

621.43

17-81

Д Е П

В. В. ПРОКОФЬЕВ

OF M17700

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ

450/45

В. В. ПРОКОФЬЕВ

ИНЖ.-МЕХ. ДОКЛАД МОСКОВСКОГО МЕХАНИКО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА

1972

2003

621.48
17-81

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

УСТРОЙСТВО, УСТАНОВКА,
ОБСЛУЖИВАНИЕ, НЕИСПРАВНОСТИ, РЕМОНТ

891.282
1/282.168
101-117700



НКТП СССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1983 ЛЕНИНГРАД

ЭТ-45-5-2.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Курс «Стационарные установки двигателей внутреннего сгорания» имеет целью ознакомить слушателей с установкой, условиями работы, уходом и ремонтом двигателей тяжелого типа, работающих на промышленных установках, что необходимо для каждого инженера, работающего в области эксплуатации теплосиловых станций с двигателями внутреннего сгорания для того, чтобы уметь поставить эксплуатацию таковых в условия надежности, бесперебойности, экономичности и безопасности действия.

Не приходится скрывать того обстоятельства, что очень часто, если не всегда, не только молодые инженеры, но даже инженеры со значительным стажем, но не работавшие по эксплуатации двигателей, зная очень хорошо теорию двигателей, их расчет и конструкцию, сплошь и рядом теряются в тех или иных неожиданных случаях, каковыми изобилует практика работы с двигателями, не умеют поставить двигатели в условия, наиболее благоприятные для их надежной работы, не умеют дать надлежащего ремонта двигателю, как текущего, так и капитального. Все это дается длительной практикой работы с двигателями в условиях промышленной эксплуатации, но в настоящее время, когда двигатели внутреннего сгорания приобрели большое распространение и когда мы имеем достаточно богатый опыт по эксплуатации двигателей внутреннего сгорания как у нас, так и за границей, вполне своевременно дать нашим молодым инженерам необходимые сведения по эксплуатации двигателей еще в высшей школе для того, чтобы этим самым облегчить накопление опыта в промышленной практике.

Неправильная эксплуатация двигателя внутреннего сгорания, работающего в условиях значительно больших тепловых и механических напряжений, чем паровой двигатель, очень часто вызывает простой двигателя, а с ним вместе и простой производства, приносящие предприятию колоссальные убытки; кроме того, таковая иногда влечет за собою более или менее значительные аварии двигателей, которые не только вызывают уже весьма продолжительные простои, но и представляют прямую опасность для обслуживающего персонала.

Инж. Вл. Прокофьев.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Введение	7
Глава I. Общая характеристика двигателей внутреннего сгорания	8
1. Сущность работы двигателя и отличие его от паровой машины	8
2. Использование и потери тепла в двигателе. Коэффициенты полезного действия	12
3. Преимущества и недостатки 4-тактных и 2-тактных двигателей	13
4. Преимущества двигателей Дизеля	14
5. Мощность, число оборотов и вес двигателей	14
6. Модели двигателей, строящихся заводами СССР	16
Глава II. Особенности двигателей внутреннего сгорания, как производителей механической энергии, сравнительно с паровыми установками	16
1. Экономичность двигателей внутреннего сгорания	23
2. Первоначальная стоимость дизельных и паровых станций	26
3. Перегрузка двигателей и паровых машин	28
4. Готовность двигателя к пуску и безопасность установок с двигателями	29
5. Уход за установками с двигателями внутреннего сгорания и с паровыми	30
6. Выносливость и долговечность двигателей внутреннего сгорания и паровых	30
Глава III. Влияние различных режимов работы на экономичность двигателей внутреннего сгорания	30
1. Влияние нагрузки на индикаторный, механический и экономический коэффициент полезного действия	30
2. Влияние барометрического давления и температуры воздуха на мощность двигателя	32
3. Увеличение расхода топлива на 1 л. с. ч. при недогрузках	33
4. Увеличение стоимости капитальных затрат и топлива на 1 л. с. ч. при недогрузках	34
Глава IV. Общее устройство силовой станции с двигателями внутреннего сгорания	36
1. Расположение агрегатов и вспомогательных устройств и аппаратов	44
2. Общая площадь машинного помещения и ее определение	47
3. Высота и кубатура машинного помещения	47
4. Оборудование подъемными приспособлениями	47
5. Вспомогательные помещения	55
6. Система трубопроводов на станции	60
7. Системы охлаждения двигателей	93
8. Очистка скрубберных вод	95
9. Вентиляция, освещение и отопление машинного помещения	97
10. Ограждения и противопожарные устройства	97
Глава V. Установка двигателей	97
1. Выбор места под машинное помещение	99
2. Разбивка места под фундамент	103
3. Фундаменты двигателей; устройство фундаментов	107
I. Горизонтальные двигатели	109
II. Вертикальные двигатели	110
4. Монтаж двигателя; последовательность монтажных работ	111
5. Установка фундаментной рамы (плиты)	114
6. Установка выносного подшипника	114
7. Монтаж коленчатого вала	114

8. Монтаж маховика	120
9. Монтаж станин и рабочих цилиндров; выверка порождения станины и цилиндров по коленчатому валу. Монтаж коробчатой станины	121
10. Монтаж шатунов и поршней	125
11. Установка компрессии	129
12. Монтаж регуляторного и распределительного валов	133
13. Установка цилиндровых крышек	134
14. Установка нефтяных насосов	135
15. Установка нефтяного расходного бака, нефтяных фильтров, напорного водяного бака и воздушных баллонов	136
16. Прокладка трубопроводов и прочие мелкие работы	137
17. Регулировка двигателя; проверка распределительного механизма	138
18. Установка нескольких двигателей, работающих на один трансмиссионный вал; параллельная работа двигателей	138

Глава VI. Уход за двигателями 144

1. Инструкция по уходу за двигателями Дизеля	144
I. Приготовление двигателя к пуску	144
II. Пуск в ход двигателя	145
III. Уход за двигателем во время работы	147
IV. Остановка двигателя	148
V. Неисправности в работе дизелей	149
VI. Особенности обслуживания бескомпрессорных дизелей	154
VII. Чистка и текущий ремонт	155
VIII. Мероприятия, необходимые для предупреждения аварий дизелей	157
IX. Признаки, при появлении которых двигатель должен быть немедленно остановлен	158
2. Инструкция по уходу за калоризаторным двигателем (низкого сжатия)	158
I. Приготовление двигателя к пуску	158
II. Пуск в ход двигателя	159
III. Уход за двигателем во время работы	160
IV. Остановка двигателя	161
V. Неисправности в работе калоризаторного двигателя	161
VI. Чистка и текущий ремонт калоризаторного двигателя	164
3. Инструкция по уходу за газогенераторными двигателями	165
А. Генератор	165
I. Расстонка газогенератора и подготовка к пуску в ход	165
II. Уход во время работы	165
III. Остановка газогенератора	166
Б. Двигатель	166
I. Приготовление к пуску в ход	166
II. Пуск в ход двигателя	167
III. Уход за двигателем во время работы	168
IV. Остановка двигателя	169
V. Неисправности в работе двигателя	169
VI. Чистка и текущий ремонт	172
4. Общие правила ухода за двигателями всех систем	172
I. Общие сведения	172
II. Топливо	174
III. Смазка	174
IV. Охлаждение двигателя	175
V. Хранение сжатого воздуха	175
VI. Нагрузка	176
VII. Индицирование двигателей	176
VIII. Хранение инструмента и запасных частей и наличие последних	176

Глава VII. Неисправности, поломки и повреждения двигателей и вызываемые ими аварии; их причины, предупреждение и исправление поврежденных частей 177

а) Коренной коленчатый вал	177
б) Станины, цилиндрические рубашки и втулки	185

	Стр.
в) Цилиндровые крышки	193
г) Поршни	199
д) Шатунные болты	206
е) Воздушные холодильники	214
ж) Неправильный пуск двигателя; пуск двигателя углекислотой	220
з) Гидравлические и воздухогидравлические удары	228
и) Преждевременные вспышки и взрывы форсунок	232
к) Мероприятия для предотвращения аварий двигателей. Предохранительные устройства	243
л) Неисправности двигателей, обнаруживаемые индикаторными диаграммами	249
м) Регулировка двигателей	258
Глава VIII. Использование отходящего тепла	262
Глава IX. Контроль работы станции	268
1. Контрольные испытания	268
2. Контрольные измерительные приборы: индикаторы, регистраторы нагрузки, счетчики мощности, максиметры и пиметры	278
3. Техническая отчетность станции	280
Глава X. Себестоимость энергии	283
Приложения:	
I. Обязательные постановления по технике безопасности НКТ	290
II. Литература	295

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время двигатели внутреннего сгорания занимают весьма почетное место среди машин — производителей механической энергии и имеют значительный удельный вес в энергетическом хозяйстве СССР.

По данным секции двигателей внутреннего сгорания Главметалла к 1925 г. в СССР находилось в работе двигателей внутреннего сгорания общей мощностью от 980 000 до 1 130 000 л. с., причем:

Калоризаторных	400—500 тыс. л. с.
Газовых металлургических заводов	100 " "
Газогенераторных	80 " "
Дизелей	400—450 " "

По данным обследования Отдела промэнергетики ВСНХ к началу 1925 г. имелось двигателей внутреннего сгорания, установленных до 1911 г., 31%, установленных с 1911 по 1916 г. — 50% и после 1916 г. — 19%.

С 1925/26 г. в СССР было выпущено следующее количество двигателей, стационарных и судовых: ¹

	1925/26 г.	1926/27 г.	1927/28 г.	1928/29 г.	1929/30 г.
Дизелей	28 154	39 610	45 820	75 260	121 000 л. с.
Нефтянок	29 983	42 530	63 896	87 200	167 000 "

Всего с 1925/26 г. до 1929/30 г. выпущено около 310 000 л. с. дизелей и 390 000 л. с. нефтянок.

По пятилетнему плану в 1931 г. должно быть выпущено более 250 000 л. с. дизелей, в 1932 г. — 360 000 л. с. дизелей и 300 000 л. с. нефтянок. По перспективному плану на 1934 г. предполагается возможным выпуск дизелей общей мощностью в 1 360 000 л. с.

Рост производства дизелей за границей виден из следующих цифровых данных. Завод MAN с 1897 г. по 1924 г. выпустил дизелей общей мощностью в 1 000 000 л. с., а к 1929 г. выпуск удвоился и достиг 2 000 000 л. с.; завод Зульцера с 1898 г. по 1926 г. выпустил 2 000 000 л. с., а к 1929 г. — 3 600 000 л. с. В Америке ежегодный выпуск дизелей — свыше 1 000 000 л. с.

Исключительно быстрое распространение бескомпрессорных дизелей характеризуется следующими цифрами: к началу 1929 г. в Европе и Америке было выпущено 50 000 л. с., а к концу 1929 г. — 500 000 л. с., дизелей с наддувкой к концу 1929 г. было выпущено — 300 000 л. с.

¹ Материалы к V Всесоюзному теплотехническому съезду: «Изв. Вти», № 10 (53), 1929 г., «Современное двигателестроение в СССР».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.

1. Сущность работы двигателя и отличие его от паровой машины.

По существу работы двигатель внутреннего сгорания отличается от парового двигателя (паровой машины или турбины) тем, что, в то время как в паровом двигателе тепловая энергия топлива преобразуется в механическую энергию путем передачи части тепла, выделенного при горении топлива в топке парового котла промежуточному телу — водяному пару, тепловая энергия которого в свою очередь уже преобразуется в механическую, в двигателе внутреннего сгорания тепловая энергия топлива превращается в механическую энергию при сгорании его непосредственно в цилиндре двигателя.

Следовательно, в паровой установке необходимо добавочное устройство, в котором теплота, выделяемая при горении топлива, передается промежуточному рабочему телу — пару, т. е. паровой котел, который даже при самой совершенной конструкции вызывает значительные потери тепла. Самые совершенные паровые котлы имеют к. п. д. 80—90%, т. е. от 10 до 20% тепла, заключенного в топливе, теряется.

Отсутствие такого промежуточного устройства в двигателе внутреннего сгорания и обуславливает, главным образом, его экономичность.

2. Использование и потери тепла в двигателе. Коэффициенты полезного действия.

Однако в двигателях внутреннего сгорания тоже имеют место весьма значительные потери тепла, обусловленные самым процессом сгорания топлива и конструкцией двигателей, но таковые все же позволяют достигать наибольшего из всех видов тепловых двигателей использования теплового запаса, содержащегося в топливе.

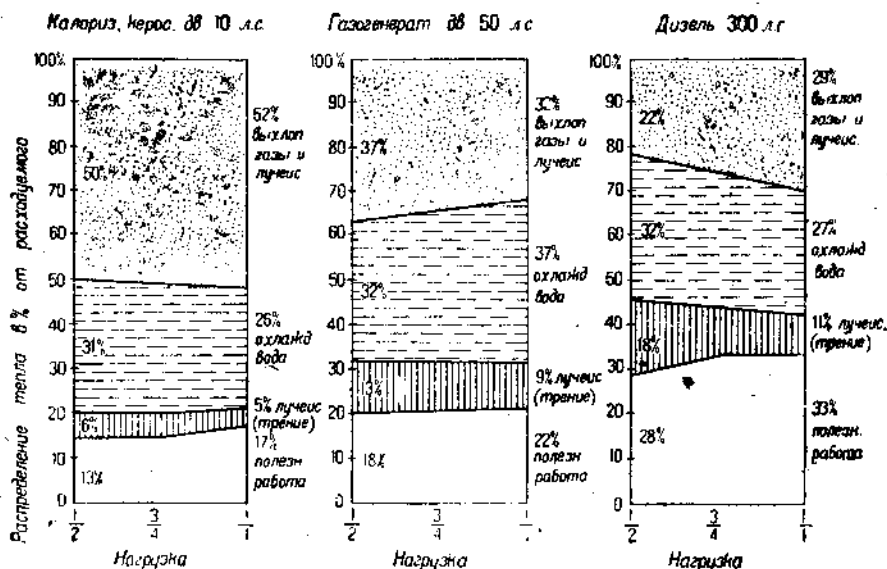
В среднем можно считать, что в двигателе используется $\frac{1}{3}$ тепловой энергии, содержащейся в топливе, а $\frac{2}{3}$ уходит неиспользованным с охлаждающей водой и отходящими газами, причем последняя распределяется приблизительно следующим образом:

	Газовый двигатель		Д и з е л ь	
	кал	%	кал	%
При расходе тепла на 1 э. л. с. ч.	2 800	100	2 000	100
Пропадает неиспользованным с охлаждающей водой	700	25	500	25
С отходящими газами	1 100	39,3	650	32,5
Потери на излучение в окружающую среду	370	13,3	220	11
Превращено в полезную работу	622	22,5	632	31,5
	2 800	100	2 000	100

Тепло, уходящее с охлаждающей водой (около 25% всего тепла), отнимается в следующих процентных отношениях в различных частях машины: при неохлаждаемом поршне 60% — стенками цилиндра и 40% — крышкой цилиндра; при охлаждаемом поршне 50% — стенками цилиндра, 25% — крышкой цилиндра и 25% — поршнем и штоком.

Распределение тепла в процентах от расходуемого по данным испытаний представлено на диаграммах фиг. 1.

Из этих диаграмм видно, что количество тепла, превращенного в полезную работу во всех типах двигателей, уменьшается с уменьшением нагрузки, и для газовых двигателей оно равно от 18 до 22%, что с учетом потерь тепла в газогенераторе дает от 15 до 18%, а в дизелях — от 30



Фиг. 1.

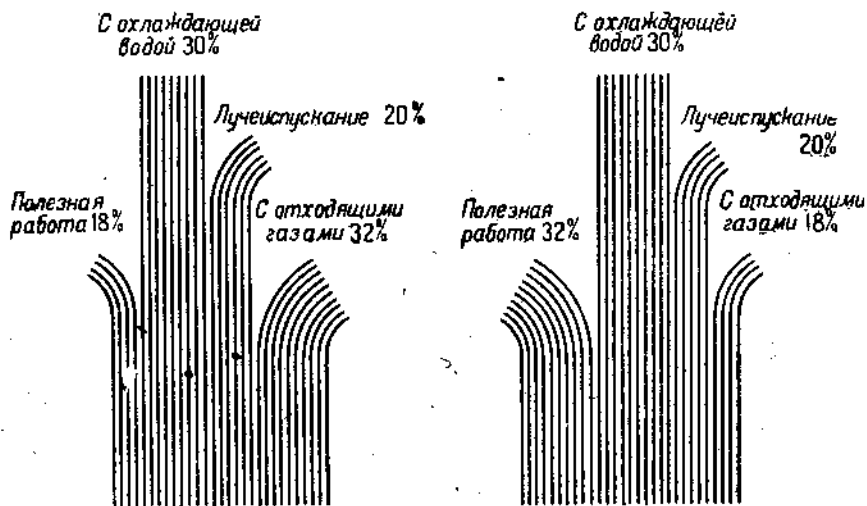
до 33%. Расход тепла на лучеиспускание (трение) с уменьшением нагрузки для всех типов двигателей увеличивается. Количество тепла, теряемого с охлаждающей водой с уменьшением нагрузки, уменьшается в газовых двигателях и увеличивается в дизелях и калоризаторных двигателях; количество тепла, уносимого с отходящими газами, с уменьшением нагрузки увеличивается в газовых двигателях и уменьшается значительно в дизелях и в меньшей степени в калоризаторных двигателях.

