениях 36

технологический 57, 86, 241 сл.

учет выработки по баллонам 278

хранение 205 сл.

Кислородная установка см. Установ-  
ка кислородная

Кислородно-аргонный аппарат 88, 89,  
272 сл.

Кислородное производство, контроля  
276 сл.

- Кислородный аппарат см. Аппарат кислородный
- Кислота(ы)  
определение содержания в кислороте 296  
соляная 55
- Клапаны  
автоматические регенератора 191, 192  
детандера 179, 180  
компрессора 126  
обратные 66  
предохранительные 67, 68  
принудительного действия регенератора 189, 190
- Клингерит 55
- Коллекторы наполнительные 233 сл.
- Колонны  
аргонные 272 сл.  
отогревание 261  
ректификационные 40, 195 сл.  
—тарелки 196, 197
- Кольца поршневые компрессоров, типы замков 125
- Кольцо маслобрасывающее вертикального компрессора 124
- Компенсаторы 60
- Компрессор(ы)  
воздушные 124, 315  
вредное пространство 114  
заливка подшипников 156  
кислородные 210 сл.  
—обслуживание 216, 315  
—пуск 216  
—ремонт 217  
—смазка шатунно-кривошипного механизма 211  
—техническая характеристика 211  
—уплотняющие кольца 216  
—устройство для смазки цилиндров 214  
—для улавливания дистиллированной воды и кислорода 214, 215  
коленчатые валы 119  
клапаны 126  
коэффициент подачи 116  
многоступенчатый воздушный 118  
—горизонтальный марки 59-14-220  
—поршневой 116  
—производительность 118  
нагарообразование 131  
нормы подачи масла в цилиндры 135  
обкатка 163, 164  
объемный к.п.д. 115  
одноступенчатые 113 сл.  
подшипники 123, 154  
поршневые, изготовление котец 158  
—неполадки в работе 142 сл.  
—обслуживание 139 сл.  
—пуск 140  
—ремонт 157
- Компрессор(ы) поршневые  
—стук в частях 145  
—установка поршней в цилиндра 159  
притирка клапана 161  
производительность 115 сл.  
пятиступенчатый марки 59-14-220 116, 117  
разборка 152  
ремонт 152  
—клапанов 160  
—коленчатого вала 153  
—подшипников 154  
—приводного ремня 162  
—сальников 158  
—холодильников 161  
—штоков 158  
сальники 125  
сборка 152  
смазка 131 сл.  
станины 119  
степень сжатия 117  
холодильники 127 сл.  
цилиндры 119  
шатуны 119  
электродвигатели 130
- Конденсаторы 192 сл.  
отогревание 261  
ремонт 194
- Контроль уровня жидкости 286 сл.
- Коэффициент  
использования оборудования 327  
обогащения 41  
полезного действия адиабатический, детандера 171, 173
- Криптон 23, 47  
Ксенон 23, 47
- Логометры 283, 285  
Лубрикатор 133
- Магnezия углекислая 54
- Манометр 281
- Масло  
для смазки цилиндров детандера 52  
компрессорное 51, 134, 135  
машинное 51  
трансформаторное 52  
турбинное 51
- Масловодоотделитель 101 сл.  
обслуживание 111  
продувка 109
- Машины для расширения воздуха 166 сл.  
для сжатия воздуха 113 сл.
- Мембранный указатель уровня 287, 290
- Метил оранжевый 55
- Многоагрегатное обслуживание 338
- Мыльная щелочная эмульсия 53

жидкого кислорода 218 сл.  
—двухступенчатый высокого давления конструкции Дробинина и Дунаева 222, 223  
—конструкции 218, 219  
—неполадки в работе 222  
—обслуживание 223  
—сальник 220, 221  
—техническая характеристика 220  
—цилиндр 220, 221  
жасляный высокого давления 133, 134  
щелочные 96, 97  
жредкий 49, 96, 99, 102, 301 и 23, 47  
жно-геливая смесь 57  
  
жюкратная ректификация 41  
жюж, определение содержания в кислороде 296  
жюметр 283  
жюорганизация труда 324 сл.  
жюушительная батарея, обслуживание 109  
  
жюнит 55  
жюогаллол 55  
жюотителя регенерация 111  
жюгреватель газификатора 227  
жюбор(ы)  
жюдля определения ацетилена в жидком кислороде 303  
жю—влажности кислорода 300  
жю—содержания кислорода в техническом азоте 294, 295  
жю—углекислоты в воздухе 297  
жю—чистоты кислорода 291  
жюэлектроизмерительные 306  
жюПроизводительность труда 329  
жюПротивопожарные мероприятия 321  
жюПыльные камеры 92  
  
жюРазрежение 19  
жюРампы наполнительные 233 сл., 239 сл.  
жюРастворы  
жюприменяемые для поглощения углекислоты из воздуха 100  
жюэталонные 304  
жюРасходомеры 279  
жюРегенераторы 79, 186 сл.  
жюРегенерация поглотителя 111  
жюРедкие газы 47  
жюРектификационные колонны см. Колонны ректификационные  
жюРектификационные тарелки см. Тарелки ректификационные  
жюРектификация  
жювоздуха 37