Приведенные диаграммы относятся к условиям лабораторных испытаний, в эксплуатационных же условиях использование и потери тепла распределяются несколько иначе, в различных двигателях различно, и в среднем примерно могут приниматься в количествах, указанных в диаграммах-потоках фиг. 2.

Имеющие место в тепловом процессе работы двигателя потери тепла определяют экономический к. п. д., который определенным образом связан с термическим, индикаторным, относительным и механическим к. п. д.

Термический к. п. д. Если Q_1 — есть количество тепла, выделенное топливом при его сгорании, а Q_2 — количество тепла, содержащееся в отходящих газах, то термический к. п. д. $\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, т. е. термический к. п. д. есть отношение количества тепла, полезно расходуемого для производства работы в идеальном круговом процессе, ко всему количеству тепла, выделенному топливом, и, следовательно, характеризует идеальный круговой процесс без всяких потерь.

Индикаторный к. п. д. есть отношение эквивалентного 1 л. с. ч. количества тепла к количеству тепла, действительно израсходованному на 1 и. л. с. ч.



Фиг. 2.

Так как механический эквивалент теплоты равен 427 кг/м, а 1 л. с. ч. соответствует $75 \cdot 3600$ кгм работы, то 1 л. с. ч. будет эквивалентна $\frac{75 \cdot 3600}{427} = 632$ кал. Если обозначить через C_1 — расход топлива на 1 и. л. с. ч., а через H — теплотворную способность топлива, то количество тепла, расходуемое на 1 и. л. с. ч. = $C_1 H$, а индикаторный к. п. д. будет $\eta_i = \frac{632}{C_1 H}$; он равен, в среднем: для калоризаторных двигателей 0,22 — 0,25; газовых двигателей 0,31 — 0,33; дизелей 0,38 — 0,45.

Относительным к. п. д. называется отношение индикаторного к. п. д. к термическому к. п. д., т. е. $\eta_r = \frac{\eta_i}{\eta_t}$, которое служит мерилем степени практического приближения действительного рабочего цикла двигателя к идеальному круговому процессу.

Механический к. п. д. есть отношение эффективной мощности двигателя к его индикаторной мощности, т. е. $\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$, где N_e — эффективная мощность и N_i — индикаторная мощность; так как эффективная мощность равна индикаторной за вычетом работы внутренних

сопротивлений (так называемой мощности холостого хода двигателя), т. е. $N_s = N_i - N_r$, то

$$\eta_m = \frac{N_i - N_r}{N_i}$$

В компрессорных дизелях из N_i вычитается мощность, расходуемая на компрессор, а в двухтактных двигателях — мощность, расходуемая на продувочные насосы N_b , и тогда

$$\eta_m = \frac{N_s}{N_i - N_b} = \frac{N_i - N_r}{N_i - N_b}$$

Эффективная мощность определяется обычно при промышленных испытаниях путем исчисления по снятым с двигателя индикаторным диаграммам индикаторной мощности и вычета из нее мощности холостого хода, определяемой также путем снятия с двигателя индикаторных диаграмм при холостом ходе двигателя; в многоцилиндровых машинах мощность холостого хода, распределяясь между всеми цилиндрами, дает очень узкие, плохо поддающиеся подсчетам среднего индикаторного давления индикаторные диаграммы, а потому при определении мощности холостого хода обычно половина числа цилиндров выключается, двигатель заставляют работать другой половиной числа цилиндров, благодаря чему индикаторные диаграммы получаются полнее и легче поддаются достаточно точному подсчету среднего индикаторного давления.

Механический к. п. д. для разных типов двигателей имеет следующие средние величины:

Для калоризаторных двигателей	0,75—0,80
„ газовых двигателей	0,80—0,90
„ дизелей компрессорных	0,75—0,85
„ „ бескомпрессорных	0,80—0,88

Экономический к. п. д., иногда называемый эффективным термодинамическим к. п. д., есть отношение эквивалентного 1 л. с. ч. количества тепла к количеству тепла, фактически расходуемого двигателем на 1 э. л. с. ч.

Если C_s — расход топлива на 1 э. л. с. ч., а H — теплотворная способность топлива, то количество тепла, расходуемого на 1 э. л. с. ч., будет равно $C_s \cdot H$, и экономический к. п. д. $\eta_e = \frac{632}{C_s \cdot H}$.

Так как $C_s = \frac{C_i}{\eta_m}$, то, заменяя в этом равенстве значение $C_i = \frac{632}{\eta_i \cdot H}$ и подставляя полученное значение в предыдущее выражение, получим, что $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$, а так как $\eta_i = \eta_t \cdot \eta_g$, то $\eta_e = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_m$.

Экономический к. п. д. в среднем равен:

Для калоризаторных двигателей	0,15—0,17
„ газовых с генератором	0,15—0,22
„ „ без генератора	0,20—0,27
„ дизелей компрессорных	0,30—0,35
„ „ бескомпрессорных	0,36—0,39

Если, например, двигатель расходует на 1 э. л. с. ч. 180 г нефти теплотворной способностью в 10 500 кал, то его экономический к. п. д. будет равен

$$\eta_e = \frac{632}{0,18 \cdot 10\,500} = 0,33.$$

3. Преимущества и недостатки четырехтактных и двухтактных двигателей.

Теоретически четырехтактный и двухтактный циклы равноценны, однако, использование тепла подчинено некоторым практическим влияниям, которые в некоторых случаях говорят в пользу двухтактных двигателей. Наиболее ощутимое из них — это то, что двухтактный процесс путем повышения давления поступающей в цилиндр смеси дает возможность более легко повышать мощность при одних и тех же размерах цилиндра, так как с увеличением количества вводимого в цилиндр воздуха представляется возможность вводить и сжигать в нем и добавочное количество топлива. Такой цикл двигателя Дизеля называется циклом с наддувкой и значительно легче осуществляется в двухтактных двигателях, чем в четырехтактных.

Внутренние сопротивления в двухтактных двигателях больше, чем в четырехтактных, так как в них таковые увеличиваются сопротивлениями продувочных насосов, которые отнимают от 8 до 10% всей индикаторной мощности, в то время как в четырехтактных на всасывание и выхлоп тратится 4 — 6% таковой; однако в двухтактных двигателях вследствие того, что площадь поршня в два раза меньше, чем у четырехтактных, размеры движущихся частей кривошипного механизма гораздо меньше и легче, а потому трение в шейках вала меньше.

В конструктивном отношении двухтактные двигатели имеют некоторые преимущества по сравнению с четырехтактными; таковые заключаются в следующем:

а) большая равномерность хода; вследствие того, что в двухтактном двигателе каждый нисходящий ход является рабочим, получается более равномерный вращающий момент при одинаковом числе цилиндров, чем у четырехтактного двигателя, что позволяет уменьшить вес маховика;

б) при одном и том же весе и занимаемом месте с четырехтактным двигателем двухтактный двигатель теоретически должен иметь в два раза большую мощность, так как число рабочих ходов у него в два раза больше; практически мощность двухтактного двигателя надо считать в 1,75—1,80 раз больше, так как, во-первых, часть мощности расходуется на приведение в действие продувочных насосов, а во-вторых, вследствие того, что для достижения наилучшей продувки отработавших газов момент их выпуска выхлопными окнами устанавливается несколько раньше, чем у четырехтактного, среднее индикаторное давление несколько понижается (у четырехтактных можно считать $p_i = 6,8 — 7,2 \text{ кг/см}^2$, а у двухтактных $p_i = 5,3 — 5,8 \text{ кг/см}^2$);

в) при одинаковой с четырехтактными двигателями мощности двухтактный занимает меньше места и весит на 20 — 25% меньше чем четырехтактный;

г) первоначальная стоимость двухтактных двигателей меньше, чем четырехтактных;

д) более простая отливка цилиндровой крышки в двухтактных двигателях вследствие отсутствия всасывающего и выхлопного клапанов; благодаря этому нагревание крышки не столь неравномерно, как в четырехтактном двигателе, что определяет большую долговечность ее.

Однако, обладая вышеуказанными достоинствами, двухтактные двигатели в конструктивном отношении имеют следующие серьезные недостатки:

а) в виду того что в двухтактном двигателе процесс продувки совершается в последнюю десятую часть хода поршня, а для совершения продувки необходим определенный промежуток времени, двухтактные двигатели не допускают большого числа оборотов, так как в этом случае двигатель не успевал бы достаточно хорошо производить продувку;

б) конструкция двигателя усложняется наличием продувочных насосов, которые требуют добавочного расхода мощности на себя.

В экономическом отношении двухтактные двигатели уступают четырехтактным, расходуя на 8 — 10% больше топлива на 1 э. л. с. ч. как вследствие вредной работы продувочных насосов, так и вследствие менее совершенной продувки отработавших газов, по сравнению с четырехтактными; свежая смесь в двухтактном двигателе недостаточно чиста, а поэтому сгорание топлива происходит не столь совершенно, как в четырехтактных. Так, для двухтактных бескомпрессорных дизелей минимальный расход нефти — 185 г на 1 э. л. с. ч., в то время как для четырехтактных — 165 г. Однако в виду того, что коммерческая экономичность двигателя зависит не только от расхода топлива, но и от других эксплуатационных расходов и условий, как-то: ремонта, ухода, надежности действия, от первоначальной стоимости (амортизации) и пр., то двухтактный двигатель в экономическом отношении приближается к четырехтактному, несколько покрывая стоимость излишнего расхода топлива меньшими другими эксплуатационными расходами.

В эксплуатационном отношении преимущество двухтактного двигателя составляют простота ухода и конструкции, меньшая чувствительность к перегрузке и изменению направления хода.

Наличие вышеуказанных достоинств и недостатков четырехтактных и двухтактных двигателей обуславливает необходимость осторожного подхода к выбору того или иного типа двигателя в зависимости от его назначения.

4. Преимущества двигателей дизеля.

В настоящее время наибольшее распространение в промышленных установках, в особенности средних и крупных мощностей, получили двигатели Дизеля как компрессорные, так и бескомпрессорные благодаря следующим своим преимуществам:

а) высокому экономическому к. п. д. 0,32 — 0,33 для компрессорных и 0,38 — 0,39 для бескомпрессорных дизелей;

б) отсутствию устройств для испарения и зажигания топлива, которое воспламеняется вследствие повышения температуры сжимаемого воздуха до 550 — 600° Ц;

в) очень малой зависимости расхода топлива от обслуживающего персонала;

г) постоянной готовности к пуску, так как не требуется никаких подогревов частей двигателя или растопки;

д) расходу топлива только во время работы;

е) малому размеру занимаемого помещения.

За последние 4 — 5 лет старые конструкции дизелей с впрыскиванием нефти посредством сжатого воздуха уступили место так называемым бескомпрессорным дизелям, в которых нефть впрыскивается или механическим способом посредством нефтяного насоса высокого давления (от 150 до 400 — 500 ат), или при помощи так называемых аванкамер,

или форкамер, в которых сначала взрывается небольшое количество нефти и силою этого взрыва вспрыскивается в цилиндр главная масса нефти. Эти двигатели в свою очередь имеют значительные преимущества перед компрессорными дизелями, а именно: 1) более высокий экономический к. п. д., доходящий в них до 0,38 — 0,39, 2) большую надежность действия вследствие отсутствия компрессора, который в компрессорных дизелях представляет собою наиболее ответственное и требующее наиболее тщательного ухода устройство вследствие высоких давлений как в самом компрессоре, так и воздухопроводах и воздушных баллонах, 3) более простую конструкцию, а следовательно, и более легкий уход в эксплуатации вследствие отсутствия того же компрессора, 4) меньшую первоначальную стоимость и 5) быстроходность, приобретающую особую ценность при непосредственном соединении двигателя с электрогенераторами, так как последний в этих случаях приобретает меньшие размеры, а следовательно, становится дешевле.

Область применения бескомпрессорных дизелей весьма обширна; в СССР можно ожидать распространения их в применении для электрогенераторов с непосредственным соединением с последним до 50 л. с. в цилиндре и до 300 л. с. в агрегате с механическим распыливанием; средних мощностей до 170 л. с. в цилиндре и до 1 000 л. с. в агрегате как с механическим распыливанием, так и аванкамерных, причем так как при этих мощностях расход топлива уже приобретает серьезное значение, то большее распространение должны получить двигатели с механическим распыливанием, как более экономичные в смысле расхода топлива; наконец, благодаря простоте конструкции, ухода и ремонта бескомпрессорных дизелей таковые должны вытеснить так называемые «нефтянки» мощностью до 50 — 60 л. с. и найти широкое применение для сельскохозяйственных надобностей малых мощностей в 10 — 20 л. с., так как по сравнению с применявшимися до настоящего времени «нефтянками» они расходуют на 40 — 50% меньше топлива; для двигателей малых мощностей наиболее выгодным будет механическое распыливание.

В СССР бескомпрессорные дизели строят следующие заводы: Коломенский — системы MAN с механическим распыливанием, «Красный пролетарий»¹ — системы Дейца с механическим распыливанием и аванкамерные, Харьковский паровозостроительный — системы Зульцера аванкамерные, «Русский Дизель» (б. Нобель) — собственной конструкции с механическим распыливанием и системы Зульцера, Сормовский и «Двигатель Революции».

5. Мощность, число оборотов и вес двигателей.

Двигатели внутреннего сгорания низкого сжатия с калоризатором строятся от 3 до 80 л. с. в цилиндре. Дизели от 10 до 1 000 л. с. в цилиндре простого действия и до 2 000 л. с. и выше двойного действия, а в одном агрегате до 12 л. с. при 6 цилиндрах (MAN и Крупп) и 15 000 л. с. при 9 цилиндрах (MAN — двойного действия); строятся дизели мощностью свыше 15 000 л. с. (21 000 л. с. зав. Бурмейстер и Вайн).

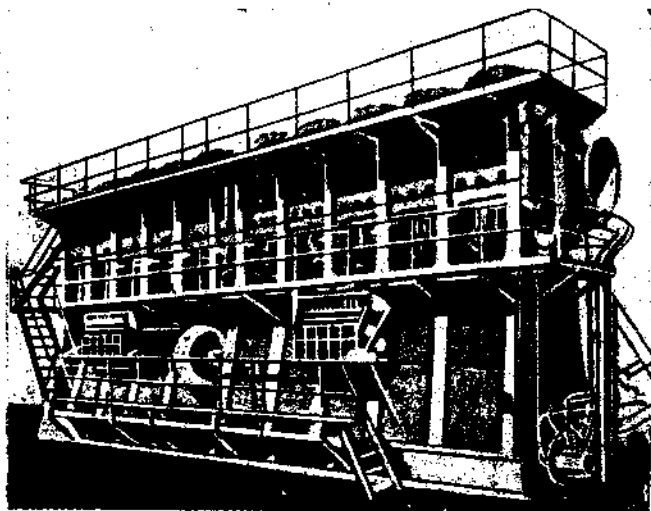
Число оборотов стационарных двигателей бывает от 80 у крупных газовых двигателей до 350 — 400 об/мин у бескомпрессорных дизелей.

¹ В 1932 г. прекращает производство.

Укажем на следующие крупнейшие, работающие в настоящее время дизельные установки.

Установка электрической станции Henningsdorf около Берлина, состоящая из двух двухтактных дизелей двойного действия завода MAN мощностью около 12 000 л. с. каждый при 215 об/мин, с диаметром цилиндров 600 мм и ходом поршней 900 мм.

Станция имеет своим назначением снятие пик берлинских электростанций в часы наибольшей нагрузки и дала следующие эксплуатационные показатели: 1) время, необходимое для пуска дизелей в ход, 2—3 мин., 2) обслуживающий дизели персонал состоит из одного машиниста благодаря исключительно совершенной механизации и отрегулировке как дизелей, так и всех вспомогательных устройств, 3) расход топлива — 173 г/л. с.-ч., 4) вес дизелей — около 25 кг/л. с., 5) стоимость установки выразилась в 0,48 долл. на 1 квт.



Фиг. 3.

На фиг. 3 изображен один из этих 10 цилиндрических дизелей; установка эта работает с августа 1929 г.

При весьма тщательно проведенном испытании механический к. п. д. этих дизелей выразился в 86,8% при половинной нагрузке и в 94,8% при полной нагрузке, а экономический к. п. д. — 34,6% при половинной нагрузке и 35,7% при полной.

Еще более крупная дизельная установка имеется на электростанции в Гамбурге, на которой установлен такой же дизель завода MAN мощностью в 15 000 л. с.

Такие же дизели мощностью около 5 000 л. с. каждый в количестве пяти агрегатов, общей мощностью в 23 875 л. с., установлены на дизельных станциях Англо-Чилийской компании в Южной Америке в м. Lautaro; той же компании принадлежит установка в 21 150 л. с. в м. Tocopilla.

Вес двигателя на единицу мощности зависит от мощности двигателя, числа оборотов, числа цилиндров и от числа рабочих тактов; двигатели с числом оборотов до 200 в минуту называются тихоходными и больше 200 об/мин — быстроходными. В таблице 1 даны средние ориентировочные веса двигателей на 1 д. л. с.

6. Модели двигателей, строящихся заводами СССР.

В таблице 2 указаны модели двигателей, строящихся в СССР, причем для полноты даны не только стационарные, но и судовые модели (по номенклатуре ВОМТ).

В связи с бурным ростом двигателестроения в СССР за последние годы как типы двигателей, изготавливаемых нашими заводами, так и их мощности подвергались значительным изменениям, и лишь в самое последнее время каждый завод строит ограниченное число моделей определенных систем и мощностей.

ГЛАВА II.

ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, КАК ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, СРАВНИТЕЛЬНО С ПАРОВЫМИ УСТАНОВКАМИ.

1. Экономичность двигателей внутреннего сгорания.

В связи с наличием в паросиловой установке промежуточного агрегата парового котла, в котором химическая энергия, содержащаяся в топливе, превращается в тепловую энергию пара, которая уже в свою очередь преобразуется в механическую энергию под поршнем паровой машины или на лопатках паровой турбины, в паросиловой установке кроме потерь в паровом двигателе имеют место потери тепла в котельной установке.

Последние состоят из: 1) потерь с отходящими газами, имеющими температуру 300 — 400° Ц, которая увеличивается при форсированной работе котла и загрязненной поверхности нагрева и понижается до 160 — 200° Ц при установке экономайзера; потери эти составляют от 8 до 11% всего тепла, содержащегося в топливе; 2) потерь от химической неполноты сгорания вследствие того, что не все топливо сгорает в CO_2 , а некоторая, хотя и очень небольшая часть его, сгорает в CO , содержание 1% которого соответствует 5 — 6% потери тепла; поэтому содержание CO в отходящих газах не должно превосходить 0,5 — 0,8%, что дает потерю от химической неполноты сгорания в 3 — 4,5%; 3) потерь от механической неполноты сгорания, т. е. вследствие невыхода топлива, золы, уноса легких частиц топлива в дымоходы и провала, которые составляют от 3 до 10% всего тепла, заключенного в загруженном в топку котла топливе; 4) потерь на излучение в окружающую среду — от лучеиспускания топкой и обмуровкой котла и непосредственного соприкосновения таковых с окружающим воздухом; эти потери, трудно считаемые и представляющие обычно остаточный член в балансе тепла котельной установки, выражаются в 5 — 6%.

Таблица 2.

Тип и марка двигателя	Мощность в 1 цилиндре л. с.	Число оборо- тов в минуту	Число цилиндров	Завод изготовл. двигатели	Примечание
Дизели по лицензии завода Зулцера					
1. Бескомпрессорные, двухтакт- ные, тип RK-80	50	300	2, 3, 4, 6	„Русский дизель“ и ХПЗ	Предполагается строить в 1931/32 г. вместо типа S-47
2 Компрессорные, двухтактные, судовые, тип S-47	200	135	4, 6	ХПЗ	
3 Бескомпрессорные, двухтакт- ные, судовые, тип SN-48	250	150	4, 5, 6	„	
4. Компрессорные, двухтактные, судовые, тип S-60	350	110	4	Николаевский судо- строительный	
5. То же, тип S-68	450	100	4, 6	„Русский дизель“ и Бал- тийский	
6. Бескомпрессорные, двухтакт- ные, судовые, тип SN-60	500	125	4, 5, 6, 7	„Русский дизель“	
Дизели по лицензии MAN					Предполагается изго- товлять
1. Бескомпрессорные, четырех- тактные, тип БК-43	50	300	3, 6	Сормовский з.	Предполагается прекра- тить с 1932 г.
2. То же, тип БК-42	39—58	275—350	3, 6	„	Предполагается изго- товлять
3. То же, тип 50-Г	62—83, 5	215—300	6	Коломенский „	
4. То же, тип 88-B	100	600	6	„	

5. То же, тип 60-Г	88, 100, 117	167, 187, 260	4, 6	Коломенский	Предполагается изготовлять
6. То же, тип БС-70	133, 150, 175	167, 187, 215	6	Сормовский	
7. То же, тип 42-БМ	180	425	6	Коломенский	
8. То же, тип 84-Г	208—263	150—187	3, 4, 6	"	
9. Компрессорные, тип КЦ-54/-0	233 310	120—160	6	Сормовский	
10. Бе. компресс., тип КЗУ-60/100	350 400	125 150	4, 6	"	То же
11. Бескомпрессорные, двухтактные, двоякого действия тип Д-Д/1	600 1000	125—215	3, 4, 5, 6	Коломенский	То же
Дизели по лиц. назн. завода Дейтца					
1. Б. компрессорные, двухтактные, тип ВМ	25	430	1, 2	„Красный пролетарий“	Предполагается к переноске с Красного пролетария на Новоярский завод в Воронежской области
2. Бескомпрессорные, четырехтактные, тип ВМ	50	300	2, 3, 4	"	
Дизели моделей заводов СССР					
1. Бескомпрессорные, четырехтактные, тип БК-38	35	300	2, 3, 4	„Двигатель революции“	
2. Компрессорные, четырехтактные, тип В 4 V-56	75	215	4	„Двигатель“	В 1932 г. предполагается перейти на производство новейших бескомпрессорных дизелей

Тип и марка двигателя	Мощность в 1 цилиндре л. с.	Число оборо- тов в минуту	Число цилиндров	Завод, изготовл. двигатели	Примечания
3. То же, тип В-4-V-63	100	187	4	„Двигатель“	Производство этого типа заканчивается в 1981 г.
4. То же, тип В-4-V-72	150	187	4	„	
5. То же, тип 164-V1	166	167	6	„Русский дизель“	
Нефтяные двигатели низкого сжатия (калоризаторные)					
1. Двухтактные, стационарные, передвигные и лодочные	6	600	1	Артель „Победа“ в Мелитополе	Предполагается перейти на изготовление бескомпрессорных дизелей
2. То же, стационарные, тип В-10	10	600	1	„Сотрудник революции“ в Саратове	
3. То же, стационарные, передвигные и лодочные	12	450	1	Артель „Победа“ в Мелитополе	
4. То же, стационарные, передвигные, тип ДКГ-20	12	650	1	„Возрождение“ в Марксштадте	Предполагается перейти на изготовление бескомпрессорных дизелей
5. То же, стационарные, передвигные, тип ДВ и ДВП	12	925	1	„Красный прогресс“	
6. То же, тип ДВ и ДВП	18	300	1	„	
7. То же, стационарные, передвигные и лодочные	20	425	1	Артель „Победа“	Прекращается в 1982 г.
8. То же, стационарные	20	—	1	Ижорский	

9. То же, стационарные, горизонтальные, тип ДГН	20	345	1	"Красный двигатель" в Новороссийске	Без впрыскивания воды в цилиндр
10. То же, стационарные, вертикальные и лодочные	24	650	2	"Возрождение" в Маркштадте	Предполагается изобретения
11. То же, стационарный, горизонтальный, тип С-24	24	350	1	"Сотрудник революции"	
12. То же, стационарный, горизонтальный, тип ДГН	25	345	1	"Красный двигатель"	Со впрыскиванием воды в цилиндр
13. То же, вертикальный, лодочный	25	—	1	Артель "Победа"	По типу бескомпрессорного двигателя
14. То же	25	—	1	"Красный Прогресс"	
15. То же, вертикальный, стационарный, тип В	30	270	1	Им. Ленина в Воронеже	Производство двигателей заканчивается в 1931 г. и переводится на новый завод в Воронеже
16. То же, вертикальный, стационарный	35	400	1	"Красный Двигатель"	Без впрыскивания воды в цилиндр
17. То же, вертикальный, судовый	18, 35	—	1	Астраханский металл-завод	Предполагается постр. новый дизельстроительный завод в Астрахани
18. Четырехтактный, стационарный, горизонтальный	40	225	1	Им. Дзержинского в Ба-лаково	
19. Двухтактный, стационарный, горизонтальный, тип С-45	45	270	1	"Сотрудник революции"	
20. То же, вертикальный, тип В	50	230	1	Им. Ленина	Прекращено в 1931 г.
21. То же, горизонтальный	50	230	1	Им. 25 Октября в Пер-вомайске	
22. То же	60	230	1	"	
23. То же, вертикальный, судовый	От 8 до 220	—	1, 2, 3, 4	Ижорский	Прекращено в 1932 г.

Все вышеупомянутые потери составляют от 20 до 30% и определяют к. п. д. парового котла, который равен $\eta_k = 0,70 - 0,80$ и лишь при особо хорошем топливе и полном соответствии конструкции топки сжигаемому топливу доходит до 0,80 — 0,90. Коэффициент полезного действия парового котла представляет собою отношение количества тепла, переданного через стенки котла воде, ко всему количеству тепла, заключенному в сожженном топливе, и составляется из к. п. д. топки, который определяет потери от механической и химической неполноты сгорания и потери в окружающую среду и к. п. д. поверхности нагрева котла, который определяет потери с отходящими газами и на лучеиспускание от обмуровки.

Кроме потерь в паровом котле паросиловая установка имеет значительные потери в самых паровых двигателях, которые в паровой машине состоятся из: 1) потери от обмена тепла между паром и стенками цилиндра, для уменьшения которых применяется паровая рубашка, создающая меньшую разницу температур между стенками цилиндра и паром, перегретый пар, обладающий меньшей теплопроводностью, вследствие чего обмен тепла между паром и стенками цилиндра уменьшается; 2) потери от несовершенства расширения пара, для уменьшения каковых применяется многократное расширение пара в нескольких цилиндрах (машины двойного и тройного расширения); 3) потери от лучеиспускания, неплотностей и торможения, с которыми борются хорошей изоляцией цилиндров, устранением неплотностей и правильной регулировкой парораспределения; 4) потери на трение, т. е. на внутренние сопротивления механизма машины (холостой ход). Потери 1, 2 и 3 определяют индикаторный к. п. д. паровой машины, величина которого колеблется от $\eta_i = 0,20$ до 0,24.

Потери на трение в паровой машине определяются механическим к. п. д. $\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = 0,80$ до 0,90.

Экономический к. п. д. паровой машины $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$ не определяет еще экономичности всей паросиловой установки, для чего необходимо учесть к. п. д. парового котла η_k ; поэтому экономический к. п. д. всей паросиловой установки определяется выражением: $\eta_{\Sigma} = \eta_k \cdot \eta_i \cdot \eta_m = \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_k$, равным от 0,08 до 0,18 и в самых совершенных паровых машинах доходит до 0,23. η_{Σ} для паротурбинной установки равен от 0,10 до 0,20 для турбин, работающих с начальным давлением до 20 ат и мощностью от 5 000 квт до 50 000 квт и от 0,20 до 0,30 для турбин, работающих при давлении пара от 20 до 85 ат, с отбором пара для подогрева воды и с промежуточным перегревом пара, мощностью от 50 000 квт.

Экономический к. п. д. стационарных локомотивов компаунд, с конденсацией, подогревом питательной воды и перегревом пара — на 10—20% выше, чем у паровой машины.

Сравнивая экономический к. п. д. двигателей внутреннего сгорания с таким же даже самых совершенных паровых машин и турбин, мы видим, что экономический к. п. д. первых значительно выше экономического к. п. д. последних. Так, например, экономический к. п. д. бескомпрессорного дизеля Коломенского завода в 600 л. с. при гарантированном расходе нефти теплотворной способностью в 10 000 кал в 175 г, 0,36 — на 56% выше такового самой совершенной установки с паровой машиной (0,23).

2. Первоначальная стоимость дизельных и паровых станций.

Первоначальная стоимость станции и расход на топливо для двигателей являются решающими в выборе системы двигателя для данных условий. Хотя выбор двигателя для данных условий, в каждом отдельном случае, должен производиться на основании сравнительной калькуляции себестоимости единицы электро- или механической энергии с учетом как первоначальных затрат, так и расходов на топливо, смазку, обтирочный материал, обслуживающий персонал, текущий ремонт, амортизацию и пр., но сравнение первоначальных затрат и стоимости топлива дает возможность ориентировочно выяснить при каких мощностях один тип двигателя предпочтительнее перед другим.

На основании средних цифр первоначальных затрат и стоимости топлива можно следующим образом определить ту мощность дизелей, при которых они могут конкурировать с наиболее экономичным паровым двигателем — паровой турбиной.

Первоначальную стоимость дизелей, паровых турбин и паровых машин можно принимать на основании следующих данных установочной стоимости 1 *квт* паровых турбин и 1 л. с. паровых машин и дизелей:

Для паровых турбин мощностью от	500 до	1 000 <i>квт</i>	80 руб.
" " " "	" 1 000 "	1 500 "	70 "
" " " "	" 1 500 "	3 000 "	60 "
" " " "	" 3 000 "	10 000 и выше	50 "
" " машин	до	200 л. с.	135 "
" " " "	от	200 до 500 л. с.	105 "
" " " "	" 500 "	1 000 "	75 "
" " " "	" 1 000 "	1 500 "	70 "
" дизелей мощностью до	200 л. с.		230 "
" " " "	от 200 до	500 л. с.	220 "
" " " "	" 500 "	1 000 " и выше	200 "

Бескомпрессорные дизели — на 10% дешевле. Стоимость 1 *м²* поверхности нагрева паровых котлов — 180 руб.

Стоимость установки двигателей всех типов и паровых котлов с обмуровкой — 10% от стоимости самих двигателей или котлов.

Для сравнения дизельной и паротурбинной станции установочная стоимость для мощности в 500, 1 000, 3 000, 5 000 и 10 000 *квт* будет:

Дизель (бескомпрессорный):

в	500 <i>квт</i> (около	750 л. с.)	—	750 · 180 · 1,1 ≈	150 000 руб.
"	1 000 " ("	1 500 ")	—	1 500 · 180 · 1,1 ≈	300 000 "
"	3 000 " ("	4 500 ")	—	4 500 · 180 · 1,1 ≈	900 000 "
"	5 000 " ("	7 000 ")	—	7 000 · 180 · 1,1 ≈	1 386 000 "
"	10 000 " ("	13 600 ")	—	13 600 · 180 · 1,1 ≈	2 700 000 "

Принимая расход пара паровой турбиной на 1 *квт/ч* от 5,5 до 7,5 *кг* и напряженность поверхности нагрева парового котла в 25 *кг* с 1 *м²*, получим стоимость паротурбинной установки с двумя котлами для мощности в 500 и 1 000 *квт* и тремя котлами для мощности в 3 000, 5 000 и 10 000 *квт* (один резервный):

$$\begin{aligned} \text{Для } 500 \text{ квт} &= 500 \cdot 80 \cdot 1,1 + \frac{500 \cdot 7,5}{25} \cdot 2 \cdot 180 \cdot 1,1 \approx 104\,000 \text{ руб.} \\ \text{„ } 1\,000 \text{ „} &= 1\,000 \cdot 70 \cdot 1,1 + \frac{1\,000 \cdot 7}{25} \cdot 2 \cdot 180 \cdot 1,1 \approx 187\,000 \text{ „} \end{aligned}$$

Для 3 000 *квт* — $3\,000 \cdot 60 \cdot 1,1 + \frac{3\,000 \cdot 6}{25} \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 1,1 \approx 412\,000$ руб.

„ 5 000 „ — $5\,000 \cdot 50 \cdot 1,1 + \frac{5\,000 \cdot 6}{25} \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 1,1 \approx 631\,000$ „

„ 10 000 „ — $10\,000 \cdot 50 \cdot 1,1 + \frac{10\,000 \cdot 5,5}{25} \cdot 1,5 \cdot 180 \cdot 1,1 \approx 1\,205\,000$ „

Стоимость топлива на 1 *квт/ч*, на основании средних эксплуатационных данных можно принять:

Для паровой турбины	500 <i>квт</i>	1,8 коп.
„ „ „	1 000 „	1,6 „
„ „ „	3 000 „	1,5 „
„ „ „	5 000 „	1,4 „
„ „ „	10 000 „	1,3 „

Стоимость топлива на *квт/ч* для дизеля, при расходе нефти 190 г/л.с.-ч. можно принять в среднем равной 1,1 коп.

Тогда можно составить следующую таблицу первоначальной стоимости и стоимости топлива:

Таблица 3.

Мощность	Установочная стоимость 1 <i>квт</i> в руб.	Дизель дороже на %/‰	Стоимость топлива на 1 <i>квт-ч</i> в коп.	Стоимость топлива на 1 <i>квт-ч</i> у дизеля меньше на %/‰
500 <i>квт</i>				
Турбина	208	45	1,8	39
Дизель	300		1,1	
1 000 <i>квт</i>				
Турбина	187	60	1,6	31
Дизель	300		1,1	
3 000 <i>квт</i>				
Турбина	137	118	1,5	26
Дизель	300		1,1	
5 000 <i>квт</i>				
Турбина	137	102	1,4	22
Дизель	277		1,1	
10 000 <i>квт</i>				
Турбина	120	125	1,3	16
Дизель	270		1,1	

Из этой таблицы видно, что вопрос о выгодности паротурбинной или дизельной установки зависит от того, что экономически является более целесообразным — меньшая первоначальная стоимость или меньшие эксплуатационные расходы.

Так как расходы на топливо у дизеля при всех мощностях меньше, чем у паровой турбины, а первоначальная стоимость у последней меньше, также при всех мощностях, то дизельная установка меньшими расходами на топливо покрывает излишний расход на первоначальную установку тем скорее, чем больше годовых часов работы двигатель находится в эксплуатации.