Ректификация  
двукратная 42, 72 сл.  
жюжидкого воздуха 195  
жюоднократная 41  
жюРемонт оборудования, организация 231  
жюРотор турбокомпрессора 135  
  
жюСалькомин 12  
жюСальники  
жюкомпрессоров с металлической набивкой 125  
жюнасоса для жидкого кислорода 220, 221  
жюСиликагель 50, 106, 107  
жюСкрубберы 94 сл.  
жюСовмещение профессий 338  
жюСода каустическая 49, 99  
жюСтекла эталонные 304  
жюСчетчики газовые 279  
  
жюТанки для жидкого кислорода 206 сл.  
жюконструкция 206 сл.  
жюобслуживание 209, 319  
жюТарелки ректификационные 40, 41  
жюТемпература  
жюизмерение 282 сл.  
жюкритическая газов 22, 23  
жюопределение 19  
жюсжижения газов 22, 23  
жюТеплоемкость 21  
жюТеплообменник(и) 25, 183 сл.  
жюназначение и устройство 183  
жюотогревание 261  
жюпотери холода от недорекуперации 33  
жюремонт 186  
жюсхема распределения температур 33  
жюТеплота  
жюконденсации 22, 38  
жюперегрева 22  
жюТермоманометр 285  
жюТермометры 282 сл.  
жюТермопара 282, 283  
жюТетрабромэтан 54  
жюТехника безопасности 309 сл.  
жюТехническое нормирование 332  
жюТрубопроводы кислородных установок 59 сл., 69  
жюТурбодетандер(ы) 29, 84, 88, 171 сл.  
жюактивные 172  
жю—адиабатический коэффициент полезного действия 173  
жю—рабочее колесо 172  
жюдемпфер 177  
жюобслуживание 177 сл.  
жюостановка 178  
жюрасширение воздуха 172  
жюреактивного типа 174  
жюремонт 179 сл.  
жюТурбодетандерный агрегат 173

Турбокомпрессоры 84, 135 сл.  
неполадки в работе 151  
обслуживание 144, 149, 150  
ротор 135 сл.  
смазка 138  
установка агрегата 137

Углекислый газ 23  
определение содержания в воздухе 296, 297  
— в кислороде 296

Удельный вес 19  
Удельный объем 19  
Указатели уровня 286 сл.  
Управление производством, структура 326

Установка осушительная с адсорбентом 104, 110

Установки кислородные 71  
высокого давления 257  
— двукратной ректификации 72 сл.  
— для жидкого кислорода, показатели технологического режима, 257  
— с кислородным насосом 74, 75  
— с поршневым детандером 258 сл.  
— схема 73  
— типа КГН-30, расход электроэнергии 74  
двух давлений с поршневым детандером и регенераторами 78 сл., 262, 263  
— с турбодетандером и регенераторами 84 сл.  
— и аммиачным циклом 263 сл.  
для газообразного кислорода 72  
низкого давления 87 сл.  
производительностью 30 м<sup>3</sup>/час 192, 193  
с кислородным насосом 261  
с попутным извлечением аргона 88  
среднего давления с поршневым детандером 76 сл., 258 сл.  
технологические схемы 70 сл.  
типа КГ-300-21 79, 80  
типа КГС-130-176  
типа КТ-1000 82 сл.  
типа КТ-3600 263 сл.  
— обслуживание при установленном режиме 266 сл.  
— установка блока разделения 271  
— отключение и отогревание выносного конденсатора 270

Установки кислородные  
типа КТ-3600  
— отогревание теплообменника 268  
— турбодетандера 270  
— углекислотных фильтров адсорберов 270  
— переключение теплообменника 268  
— показатели технологии режима 267  
— пуск 263 сл.  
— регулирование холодопроизводительности 268  
трубопроводы 59 сл.  
увеличение производительности

Фенолфталеин 55  
Фибра 54  
Фильтр(ы)  
воздушные 91 сл.  
войлочный 105  
детандерный 171  
масляные 48  
осушительной установки 105  
цепные 92

Финансовый план 332  
Фосфор желтый 55

Хладоагент 24  
Холодильники компрессора см. Компрессор, холодильники

Цикл холодильный 24  
высокого давления с детандером 31, 34  
использование в кислородных установках 32  
низкого давления с турбодетандером 30, 31, 34  
с расширением воздуха в детандере 28, 29  
среднего давления с детандером 29, 30

Цистерны 206 сл.

Электрический ток, защита от действия его 312  
Электродвигатели 130 сл.  
Электролиз воды 12 сл.  
Электродогреватель для азота 106, 107  
Эмульсия мыльная щелочная 53  
Эталонные растворы 304  
Эталонные стекла 304

О П Е Ч А Т К И

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
32	7 снизу	в теплообменник	в теплообменниках
50	5 сверху	железные барабаны из	барабаны из
178	12 сверху	достигает	достигнет
183	5 снизу	аппарата производитель- ностью	аппарата С-130 произво- дительностью
242	1 снизу	холодный	холодильный
259	18 сверху	93—97	98—97
306	10 снизу	сварочной	электрической

А. Л. Глизманенко