Посмотрим, в течение какого срока окупится излишняя стоимость дизельной станции по сравнению с паротурбинной.

Для мощности в 10 000 квт.

При работе 24 час. в сутки и 310 дней в году экономия на топливе у дизельной установки выразится в год в: $\frac{10\,000 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 0,2}{100} = 150\,000$ руб., а перерасход на первоначальных затратах на дизельной установке, будет — 2 700 000 — 1 205 000 = 1 495 000 руб., который окупится в $\frac{1\,495\,000}{150\,000} \approx 10$ лет.

Для мощности в 5 000 квт.

Экономия на топливе — $\frac{5\,000 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 0,3}{100} = 112\,000$ руб.; перерасход на первоначальных затратах.

$$1\,386\,000 - 631\,000 = 755\,000 \text{ руб.};$$

окупится в $\frac{755\,000}{112\,000} = 6,75$ лет.

Для мощности в 3 000 квт.

Экономия на $\frac{3\,000 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 0,4}{100} = 89\,240$ руб., а перерасход на первоначальных затратах:

$$900\,000 - 412\,000 = 488\,000 \text{ руб.},$$

который окупится в $\frac{488\,000}{89\,240} = 5,5$ лет.

Для мощности в 1 000 квт.

Экономия на топливе: $\frac{1\,000 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 0,5}{100} = 37\,200$ руб., перерасход на первоначальных затратах:

$$300\,000 - 187\,000 = 113\,000 \text{ руб.}$$

окупится в $\frac{113\,000}{37\,200} = 3,04$ лет.

Для мощности в 500 квт.

Экономия на топливе — $\frac{500 \cdot 24 \cdot 310 \cdot 0,7}{100} = 26\,100$ руб., перерасход на установочной стоимости:

$$150\,000 - 104\,000 = 46\,000 \text{ руб.}$$

окупится в $\frac{46\,000}{26\,100} = 1,8$ года.

Принимая во внимание проценты на излишне затраченный капитал (6% годовых) для дизельных установок,—сроки погашения излишних затрат выразятся примерно в следующем виде (см. табл.):

Мощность в <i>квт</i>	Число лет
500	2,5
1 000	4
3 000	7
5 000	9
10 000	12

Максимальным сроком окупаемости оборудования обычно считается срок в 10 лет; при более высоком сроке затрата излишних средств является нерентабельной вследствие возможного морального износа оборудования (устарелости, несовершенства конструкции).

Следовательно, излишние затраты на дизельную установку оправдают себя и такая установка конкурентоспособной по сравнению с паротурбинной установкой при мощности около 10 000 *квт*.

В районах же с дешевой нефтью, как, например, Кавказ и Поволжье, экономически целесообразной может оказаться дизельная установка в 15 000 — 20 000 *квт*, и, наоборот, в каменноугольных или торфяных районах дизельная установка становится нерентабельной и в 3 000 *квт*.

В вышеуказанных ориентировочных подсчетах не принимались во внимание остальные эксплуатационные расходы, как-то: смазка, обтирочные материалы, обслуживающий персонал, текущий ремонт и пр.; для правильного решения вопроса об экономической целесообразности выбора того или иного типа двигателя, необходимо в каждом отдельном случае произвести сравнительную калькуляцию себестоимости энергии с учетом всех эксплуатационных расходов и местных цен на эксплуатационные материалы и рабочие руки, о чем будет сказано ниже в параграфе о калькуляции себестоимости энергии.

3. Перегрузка двигателей и паровых машин.

В отношении перегрузки, т. е. отдачи возможно наибольшей мощности, когда таковая требуется условиями производства, паровые двигатели обладают значительным преимуществом перед двигателями внутреннего сгорания и на первом месте в этом смысле стоит паровая машина.

Действительно, в то время как у последней развиваемая ею мощность зависит исключительно от величины наполнения, т. е. от того, на большей или меньшей части хода поршня происходит впуск пара, и вопрос только в том, какое максимальное наполнение может дать парораспределительный механизм,—в двигателе внутреннего сгорания, в котором химическая энергия топлива преобразовывается в тепловую энергию газа в самом цилиндре посредством сгорания топлива, процесс горения топлива требует тем большее количество воздуха, чем больше необходимо сжечь топлива в цилиндре, т. е. чем больше мощности мы хотим получить от двигателя; а так как количество воздуха, которое можно использовать в цилиндре двигателя для сгорания топлива ограничено размером цилиндра, то естественно, что мощность каждого цилиндра этим ограничивается, а потому двигатель можно незначительно перегружать или за счет того запаса мощности, который предусмотрен при расчете двигателя, или, в очень небольшой степени, за счет несовершенного сгорания избыточного количества топлива.

Ввиду этого перегрузка двигателей внутреннего сгорания допустима в очень небольших пределах и, как правило, лишь кратковременная.

Для компрессорных дизелей надо считать допустимой временную перегрузку в течение часа в 10% от нормальной и кратковременную, максимально допустимую, 15 — 20% в продолжение 5 мин.; для газогенераторных двигателей — соответственно — 5—10 и 10—15%. Поэтому при работе этих двигателей на производстве с колеблющимся расходом сил обычная нагрузка не должна превышать нормальной, а еще лучше не доводить нагрузку на 5 — 6% до нормальной, дабы в моменты внезапного увеличения расхода сил производством этот запас мощности, вместе с допускаемой перегрузкой создавал возможность увеличения нагрузки без ущерба для работы двигателя в 15% в течение часа и до 25% — в течение 5 мин.

Паровые машины допускают продолжительную перегрузку в 25—30% и в отдельных случаях до 50%, если не считаться с расходом пара, который в этом случае увеличивается вследствие ухудшения расширения пара.

В паровых турбинах перегрузка возможна до 20% путем подведения свежего пара в ступени среднего давления, а в активных турбинах посредством открытия вспомогательных сопел.

В установках с резко колеблющейся нагрузкой как паровым машинам, так и дизелям уступает газогенераторный двигатель, вследствие того что газогенератор не может приспособиться к быстрому изменению расхода газа.

Однако применяемый в последние годы способ повышения мощности дизеля наддувкой делает таковой равноценным с паровой машиной в смысле допустимой перегрузки. Принцип наддувки заключается в том, что в цилиндр двигателя вместо всасывания атмосферного воздуха подается сжатый воздух, получаемый от особой компрессорной установки; вследствие этого вес заряда воздуха в цилиндре увеличивается и в нем может быть сожжено большее количество нефти, а следовательно, и получена большая мощность. Индикаторная диаграмма дизеля с наддувкой отличается от индикаторной диаграммы стандартного дизеля только тем, что линия впуска воздуха у первого лежит выше атмосферной линии, сгорание продолжается дольше, а потому диаграмма получается полнее и среднее индикаторное давление выше.

Давление наддувочного воздуха доводится до величины от 600 мм вод. ст. до 1,3 — 1,5 ата; среднее индикаторное давление у дизелей с наддувкой доходит до 8 — 11 кг/см², и увеличение мощности до 40—50%.

Необходимый для наддувки сжатый воздух получается от специального ротационного компрессора — воздуходувки, который приводится во вращение или механической передачей от коренного вала дизеля или посредством электромотора или паровой турбины, сидящих на одном валу с воздуходувкой, причем паровая турбина питается паром, получаемым от парового котла, обогреваемого отходящими газами дизеля; этот котел может добавочно отапливаться топливом в случае недостаточности тепла отходящих газов.

Наиболее интересным является наддувочное устройство по способу Бюхи; оно заключается в том, что отходящие газы заставляют выходить из двигателя с давлением в 1,2 кг/см² для двигателей большой мощности и около 1,4 — 1,5 кг/см² для двигателей малой мощности (до 400 л. с.),

если хотят повысить мощность дизеля на 20 — 25% и соответственно до 1,5 кг/см и 1,7 — 1,8 кг/см² — при повышении мощности до 50%.

Газы с этим давлением и температурой в 400 — 500° Ц входят в специальную одноступенчатую турбину отходящих газов, на валу которой имеется двухступенчатый турбо-компрессор; газы подводятся к турбине в осевом направлении посредством сдвела, часть которых может быть выключена посредством запорных клапанов и, расширяясь до давления выхлопа, приводят в движение воздухоподувку.

Проф. А. Стодола производились испытания шестицилиндрового дизеля мощностью 850 л. с. швейцарского паровозо-машиностроительного завода в Винтертуре при наддувке турбо-компрессором с турбиной отходящих газов; ¹ нормальная мощность дизеля при наддувке повысилась до 1 275 д. л. с., т. е. на 50% и максимальная до 1 642 д. л. с., т. е. до 92%, причем расход топлива при теплотворной способности его в 10 135 кал получился 177,6 г.

Испытания другого дизеля на том же заводе, ² четырехтактного мощностью в 500 д. л. с. при 250 об/мин, при наддувке газотурбинной воздухоподувкой дало следующие результаты: мощность повысилась до 750 д. л. с., т. е. на 50%, при давлении наддувочного воздуха 1,5 кг/см² абс; перегрузка в течение 15 мин. доводилась до 1 020 д. л. с., т. е. до 100 %.

Расход топлива у четырехтактных двигателей большой мощности с наддувкой уменьшается на 10 — 12% по сравнению с нормальным дизелем, а для малых мощностей (до 600 л. с.) не изменяется; расход смазки уменьшается на 30%; температурные напряжения в крышках и головках поршней остаются примерно такими, как у нормальных дизелей.

Работа дизелей с наддувкой должна получить широкое распространение на существующих установках в случае необходимости повышения мощности таковых.

4. Готовность двигателя к пуску и безопасность установок с двигателями.

Бесспорным преимуществом двигателей внутреннего сгорания перед паровыми двигателями является их постоянная готовность к пуску, который может быть произведен в течение 5 — 6 мин., а иногда и быстрее кроме, конечно, газогенераторных двигателей, наличие генератора у которых приближает их в этом отношении к паровым установкам; наличие пусковых баллонов со сжатым воздухом, каковые являются необходимой принадлежностью всякого двигателя мощностью от 20 л. с., облегчает и упрощает пуск двигателя в ход даже по сравнению с пуском паровой машины.

Паровая же установка для достижения постоянной готовности к пуску требует постоянного поддержания давления пара в паровых котлах, что вызывает добавочные расходы в среднем до 15% в случае не непрерывной работы производства; для двигателя Дизеля эти расходы составляют 2 — 3% и редко доходят до 5%. В отношении готовности к пуску в ход двигателя внутреннего сгорания являются особо рентабельными на предприятиях, работающих периодически, со значительным числом остановок и пусков.

¹ VDI, № 13, 1928.

² Motor Ship, February 1927, London.

Что касается безопасности установок, то паровые установки представляют, как известно, опасность в отношении взрывов паровых котлов, которые происходят вследствие недостатка воды в котле, наличия накипи или масла, чрезмерного давления пара или взрывов газов в дымоходах; хотя взрывы паровых котлов бывают очень редко, однако исключительно тяжелые последствия таковых заставляют принимать особые меры к недопущению благоприятных для них условий.

Взрывы в двигателях внутреннего сгорания также имеют место, однако последствия таковых не столь разрушительны, как взрывы паровых котлов.

Правила безопасности действия двигателей внутреннего сгорания приведены в изданных Наркомтрудом обязательных постановлениях по технике безопасности, отделы и параграфы которых, относящиеся к двигателям внутреннего сгорания, приводятся ниже в «Приложениях».

5. Уход за установками с двигателями внутреннего сгорания и с паровыми.

Хотя уход за паровой машиной проще, чем за двигателем внутреннего сгорания, вследствие того, что работа последнего сопровождается более высокими давлениями и температурами, однако, если сравнивать не самые машины, а установки в целом, что является, конечно, единственно правильным, то уход за установкой с двигателем внутреннего сгорания оказывается значительно проще, чем уход за паросиловой установкой. Действительно, в то время как в установке с двигателем внутреннего сгорания обслуживающий персонал имеет дело лишь с самим двигателем и пусковыми, топливными и смазочными устройствами, в паросиловой установке обслуживающему персоналу приходится иметь дело с паровыми котлами, уходом за ними (чистка, продувка), с экономайзером, перегревателем, дымоходами, дымовой трубой, в случае жесткой воды — с химическим водоочистителем и с механическим водоочистителем в случае наличия в воде механических примесей. Кроме того, конденсационное устройство в паросиловых установках представляет собою механизм, требующий не мало внимания и ухода (например, поддержание необходимого вакуума), и если этот придаток паросиловых установок можно сравнивать с механизмом компрессорного устройства в дизелях с воздушным распыливанием нефти, то бескомпрессорные дизели, не имеющие такового, представляют собою значительно более простые по обслуживанию машины, однако все же требующие более квалифицированного персонала.

Несколько ближе по сложности ухода к паросиловым установкам находятся установки с газогенераторными двигателями, в которых обслуживание усложняется наличием генератора. Уход и обслуживание газогенераторных двигателей, заключающиеся в своевременной, равномерной загрузке топлива, удалении шлаков и получении правильной температуры и состава газа, требуют от обслуживающего персонала необходимых навыков в отношении данной установки. Кроме того, обслуживание газогенераторной установки несколько усложняется необходимостью отведения и очистки скрубберных вод, о чем подробнее будет сказано ниже в особом параграфе.

6. Выносливость и долговечность двигателей внутреннего сгорания и паровых.

Вследствие работы при более низких температурах и давлениях паровые машины являются более выносливыми и долговечными двигателями, чем двигатели внутреннего сгорания, работа которых происходит при более тяжелых условиях. В среднем можно принимать долговечность приблизительно:

паровых машин	22 года
" турбин	17 лет
" котлов	18
газ. вх. двигателей и дизелей	15 — 18 лет.

Конечно, нельзя считать, что по прошествии этих сроков двигатели приходят в полную негодность и должны быть заменены новыми; сроки эти скорее указывают на продолжительность работы двигателей при нормальной эксплуатации, уходе и ремонте; производство капитальных ремонтов, при которых часто заменяются целиком весьма ответственные детали, может значительно продлить срок работы машины, в особенности при условии надлежащего ухода. Поэтому нередко встречаются как паровые двигатели, так и двигатели внутреннего сгорания, работающие 25 лет и больше, но, конечно, с не раз заменявшимися ответственными деталями.

ГЛАВА III.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.

1. Влияние нагрузки на индикаторный, механический и экономический коэффициент полезного действия.

Механический к. п. д. двигателя есть отношение действительной мощности к индикаторной, которая составляется из действительной мощности и мощности холостого хода; так как последняя при всяких нагрузках практически может считаться постоянной, то при меньшей нагрузке таковая распределяется на меньшее количество сил, а следовательно, в более значительной степени отражается на единице мощности, чем при больших нагрузках; поэтому механический к. п. д. понижается с понижением нагрузки.

Это можно видеть из следующих соотношений.

Как известно:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_e}{N_e + N_r} = \frac{1}{1 + \frac{N_r}{N_e}},$$

откуда ясно, что чем меньше N_r , тем меньше η_m .

Однако механический к. п. д., вычисленный при данной нагрузке, с которой работает двигатель, не является показательным, так как таковой может оказаться преуменьшенным вследствие малой нагрузки двигателя и не будет характеризовать конструкцию и состояние механизмов двигателя в отношении потребления механической энергии на работу внутренних сопротивлений, мерилom которых и является механический

к. п. д. Поэтому в эксплуатационных условиях при испытании двигателя при данной нагрузке и при исчислении механического к. п. д. таковой относят к нормальной мощности двигателя, на которую двигатель построен, так как только таким образом определенный механический к. п. д. характеризует состояние двигателя с точки зрения его механических качеств, в особенности, если испытание производится после капитального ремонта.

Определение механического к. п. д. относительно нормальной мощности производится следующим образом. Если N_e^n есть нормальная мощность, на которую двигатель построен и при которой завод, строивший его, гарантирует определенный механический к. п. д., а при испытании двигатель развивал индикаторную мощность N_i' , и мощность холостого хода, определенная индицированием при испытании, была N_r' , то действительная мощность на валу двигателя была $N_e' = N_i' - N_r'$; тогда механический к. п. д. определяется не как $\eta_m = \frac{N_e'}{N_e' + N_r'}$, а как

$$\eta_m = \frac{N_e^n}{N_e^n + N_r^1}.$$

Действительно, если $N_e^n = 500$ л. с., а при испытании определилось, что $N_i' = 400$ л. с. и $N_r' = 100$ л. с., то при определении механического к. п. д. по мощности, которую двигатель развивал при испытании, получим:

$$\eta_m = \frac{N_e'}{N_e' + N_r'} = \frac{300}{300 + 100} = 0,75,$$

а при отнесении его к нормальной мощности получим, что

$$\eta_m = \frac{N_e^n}{N_e^n + N_r'} = \frac{500}{500 + 100} = 0,83,$$

т. е. в первом случае мы получили бы уменьшенный механический к. п. д., вследствие неполной нагрузки двигателя, не характеризующий его механических качеств. В эксплуатационной же практике довольно часто приходится производить испытание двигателя при неполной нагрузке его; в этих случаях, из вышеизложенных соображений при исчислении механического к. п. д. необходимо относить его к нормальной мощности двигателя.

Что касается индикаторного к. п. д. двигателя Дизеля, то таковой при уменьшении нагрузки несколько увеличивается по следующей причине. Так как индикаторный к. п. д. тем больше, чем больше термический к. п. д.; последний же, выражаясь формулой (для дизелей)

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k(p-1)},$$

тем выше, чем меньше степень предварительного расширения $\rho = \frac{V}{V_c}$ (причем по данным Гюльднера для дизелей при $p_c = 33$ ат, η_t увеличивается от 0,471 до 0,535 при уменьшении ρ от 3 до 1,5, при $k = 1,3$ и $\varepsilon = 13$ и от 0,450 до 0,616 при $k = 1,41$ и $\varepsilon = 16$). Степень же предварительного расширения тем меньше, чем меньше период горения топлива, который уменьшается с уменьшением количества топлива, впрыскиваемого каждый

раз в цилиндр, т. е. с уменьшением нагрузки; кроме того, индикаторный к. п. д. дизеля при уменьшении нагрузки увеличивается и вследствие того, что при неполной нагрузке (до некоторого предела, около 50%) происходит более совершенное сгорание как благодаря большому избытку воздуха, так и за счет лучшего распыливания меньшего количества топлива.

Однако вследствие того, что хотя с уменьшением нагрузки η_i несколько и увеличивается, но так как $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$, а η_m при этом условии уменьшается в большей степени, то η_e при уменьшении нагрузки все же ухудшается.

Далее, на основании изложенного можно заключить, что индикаторный к. п. д. повышается с увеличением давления впрыскивающего воздуха, так как таковое сокращает период горения топлива и, следовательно, уменьшает степень предварительного расширения p . Однако с увеличением давления воздуха увеличивается затрата работы на его сжатие, т. е. на компрессор, а потому в этих случаях экономический к. п. д. не только не повышается, но может даже понизиться. Поэтому каждой нагрузке дизеля должно соответствовать определенное давление впрыскивающего воздуха, которое устанавливается практически по индикаторным диаграммам и по цвету отходящих газов, которые при правильном давлении впрыскивающего воздуха должны быть бесцветны.

В четырехтактных двигателях улучшения процесса горения можно достигнуть увеличением давления впрыскивающего воздуха при перегрузках до допустимых пределов (при всех остальных нормальных условиях). Повышением давления впрыскивающего воздуха можно достичь также некоторого увеличения мощности дизеля, иногда даже с увеличением экономического к. п. д.

2. Влияние барометрического давления и температуры воздуха на мощность двигателя.

На мощность, развиваемую двигателем, влияет величина барометрического давления в данной местности; можно считать, что мощность дизеля падает приблизительно на 1,2% при уменьшении барометрического давления на 9 мм ртутного столба, что соответствует 100 м высоты места над уровнем моря. Известны случаи в практике установки дизелей на очень возвышенных местах, когда двигатели вследствие малого барометрического давления и, следовательно, недостаточного по весу количества воздуха и плохого сгорания топлива, не развивали нормальной мощности, гарантированной заводом, и таковая достигалась лишь после установки специального вентилятора и создания некоторого избыточного над атмосферным в данной местности давления воздуха, т. е. своего рода работы с наддувкой.

В меньшей степени на мощность двигателя влияет температура окружающего воздуха, с увеличением таковой, а следовательно, с уменьшением плотности воздуха мощность двигателя уменьшается, так как хотя объем воздуха, засасываемого поршнем, остается одним и тем же, однако вес его уменьшается, и, следовательно, в этом объеме воздуха не может сгореть количество топлива, необходимое для нормальной мощности цилиндра.

Влияние барометрического давления и температуры воздуха на максимальную мощность двигателя может быть выражено следующим соот-

ношением: если при температуре наружного воздуха t и барометрическом давлении h двигатель развивает максимальную мощность $N_{\max}$, то при барометрическом давлении h_1 и температуре t_1 максимальная мощность будет равна

$$N'_{\max} = N_{\max} \frac{h_1}{h} \cdot \frac{273 + t}{273 + t_1},$$

Зависимость между высотой местности над уровнем моря и барометрическим давлением выражается следующей формулой:

$$H = 18401 \lg \frac{h}{h_1},$$

где H — высота местности над уровнем моря в м, h — барометрическое давление на уровне моря в мм рт. ст. и h_1 — барометрическое давление на высоте H . Барометрическое давление h_1 на данной высоте H над уровнем моря определится из выражения:

$$\lg h_1 = \lg h - \frac{H}{18401}.$$

Ввиду этого при заказе двигателя надо обуславливать в договоре, при каком барометрическом давлении завод гарантирует ту нормальную мощность, на которую двигатель построен.

3. Увеличение расхода топлива на 1 л. с. ч. при недогрузках.

Как мы уже видели, при уменьшении нагрузки механический к. п. д. уменьшается, если его относить к фактической мощности при данной нагрузке, что происходит вследствие того, что мощность холостого хода поглощает большую часть индикаторной мощности (в процентном отношении), чем при полной нагрузке. Так как расход топлива на работу трения (мощность холостого хода) практически одинаков при разных нагрузках, то при меньшей нагрузке он распределяется на меньшее число сил, чем при полной нагрузке, вследствие чего расход топлива на 1 л. с. ч. при недогрузках получается больше, чем при полной нагрузке. Кроме того, на увеличение расхода топлива на 1 л. с. ч. при неполных нагрузках влияет ухудшение термического процесса в двигателе при этих условиях.

Увеличение расхода топлива при недогрузках в процентном отношении к расходу топлива при полной нагрузке обычно выражается коэффициентами увеличения расхода топлива, которые приведены в нижеследующей таблице 4, в которой для сравнения приведены также и соответствующие коэффициенты увеличения расхода пара на 1 л. с. ч. в паровых машинах и паровых турбинах.

Из рассмотрения этой таблицы мы видим, что наибольшего увеличения расход топлива при недогрузках достигает у газогенераторных двигателей, что объясняется тем обстоятельством, что при режимах неполной нагрузки значительно уменьшается к. п. д. генератора; наименьшие колебания в расходе топлива при недогрузках имеют место у бескомпрессорных дизелей, что необходимо отнести к существенным достоинствам этого рода двигателей. Паровые машины и паровые турбины в отношении увеличения расхода пара при недогрузках, как видно из табл. 4, имеют некоторые преимущества перед двигателями внутреннего

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО СИЛОВОЙ СТАНЦИИ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.

1. Расположение агрегатов и вспомогательных устройств и аппаратов.

При установке на станции нескольких двигателей, таковые обычно располагаются таким образом, чтобы оси коренных валов всех двигателей были параллельны друг другу, и отступление от этого правила допускается лишь в исключительных случаях, если этого требуют те или иные специальные условия расположения тех агрегатов, которые приводятся в движение двигателями (гл. V «Установка двигателей»).

Расположение воздушных баллонов, баков для воды, нефти и масла должно быть таковым, чтобы позволяло обслуживать их с наименьшей затратой времени и энергии.

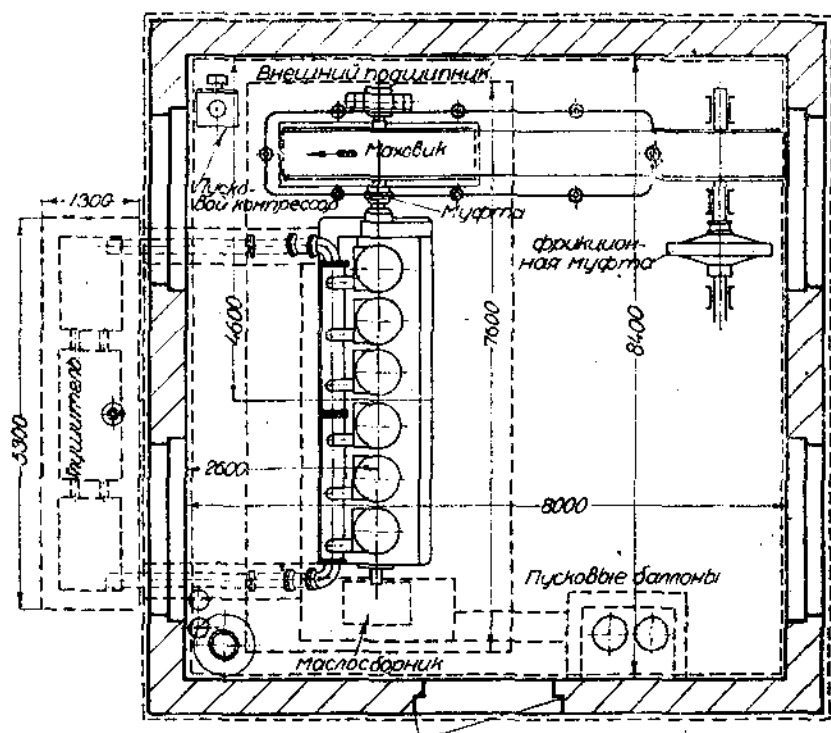
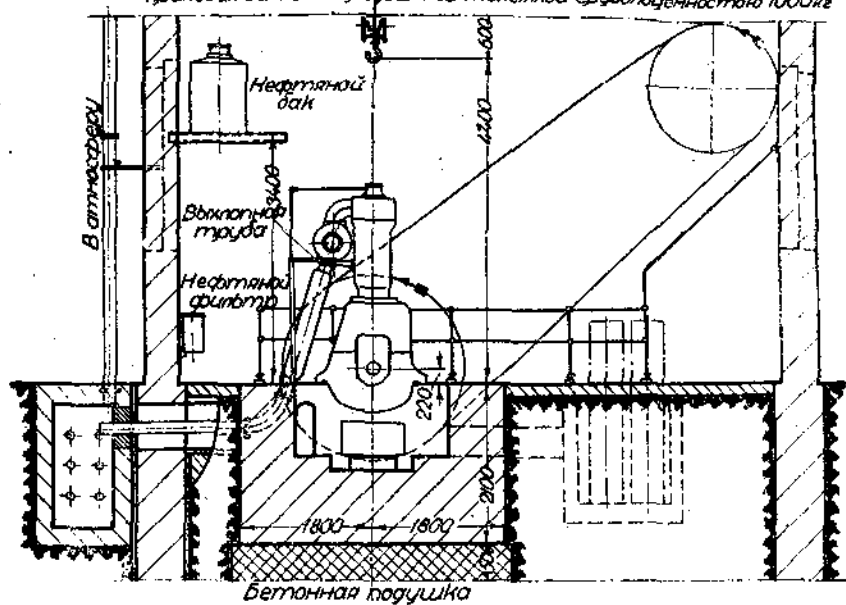
На фиг. 4 изображена установка шестицилиндрового бескомпрессорного дизеля завода Дейтца мощностью в 450 л. с. при 215 об/мин марки VMS-158; на чертеже дано расположение нефтяного бака и фильтра, глушителя и пусковых баллонов. К недостаткам данной установки надо отнести расположение пусковых баллонов, каковые должны быть расположены таким образом, чтобы машинист, пускающий двигатель в ход, открывая вентиль пускового баллона, мог легко, не оборачиваясь, следить за вращением маховика, а также расположение фрикционной муфты, которая необходима при передаче движения от двигателя на трансмиссию; на чертеже завода фрикционная муфта указана расположенной на главной трансмиссии, в то время как ее правильней располагать непосредственно на продолжении вала двигателя за маховиком, что значительно удобнее как в смысле наблюдения за муфтой, так и в смысле выключения ее в случае необходимости быстро остановить трансмиссию, что бывает очень важно при каком-либо несчастном случае в производственном корпусе; при таком расположении муфты дежурный машинист, всегда находящийся у двигателя, может гораздо быстрее выключить ее, чем в том случае, когда ему приходится терять некоторое время для того, чтобы добежать до муфты, расположенной на трансмиссионном валу. Правда, указанное на чертеже расположение фрикционной муфты несколько сокращает размер помещения по оси вала двигателя.

На электрической станции при непосредственном соединении двигателей с электрогенераторами, двигатели, как уже было указано выше, устанавливаются в ряд параллельно осям коренных валов; примером такой установки может служить чертеж силовой станции мощностью в 1600 л. с. с четырьмя дизелями по 400 л. с., помещенный в книге Г. Гюльднера «Двигатели внутреннего сгорания» ч. II (лист XXV), на котором указано расположение водяных и нефтяных баков, нефтяных фильтров, глушителей и пр.

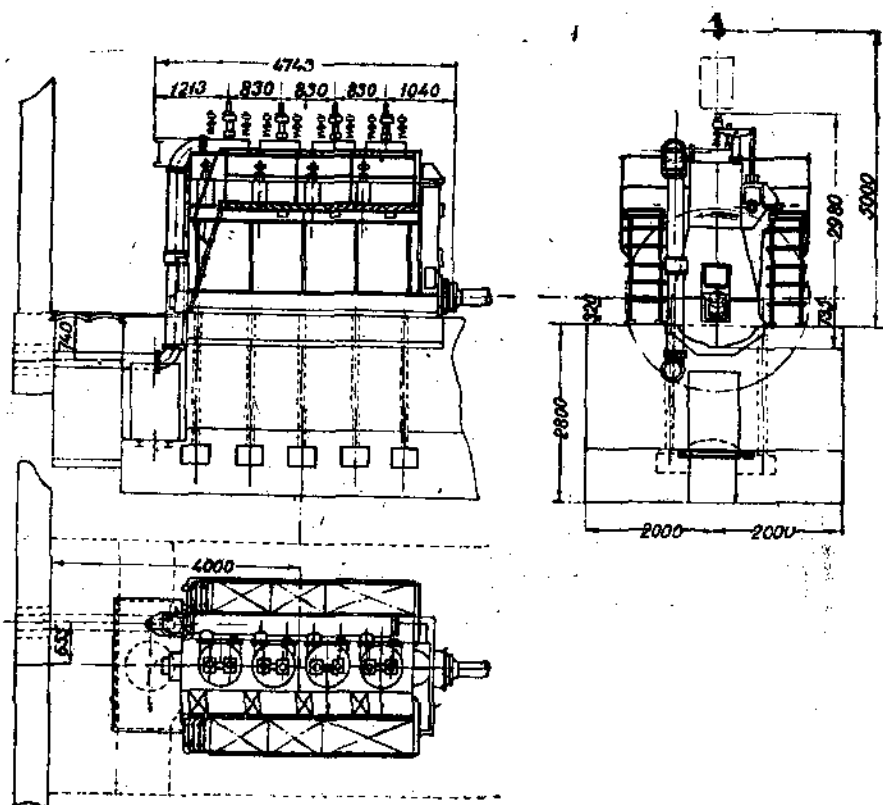
Расположение двигателей после выбора мощностей и количества агрегатов производится на основании габаритных чертежей заводов; ниже приводятся габаритные чертежи и размеры к ним дизелей, строящихся на заводах СССР.

На фиг. 5 представлен габаритный чертеж бескомпрессорного дизеля системы MAN типа 60 Г-4 Коломенского завода мощностью в 400 л. с. при 187 об/мин.

Крановая балка с передвижной тепленькой грузоподъемности 1000 кг



Фиг. 4.

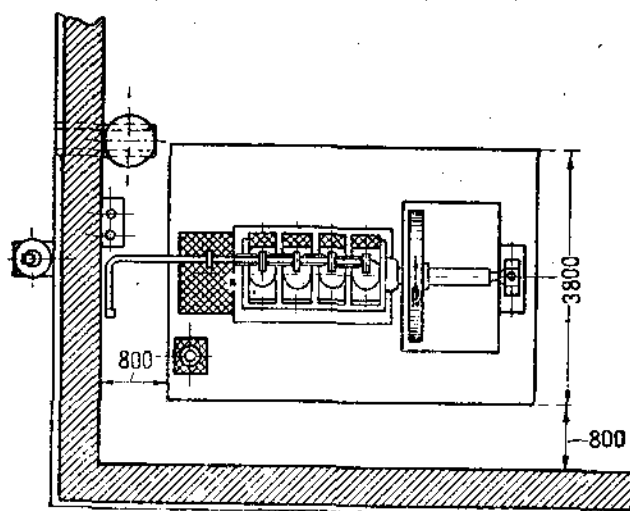
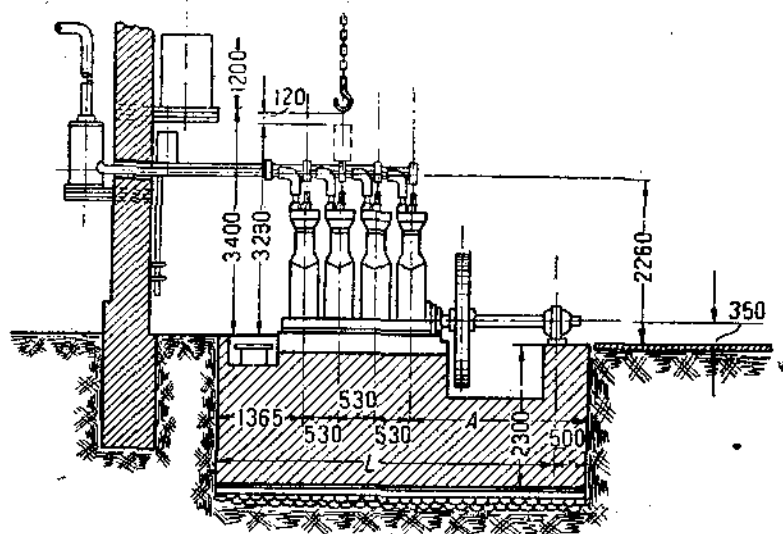


Фиг. 5.

На фиг. 6 дан чертеж бескомпрессорного дизеля завода «Двигатель революции», а в табл. 6 приведены основные установочные размеры таких двигателей разных мощностей.

Таблица 6.

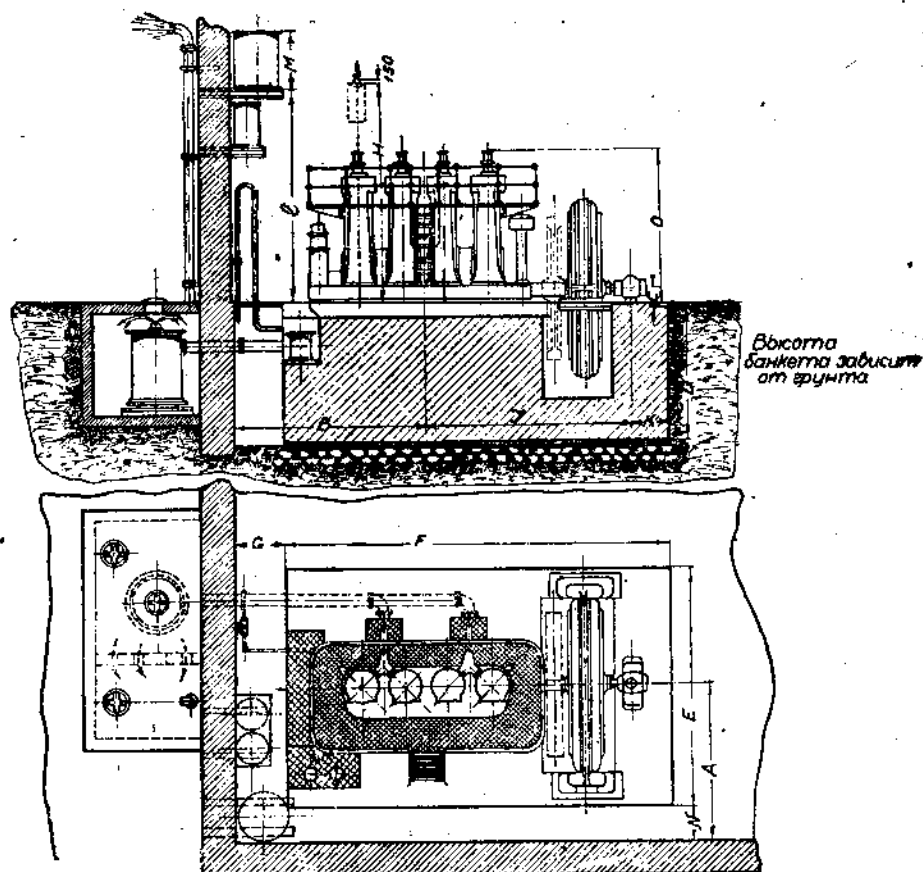
М а р к а	БК-1-38	БК-2-38	БК-3-38	БК-4-38
Мощность л.с.	35	70	105	140
Число цилиндров	1	2	3	4
Число об/мин	300	300	300	300
Диаметр цилиндра	260	260	260	260



Фиг. 6.

Продолжение

М а р к а	БК-1-38	БК-2-38	БК-3-38	БК-4-38
Ход поршня	380	380	380	380
А (максимум)	1 460	1 590	2 030	2 270
(максимум)	2 825	3 485	4 455	5 225

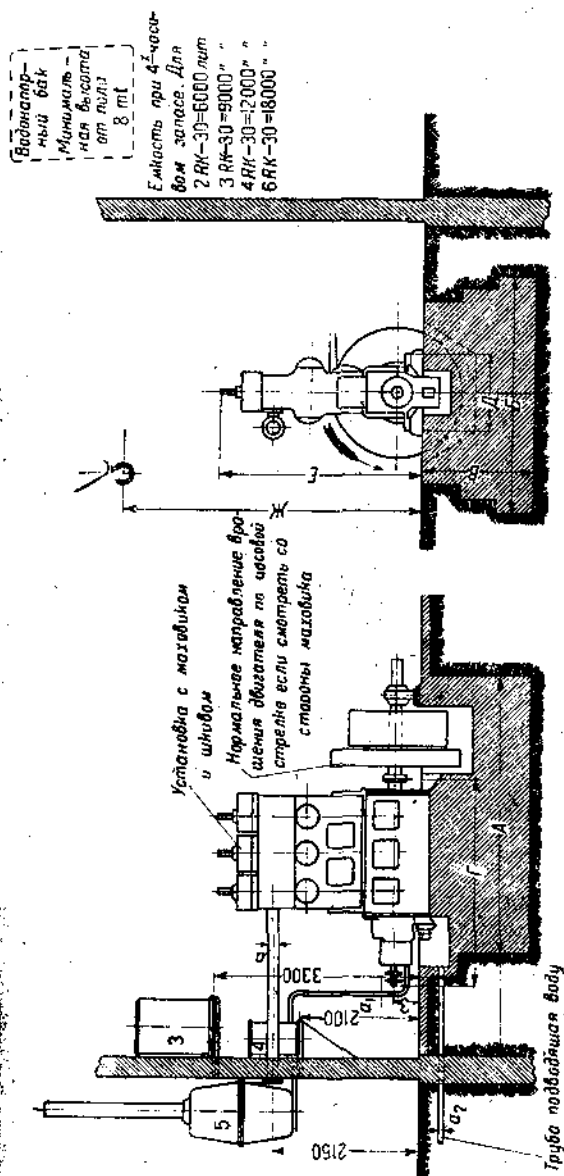


Фиг. 7.

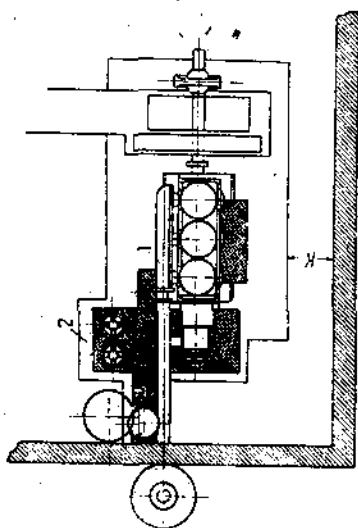
Таблица 7.

Марка	В-4V-56	В-4V-66	В-4V-72
Мощность л.с.	300	400	600
Число цилиндров	4	4	4
Число об/мин	215	187	187
Диаметр цилиндра	375	425	500
Ход поршня	560	660	720
A	3 300	3 700	4 250
B	3 700	4 400	4 750
C	290	270	360
D	2 800	3 300	3 800
E	4 600	5 800	6 500
F (ориентировочно)	7 130	8 830	9 745
G	1 000	1 100	1 200
H	4 500	5 250	5 470
I (максимум)	3 730	4 730	5 295
K (минимум)	700	800	900
L	3 700	5 050	5 300
M	1 550	1 550	1 550
N	800	900	1 000
O	3 130	3 825	4 170

На фиг. 7 изображен габаритный чертеж компрессорного дизеля нормальной модели завода «Двигатель революции», а на табл. 7 — основные установочные размеры.

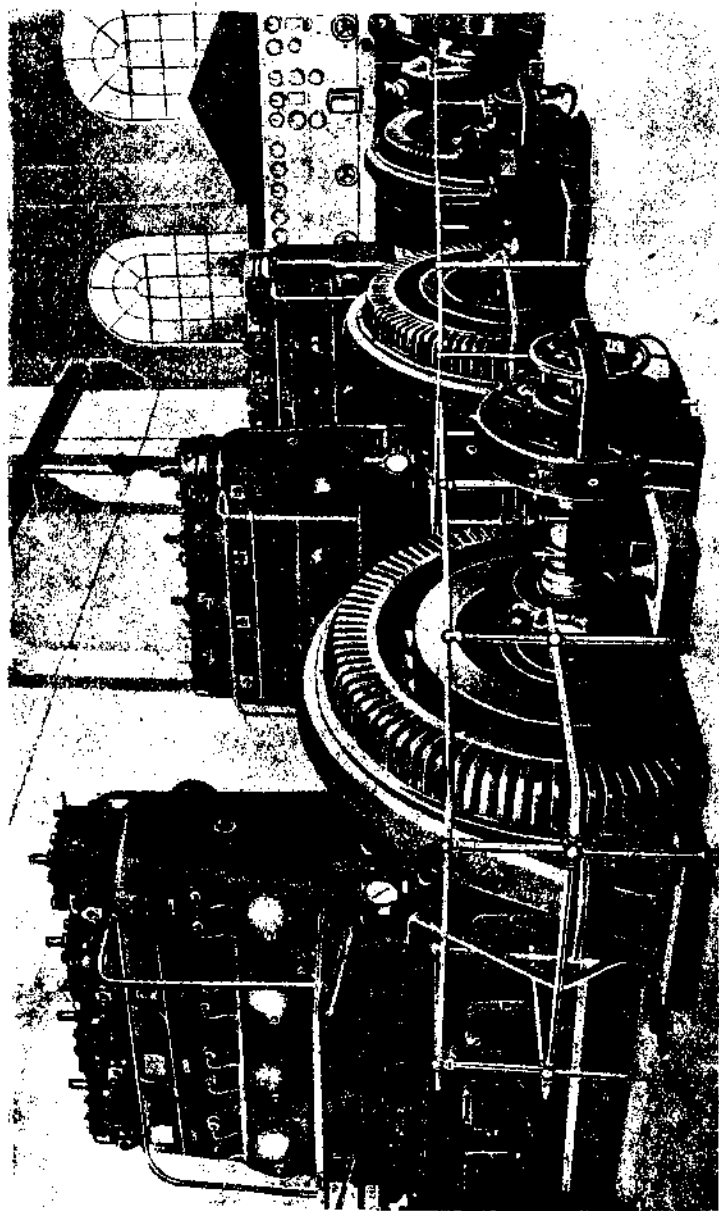


Фиг. 8.



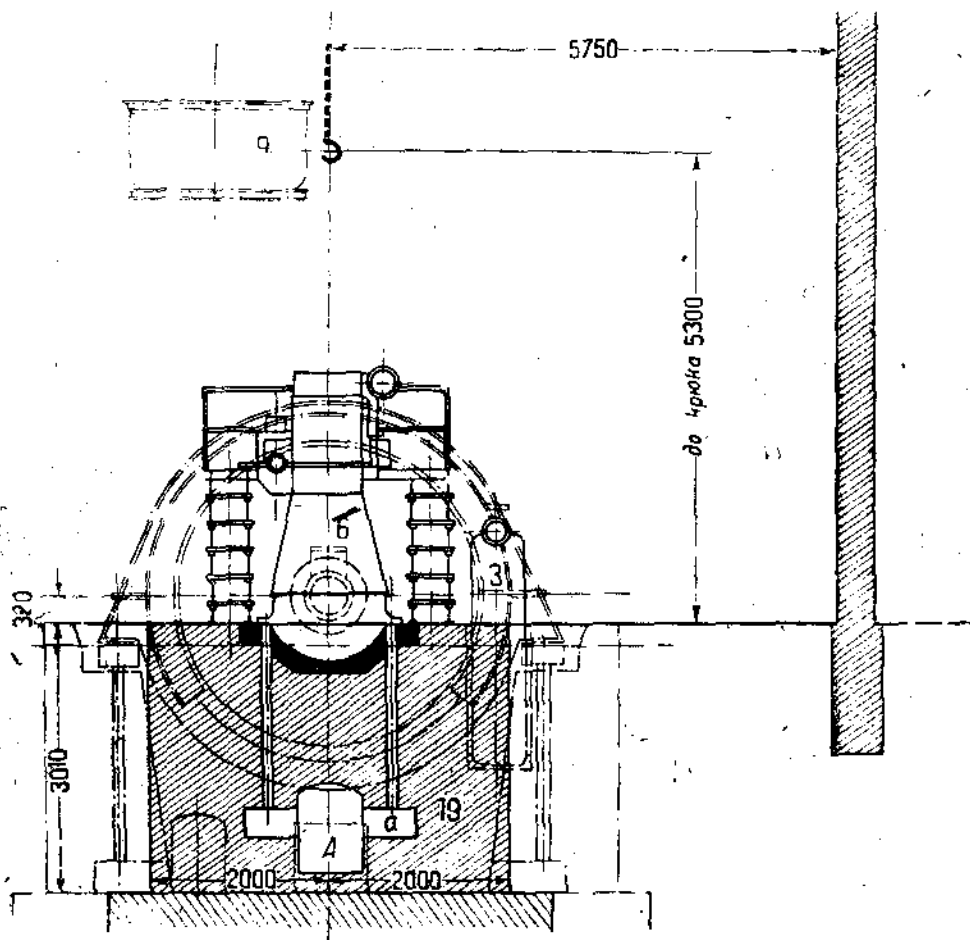
На фиг. 8 изображен габаритный чертеж бескомпрессорного двухтактного дизеля системы Зульцер, марки RK-30, строящегося Харьковским паровозостроительным заводом; на табл. 8 приведены основные размеры этих двигателей.

На фиг. 9 изображена электрическая станция, оборудованная дизелями марки RK-30.



фиг. 9.

На фиг. 10, 11 и 12 изображены разрезы и план установки дизеля системы MAN, постройки Коломенского завода мощностью в 600 л. с. при 187 об/мин для небольшой электростанции, на которой предусмотрено место для второго агрегата.



Фиг. 10.

Таблица 8.

Обозначения	М а р к а			
	2RK-30	3RK-30	4RK- 0	6-RK-30
Мощность л.с.	100	150	200	300
Число об/мин	300	300	300	300
Число цилиндров	2	3	4	6
Диаметр цилиндров мм	300	300	300	300
Ход поршня мм	400	400	400	400
Г мм	2 250	2 900	3 440	4 760
Д	1 300	1 300	1 300	1 300
Е	2 920	2 920	2 920	2 920
Ж	4 500	4 500	4 500	4 500
З	400	400	400	400
И	1 800	1 800	1 800	1 800
К	1 000	1 000	1 000	1 000
В	1 860	1 860	1 860	1 860
Б	3 200	3 200	3 200	3 200
А	3 900	4 475	4 950	—

Fig. 1 is a detailed technical floor plan of a machine room. The layout includes a large rectangular area on the left, likely for a boiler, and a central area containing a steam engine (19) and a boiler (13). Various auxiliary components, including pumps (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22) and valves (23, 24), are distributed throughout the room. Dimensions are provided for the overall room size (13500 x 5000) and for the placement of individual components. The plan also shows structural elements like walls and columns.

в ротор генератора и тогда маховик совершенно отсутствует, или только часть махового момента вкладывается в ротор генератора, или же генератор устанавливается нормального типа, а дизель имеет нормальный маховик; в двух последних случаях длина всей установки будет больше, чем в первом.

45

тов и сравнения значительного числа выполненных установок. Для вертикальных дизелей площадь помещения

$F = 20 + 0,2 N \text{ м}^2$ для двигателей мощностью до 600 л. с.

$F = 20 + 0,17 N \text{ м}^2$ для двигателей мощностью от 600 до 1000 л. с.

$F = 20 + 0,15 N \text{ м}^2$ для двигателей мощностью свыше 1000 л. с.

Для газогенераторных двигателей мощностью до 200 л. с.

$$F = 40 + 0,4 N \text{ м}^2.$$

В нижеприведенных таблицах даны длина, ширина, площадь, полная высота и кубатура машинного помещения для дизелей, газогенераторных установок с генератором и для калоризаторных двигателей.

Таблица 9.

Дизели.

Мощность л. с.	Длина м	Ширина м	Площадь м ²	Высота м	Кубатура м ³
100	7	6	42,5	6	273
200	9	6,75	61	7	427
300	10	7,75	77,5	7	542
400	11	9	99	7,5	742,5
600	12	10,5	126	7,5	945
800	13	11	143	7,5	1072
1000	14	12	168	8	1344

Таблица 10.

Газогенераторные двигатели с генераторами.

Мощность л. с.	Площадь м ²	Высота м	Кубатура м ³
50	60	5,5	330
100	85	6,2	527
150	105	6,8	714
200	118	7,4	873

Таблица 11.

Нефтяные двигатели низкого сжатия (калоризаторные)

Мощность л. с.	Площадь пола в м ²	
	Горизонтальный двигатель	Вертикальный двигатель
10	7	4,3
15	8,2	5
20	11,3	5,8
30	15,2	7,5

3. Высота и кубатура машинного помещения.

Высота машинного помещения вертикальных двигателей определяется размером, указываемым заводом, от пола помещения до крюка крана, расположенного над двигателем; эта высота H должна быть таковой, чтобы поршень с шатуном после его поднятия из цилиндра проходил над шпильками в станине двигателя, при помощи которых крепится цилиндровая крышка к станине. Эта высота всегда указывается на габаритных чертежах завода (фиг. 5, 6, 7).

Расстояние от крюка до конца стены определяется высотой тележки крана, над которой должно быть оставлено до конца стены от 0,5 до 1 м.

Высота от пола машинного помещения до крюка так же как и общая высота машинного помещения не может и не должна определяться какими-либо формулами; первая берется по данным завода, а вторая определяется по первой, принимая во внимание высоту от крюка до верхнего края тележки, и свободным расстоянием от него до конца стены.

Точно так же не должна и не может быть определена по каким бы то ни было формулам кубатура машинного помещения, а исключительно по площади и высоте помещения.

Высота и кубатура машинного помещения для некоторых мощностей дизелей, газогенераторных и калоризаторных двигателей указаны в вышеприведенных таблицах, которыми, так же как и формулами для площади помещения под двигатель, можно пользоваться при ориентировочных соображениях; действительный размер площади и высоты помещения определяется после выбора двигателя на основании габаритных чертежей расположения данного двигателя, которые можно получить с заводов, строящих двигатели:

4. Оборудование подъемными приспособлениями.

Силовая станция с двигателями внутреннего сгорания обычно оборудуется неподвижной балкой с передвижной тележкой (кошкой) или передвижной балкой с тележкой, в которой как движение самой балки, так и тележки производится вручную с пола помещения посредством цепей; подъем груза производится также с пола посредством цепи. Вместо обыкновенной ручной передвижной тележки применяются также электротали. Грузоподъемность такой передвижной балки большей частью бывает 2 — 2,5 т, так как таковая предназначается лишь для эксплуатационных целей, т. е. главным образом для подъема цилиндрических головок, поршней с шатунами и т. п. Для подъема коренного вала и маховика при установке двигателя или при капитальных ремонтах устраиваются леса (козлы) или иные временные подъемные приспособления; ввиду того что эти работы производятся очень редко, краны с расчетом на подъем наиболее тяжелых частей не устанавливаются. Передвижная балка при вертикальных двигателях должна быть установлена на такой высоте, чтобы позволила вынимать поршень с шатуном, т. е. чтобы последний при выемке его из цилиндра был выше шпилек для цилиндровой крышки.

5. Вспомогательные помещения.

а) Ремонтно-механическая мастерская на крупных электростанциях с двигателями внутреннего сгорания имеет назначением производить ремонт только самой станции, если же силовая

установка обслуживает какое-либо производство, то мастерская должна обслуживать как силовую станцию, так и производственные цеха; в зависимости от назначения ремонтно-механическая мастерская должна иметь соответствующее оборудование, а следовательно, и размеры. Хорошо оборудованная мастерская должна состоять из кузницы, механической мастерской и деревообделочной мастерской, если она должна обслуживать кроме станции и производство; так оборудованная ремонтная мастерская дает возможность производить не только обработку отливок, заказанных на стороне, но и изготавливать самостоятельно те или иные детали двигателей, что в настоящее время имеет особо важное значение в связи с перегруженностью двигателестроительных заводов и нередкими затруднениями в сдаче им заказов на те или иные части двигателей.

В случае обслуживания ремонтно-механической мастерской не только силовых станций, но и производственных цехов оборудование таковой должно включать в себе специфические станки, требующиеся по характеру производства; в тех случаях, когда по размеру и характеру предприятия таковое имеет особый ремонтный цех, последний обслуживает и силовую станцию.

Определение числа станков и рабочих ремонтной мастерской производится в зависимости от стоимости оборудования, так как в процентном отношении от такового находится объем и стоимость ремонта.

Если стоимость оборудования предприятия A рублей и стоимость ремонтных работ 3% от стоимости оборудования (как обычно принимается), то стоимость ремонтных работ $B = 0,03 \cdot A$.

Стоимость ремонтных работ B составляется из:

- 1) зарплаты — 30% = $0,3 \cdot B$;
- 2) стоимости материалов — 25% = $0,25 \cdot B$;
- 3) накладных расходов — 45% = $0,45 \cdot B$.

Если часовой заработок одного рабочего a копеек, то общее число человеко-часов, затрачиваемых в год на ремонт оборудования, будет равно

$$b = \frac{0,3 \cdot B}{a} \cdot 100.$$

Считая, что на одного рабочего приходится c рабочих часов в год и что из общего числа человеко-часов в год на машинные работы приходится 65% и на ручные работы — 35%, получим, что число рабочих на станках, а следовательно, и число станков будет:

$$i = \frac{0,65 b}{c}.$$

Часовой заработок одного рабочего надо считать a = от 60 до 75 коп. в час. Годовое число часов работы одного рабочего при непрерывном производстве исчисляется следующим образом: из 365 годовых дней вычитается 78 дней отдыха и 12 рабочих дней очередного отпуска, а всего 90 дней и остающиеся 275 рабочих дней по 8 час. в день дают 2200 рабочих часов в год, следовательно, $c = 2200$ час.

Число станков i представляет собою при вышеуказанных подсчетах число основных станков, а вспомогательное оборудование (как, например, точила, механические ножницы и пр.) исчисляется практически в зависимости от характера оборудования предприятия.

Пример. Если стоимость оборудования предприятия $A = 3\,000\,000$ руб., часовой заработок одного рабочего $a = 75$ коп. и число рабочих часов в год на одного рабочего $c = 2200$, то тогда:

Стоимость ремонтных работ

$$B = 0,03 A = 0,03 \cdot 3\,000\,000 = 90\,000 \text{ руб.}$$

Число человеко-часов, затрачиваемых в год на ремонт оборудования, будет:

$$b = \frac{0,3 B}{a} \cdot 100 = \frac{0,3 \cdot 90\,000 \cdot 100}{75} = 36\,000 \text{ час.}$$

и, следовательно, число рабочих на станках и число станков будет

$$i = \frac{0,85 b}{c} = \frac{0,85 \cdot 36\,000}{2200} = 10,6 \approx 11.$$

Мощность, необходимая для приведения в действие мастерской, определяется как сумма мощностей, потребляемых каждым станком в отдельности, последние же берутся по проспектам заводов, строящих станки. Ввиду того что ремонтная мастерская как таковая работает не всегда одновременно всеми станками, так как ремонтные работы в отличие от планового производства в значительной степени являются случайными, то общую мощность, требующуюся для приведения в движение мастерской, вычисленную как сумму мощностей, потребляемых отдельными станками, уменьшают умножением на коэффициент одновременности работы станков, равный 0,70 — 0,80.

Площадь пола ремонтной мастерской определяется количеством, характером и конструкцией станков и составляет от 16 до 24 м² на 1 станок.

- Высота помещения ремонтной мастерской берется равной 4 — 5,5 м, как из санитарно-гигиенических соображений, так и из соображений удобства устройства трансмиссий и перемещения тяжестей в случае устройства крана; кубатура помещения составляет 45 — 60 м³ на 1 рабочего.

Механическая мастерская должна иметь достаточную вентиляцию, а кузница и деревообделочная — механическую аспирацию газов от горнов, пыли и опилок от строгательных станков и пил. Хорошо оборудованная ремонтная мастерская должна состоять из кузницы, механической со слесарным отделением и деревообделочной мастерских; при электрических станциях и на электрифицированных предприятиях необходимо устраивать при ремонтной мастерской также и электротехническое отделение, а при более крупных ремонтных мастерских еще и водопроводное и сварочное отделения.

Вследствие значительной случайности ремонтных работ, а следовательно, и возможности работы отдельных станков при простое других наиболее рациональными способами привода надо признать индивидуальный привод станков, т. е. установки станков, имеющих самостоятельные моторы. При ремонтной мастерской должны быть устроены раздельная, душ и уборная, которые являются общими как для силовой станции, так и для ремонтной мастерской в случае устройства последней вместе с силовой станцией.

На фиг. 13 представлен план ремонтной мастерской, предназначенной для ремонта производственного оборудования и силовой станции электролитического завода, стоимость оборудования которого выражается в сумме 4—5 млн. руб.

Ремонтная мастерская состоит из кузницы, механической и деревообделочной мастерской, причем механическая мастерская имеет групповые трансмиссионные приводы от электромоторов, что является наиболее удачным выходом из положения при невозможности получить станки с индивидуальными приводами от электромоторов на станках, причем каждая группа имеет наиболее употребительные станки; ремонтная мастерская имеет раздевальню, душ и уборную.

б) Склады топлива, эксплуатационных материалов и запасных частей. Для хранения нефти и моторного топлива применяются подземные железные или подземные бетонные с железобетонными перекрытиями баки, а на небольших установках подземные железные баки вроде железнодорожных цистерн.

Нефтяной бак должен иметь вытяжку для выхода выделяющихся из нефти газов, рейку с делениями, градуированную по размерам бака, или специальные весы для жидкостей, люк для налива и чистки; бак должен быть по возможности установлен таким образом, чтобы был возможен налив нефти самотеком из железнодорожных цистерн или возможно удобнее расположен для налива из баржи, если станция находится на берегу судоходной реки.

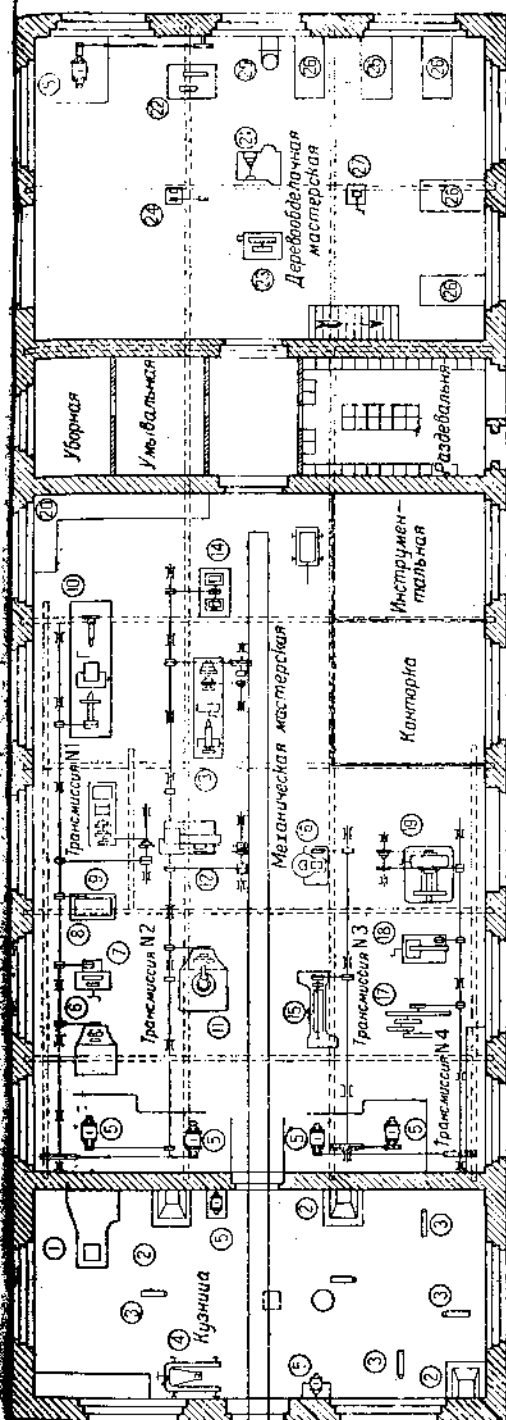
Нефтяной бак, так же как и нефтепроводы, должен быть абсолютно плотен во всех своих швах и соединениях для предохранения от утечки нефти и должен периодически очищаться от грязи; надземный бак должен быть окружен земляным валом или стеной высотой в 2 м; расстояние его от несгораемых строений в зависимости от емкости бака должно быть:

10 м при емкости	до 100 т
15 " " "	от 100 " 250 "
20 " " "	250 " 750 "

Расстояние от сгораемых строений — на 50% больше.

Кроме главного нефтехранилища емкостью от двух до шести-месячного расхода топлива в машинном помещении устанавливаются так называемые расходные баки емкостью, достаточной для работы в течение 10—12 час., и два фильтра емкостью по 3 часа.

Склады антрацита и дров для газогенераторных станций, как правило, должны устраиваться в закрытых помещениях, так как излишняя влажность влияет на качество газа. Если в виде исключения антрацит хранится на открытом воздухе, то для его хранения должна быть устроена бетонная, мощеная или деревянная площадка для предохранения нижних слоев антрацита от перемешивания с почвой; антрацит должен складываться штабелями высотой не более 2 м и длиной до 35 м с проходами между ними как в целях правильного учета, так и из противопожарных соображений и для лучшего проветривания и предохранения от самовозгорания и понижения качества его; сыпка антрацита к стенам и заборам не допускается, так как затрудняет проветривание. Довольно часто в штабелях устраивают вертикальные и горизонтальные деревянные каналы для проветривания, что является неправильным, так как усиливает приток воздуха, способствуя самовозгоранию антра-



Фиг. 13.

№ по пор.	Наименование оборудования	Кол-во	№ по пор.	Наименование оборудования	Кол-во
1	Кузница		15	Валя для спивания листов	1
2	Прессовальный станок с электромотором	1	16	Токарный станок простой односторонний	1
3	Горно кузнечных	3		Трансмиссия № 3	
4	Насосная установка	5		Трансмиссия № 4	
5	Перекачивающий крип	1	17	Гильотинные ножницы для железа	1
6	Электромоторы	7	18	Приспособление для изготовления стоек	1
7	МЕХАНИЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ		19	Универсальный фрезерный станок	1
8	Трансмиссия № 1		20	Верстак с тисками	1
9	Сверлильный станок	1		ДЕРЕВОБЕЛОЧНАЯ МАСТЕРСКАЯ	
10	Токарный станок	1	21	Стопальный станок	1
11	Продольно-отрезной станок	1	22	Круглая пила	1
12	Продольно-отрезной станок	1	23	Круглая пила с подложным столом	1
13	Резьбальный станок	1	24	Токарный станок	1
14	Токарно-винторезный станок	1	25	Электроточильная машина	1
	Трансмиссия № 2		26	Верстак столярный	5
	Сверлильный станок	1	27	Токарный станок простой ручной	1

цита. Время от времени необходимо проверять температуру антрацита, в особенности после дождя или снega; при обнаружении повышения температуры штабель необходимо проветрить посредством разгребания.

Дрова на газогенераторных установках также складываются штабелями как в целях учета, так и в целях просушки и из противопожарных соображений; штабеля дров должны быть высотой не более 4 м с проходами между ними. Такие эксплуатационные материалы, как смазочные масла, керосин, бензин как материалы огнеопасные, должны храниться в специальных подземных хранилищах.

На фиг. 14 изображен такой склад огнеопасных материалов из бетона емкостью в 35 т.

Склад запасных частей обычно представляет собой небольшое помещение площадью от 5 до 30 м² в зависимости от числа и мощности двигателей, расположенное рядом с машинным залом, с полками для мелких частей, устраиваемыми вдоль стен; крупные части (цилиндрические крышки, поршни и пр.) располагаются на полу на деревянных подкладках. Помещение склада запасных частей должно быть достаточно сухим, а все части должны быть смазаны техническим салом.

Применяются две системы снабжения нефтетопливом: 1) подача топлива на территорию станции по железнодорожной ветке в цистернах или наливом из барж при расположении станции на путях водного транспорта и 2) подача топлива по нефтепроводу.

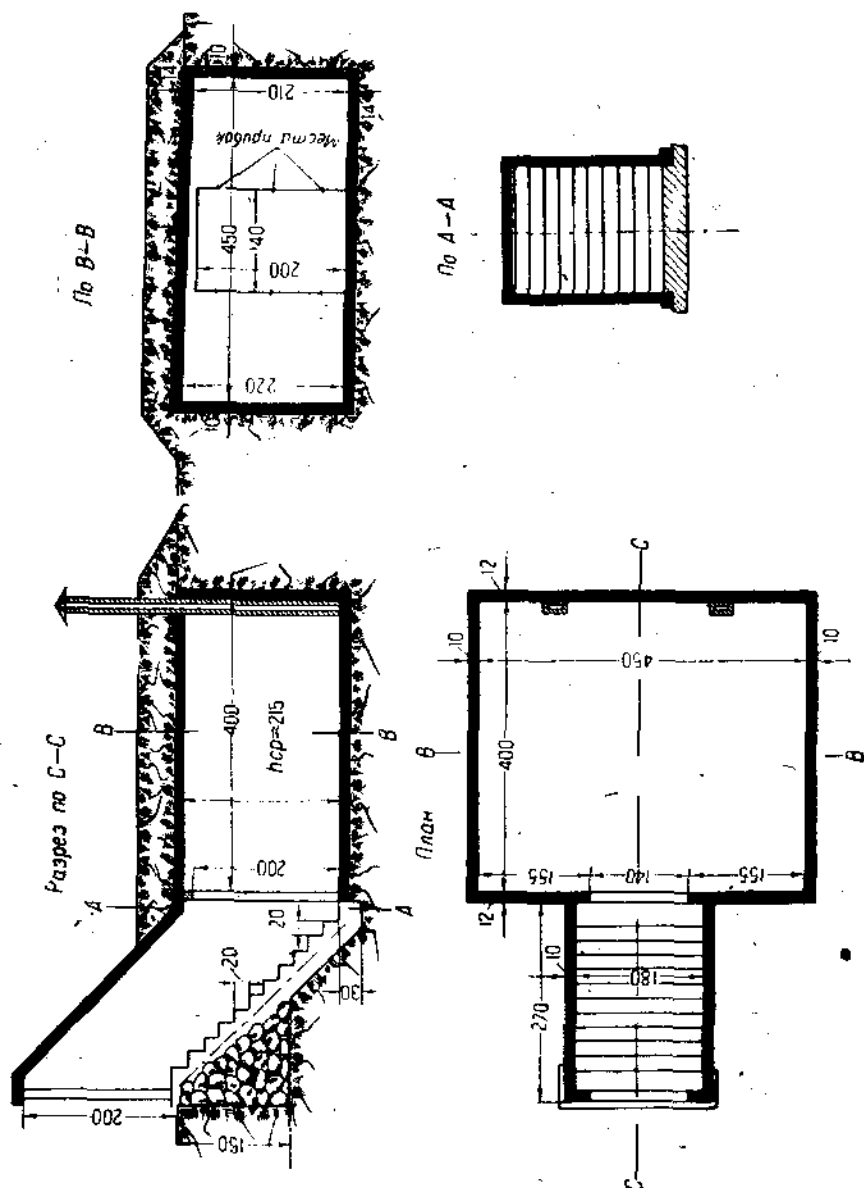
В первом случае нефть подается в цистернах по железнодорожной ветке на территорию станции и из цистерн перекачивается в нефтехранилище. При этом необходимо иметь приемщика, который указывает, к какому резервуару надо подать цистерну, наблюдает за целостностью пломб и уборкой выгруженных цистерн и проверяет вес, если приемка производится с веса. Перекачка нефти из цистерн в нефтехранилище по возможности должна производиться сливом, если же это невозможно, то посредством центробежного насоса; в последнем случае кроме сливщиков, которые привинчивают рукава к цистернам и ответвлениям нефтепровода и наблюдают за процессом слива, необходим машинист у насоса. Кроме указанного при этой системе необходим железнодорожный персонал. На фиг. 15 представлена схема подачи нефти с железнодорожной цистерны.

Во втором случае, при подаче нефти по нефтепроводу, вопрос о преимуществе этого способа решается сравнительными подсчетами стоимости подачи топлива цистернами и нефтепроводом. При расположении станции в местности, где имеются склады Союзнефтьторга, преимущество оказывается на стороне нефтепровода, так как весь персонал сокращается до минимума, а железнодорожный персонал отпадает. Стоимость нефтепровода зависит от местности, по которой он проходит; прокладка нефтепровода по городской территории дороже и опаснее, так как не исключена возможность порчи нефтепровода. В отношении направления нефтепровода желательно, чтобы он шел по прямой линии с небольшим уклоном в сторону станции.

Средняя стоимость 1 лог. км нефтепровода выражается в следующих суммах: по территории города — 60 000 руб., сельской местности при твердом грунте 40 000—45 000 руб.

Срок службы нефтепровода 20—25 лет (амортизация 4—5%); ремонт 3%.

Приемка нефтепродукта при подаче его цистернами должна производиться или измерением веса цистерн или измерением уровня нефти в нефтехранилище, определением его объема и переводом объема на вес по удельному весу; приемка производится представителем силовой



Фиг. 14.

станции совместно с представителем Союзнефторга. Из каждой цистерны берется проба из нескольких мест по глубине цистерны посредством особого приспособления, называемого ливером, сливается в общий бидон, взбалтывается и разливается в три бутылки, одна из которых

передается станции, принимающей нефтетопливо, вторая — Союзнефте-
торгу для производства анализа на предмет определения теплотворной

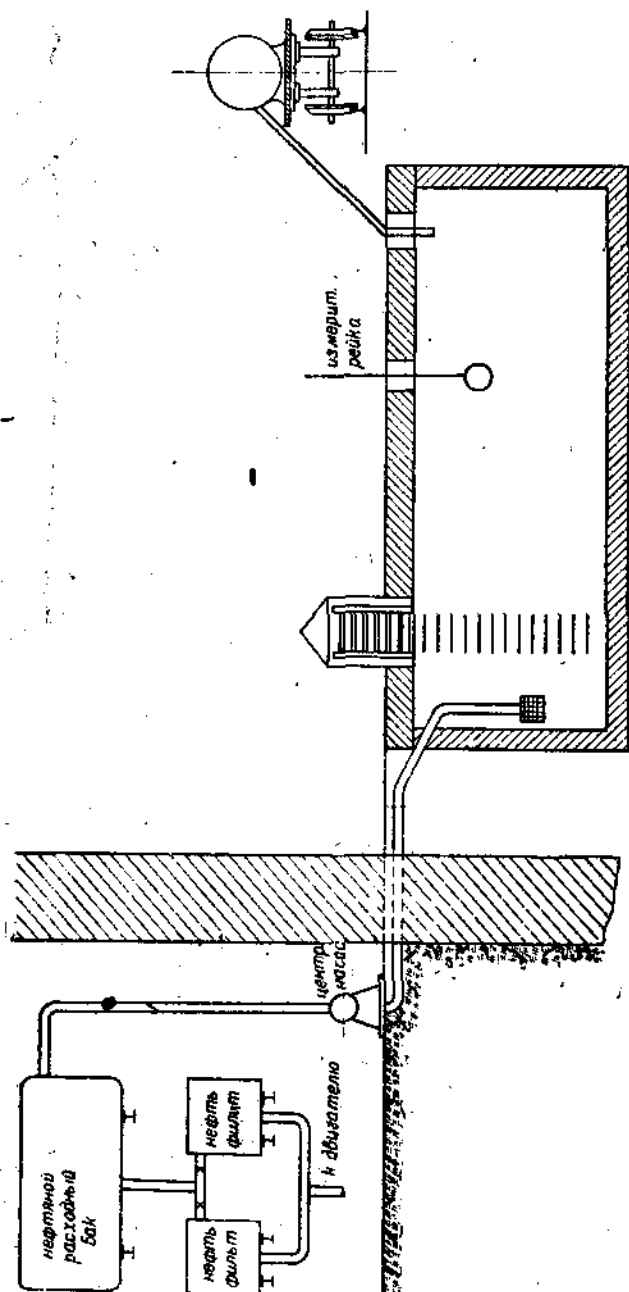
способности содержа-
ния грязи и воды, тем-
пературы застывания
и вспышки удельного
веса, а третья остав-
ляется как образец
на случай разногла-
сия между станцией и
Союзнефеторгом.

Приемка не-
фтетоплива при по-
даче его нефтепрово-
дом производится по
нефтемеру или у скла-
дов Нефтесиндиката
или на станции; в
этом случае проба бер-
ется из склада Не-
фтесиндиката, из ко-
торого нефть перека-
чивается.

Что касается на-
личия топлива,
то нефтетопливо дол-
жно находиться на
станции в количестве
2—2,5-месячного за-
паса при получении
его с железной дороги
и 8—10-месячного при
получении с воды; ан-
трацита на газогенера-
торных станциях надо
иметь 3,0—3,5-ме-
сячный запас, дрова
же и торф обычно за-
готавливаются на целый
год; остальные экс-
плуатационные мате-
риалы должны иметь-
ся на станции в запасе
на 2—3 мес.

Кроме того, си-
ловая станция должна
иметь комплект запас-
ных частей, перечи-
сленных на стр. 176.

При каждой станции с двигателем должен быть, по крайней мере, один
индикатор, правильное же иметь столько индикаторов, сколько цилин-



Фиг. 15.

дров в двигателе, если имеется один двигатель, и сколько цилиндров в двигателе с максимальным числом цилиндров, если на станции установлено несколько двигателей, чтобы иметь возможность снимать индикаторные диаграммы со всех цилиндров двигателя одновременно; необходимы также счетчик оборотов, термометры для измерения температуры холодной воды, поступающей в охлаждающие пространства двигателя, и горячей воды, если таковые не предусмотрены конструкцией двигателя на цилиндрических крышках, термометры для измерения температуры отходящих газов и температуры помещения.

в) Устройство раздевалок и душа. Хорошо оборудованная станция должна иметь раздевалку и душ для рабочих. Раздевальня представляет собою помещение, примыкающее к станции, по стенам которого, а также и посередине устроены ряды отдельных для каждого рабочего шкафов, число которых рассчитывается по числу рабочих в течение круглых суток, т. е. с таким расчетом, чтобы из гигиенических соображений каждый рабочий имел свой шкаф, в котором никто другой вешать своей одежды не должен. Каждый шкаф должен быть разделен по вертикали на два отделения: одно — для домашней одежды и второе — для спецодежды.

Размеры каждого отделения шкафов в плане:

При хранении только верхней одежды — 35×40 см

При хранении верхней и домашней одежды — 40×40 см

Для спецодежды — от 25×35 до 35×35 см.

Высота шкафов — 1,80 м; между рядами шкафов устраиваются проходы и скамейки, вместе с которыми на каждый шкаф приходится в среднем от 0,8 до 1,4 м² пола. Шкафы должны запираются на замок и ключ от такового всегда должен находиться у рабочего, которому отведен данный шкаф.

Американский способ устройства раздевалки состоит в том, что одежда хранится в мешках, подвешенных на стальных тросах, перекинутых через блоки, прикрепленные к потолку, на которых их можно спускать к полу для снятия одежды; на полу устраиваются только скамейки. При этом способе хранения одежды площадь помещения на одно место для хранения платья равна 0,5—0,6 м², т. е. значительно меньше, чем в раздевальне обычного устройства.

При устройстве душа, таковой состоит из ряда кабинок, каждая из которых разделена на две части: на место для душа размером приблизительно $1,1 \times 1,2$ м и раздевальни размером $1,1 \times 0,8$ м; рядом с душем устраиваются умывальники. Как для душа, так и для умывальников используется теплая исходящая охлаждающая вода посредством отвода части воды из трубопровода, по которому теплая вода подается из бака на градирню. Обычно один душ считается на 10—15 чел., а число умывальников определяется из расчета, что каждый из них в течение 10—15 мин. может обслужить 5—10 чел.

6. Система трубопроводов на станциях.

Трубопроводы в установках с двигателями внутреннего сгорания разделяются на: а) трубопровод для отходящих газов, б) для охлаждающей воды, в) масляный трубопровод, г) газовый, д) воздушный и е) нефтяной.

Все трубопроводы должны быть по возможности прямолинейными, с наименьшим количеством закруглений, которые должны быть возможно

плавными; в направлении давления проводимого тела трубопровод должен подниматься во избежание воздушных мешков; всякий трубопровод должен быть хорошо укреплен и должна быть предусмотрена возможность его расширения; трубопровод должен быть хорошо уплотнен, причем необходимо следить за тем, чтобы выступающие прокладки не уменьшали его живого сечения. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность чистки и легкой разборки трубопровода.

а) Трубопровод для отходящих газов (выхлопной трубопровод) делается из чугунных труб, что лучше, так как чугунные трубы меньше разъедаются или железных труб на фланцах; для небольших двигателей, при диаметре выхлопного трубопровода не более 75 мм его изготовляют из железных труб на муфтах. Во избежание загромождения машинного помещения выхлопной трубопровод от каждого цилиндра или по соединении нескольких выхлопных труб в одну, чаще всего отводится в подвальное помещение или в особый канал у фундамента двигателя.

В больших двигателях выхлопной трубопровод устраивается с охлаждающей рубашкой, в которую поступает вода из цилиндрических рубашек. Выхлопной трубопровод должен устраиваться по возможности с небольшим изменением направления газов, чтобы не создавать излишних сопротивлений и чтобы цилиндрические крышки можно было снимать, не разбирая его.

При прокладке выхлопных трубопроводов газовых двигателей необходимо обращать внимание на то, чтобы таковой не проходил слишком близко от газового трубопровода, так как в этом случае газ нагревается и уменьшается вес газа, всасываемого в цилиндр, что влечет за собою уменьшение мощности, развиваемой двигателем; если изменение расположения выхлопного трубопровода невозможно, то он должен быть изолирован.

Вследствие довольно высокой температуры отходящих газов (400° Ц и более) выхлопной трубопровод удлиняется от нагрева, в особенности в начале его, около цилиндра; это удлинение достигает 4—5 мм на 1 м длины ближе к цилиндру и 1,8—2,2 мм на 1 м длины более отдаленных от цилиндра участках трубопровода. Поэтому выхлопной трубопровод должен иметь возможность осевого расширения на каждом его участке, для чего устраиваются сальники.

Выхлопной трубопровод должен быть снабжен кранами для спуска воды и должен быть выведен выше коньков крыш окружающих зданий, если таковые имеются поблизости; горизонтальный участок выхлопного трубопровода должен быть несколько наклонным к глушителю, чтобы вода, конденсирующаяся из газов, и выделяющиеся из них смолы могли стекать по направлению к глушителю.

б) Трубопровод для охлаждающей воды выполняется из газовых (водопроводных) труб, соединяемых нарезными муфтами, и из чугунных водопроводных труб на фланцах.

Цель охлаждения двигателя заключается в недопущении слишком высоких температур в двигателе, которые могут нарушить прочные свойства металла, в устранении напряжений от расширения вследствие неравномерного нагревания, в предохранении цилиндра и поршня двигателя от чрезмерного нагревания, влекущего за собою сгорание масла и заедание поршня. Охлаждению подлежат: цилиндрические крышки (головки), втулки

рабочих цилиндров, цилиндры, крышки и ресивер компрессора во всех двигателях и поршни, выхлопные клапана и выхлопной трубопровод в более крупных двигателях — обычно при мощности в одном цилиндре свыше 100 л. с.; иногда устраивается охлаждение и коренных подшипников, что, правда, надо признать нерациональным и неудобным в эксплуатации. Охлаждение обычно производится водой и только охлаждение поршня иногда производится маслом. Как чрезмерное охлаждение, в особенности цилиндра, вредно, так как понижает температуру рабочих газов и увеличивает трение между поршнем и втулкой цилиндра вследствие сужения ее, так и недостаточное охлаждение, повышая температуру частей двигателя, вредно отражается на их материале.

Температура исходящей охлаждающей воды должна быть 45—55°, причем при изменении нагрузки двигателя количество воды необходимо регулировать таким образом, чтобы температура ее оставалась более или менее постоянной.

Холодная вода из бака, расположенного у потолка машинного помещения, по магистрали поступает к общему трубопроводу у двигателя, из которого отдельными ответвлениями подается к каждому цилиндру и к компрессору; из цилиндров вода переходит коротким патрубком в цилиндрические крышки, откуда уже сливается от всех цилиндров в одну воронку, имеющую отвод в бак горячей воды, располагаемый обычно в машинном помещении, из которого центробежным насосом подается на градирню для охлаждения. Слив охлаждающей воды из цилиндрических крышек в воронку очень важен по двум причинам: во-первых, машинист в этом случае может увереннее проверять температуру исходящей охлаждающей воды, в особенности в случае отсутствия или неисправности термометров на цилиндрических крышках, а во-вторых, машинист по струе, сливающейся в воронку воды из каждого цилиндра, может судить о правильности циркуляции ее во всей охлаждающей системе. Последнее бывает чрезвычайно важно в случае появления неплотности в холодильниках сжатого воздуха в компрессорных дизелях; тогда вследствие проникания воздуха в охлаждающую систему вода из трубопровода, подающего воду в воронку, начинает выходить не сплошной непрерывной струей, а с перерывами, на мгновения останавливаясь совсем и снова продолжая вытекать, как бы пульсируя; это происходит вследствие образования воздушных пробок от проникновения в охлаждающую систему сжатого воздуха и дает персоналу сигнал к остановке двигателя и необходимости разыскать место повреждения в холодильнике. Непринятие этих мер в подобных случаях грозит разрывом холодильника, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Диаметр подводящей трубы для холодной воды, если принимать максимальный расход ее в 40 л на 1 л. с. ч., может быть определен по формуле:

$$d = \sqrt{0,15N} \text{ сантиметров,}$$

причем диаметр трубопровода для отвода воды принимается равным от 1,25 до 1,75 d в зависимости от уклона ее.

в) Масляный трубопровод устраивается для смазки поршня рабочего цилиндра и компрессора и их поршневых пальцев, которая производится под давлением посредством специальных смазочных аппаратов; остальные части двигателя смазываются при помощи баков

со смазочным маслом и капельниц. В быстроходных дизелях для всех частей двигателя применяется только смазка под давлением.

Каждый цилиндр двигателя обслуживается отдельным цилиндром смазочного насоса (моллерупа), который подает масло в кольцевой трубопровод из медных трубок вокруг цилиндра, и от него по трубкам и штуцерам масло подводится сквозь рубашку цилиндра в цилиндр в 6—8 мес-

тах по окружности цилиндра, расположенных на такой высоте, чтобы масло поступало между первым и вторым поршневыми от верху кольцами при нижнем положении поршня. Масляный трубопровод изготавливается из труб красной меди внутренним диаметром 6—7 мм.

Отработавшее масло фильтруется и идет снова для смазки менее ответственных частей двигателя, причем цилиндры двигателя и компрессора, а также поршневой палец должны смазываться только свежим маслом.

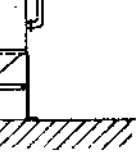
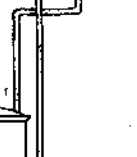
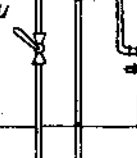
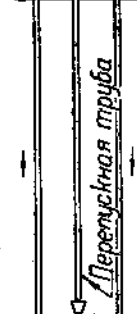
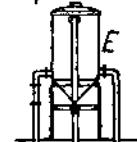
На фиг. 16 представлена схема фильтрации смазочного масла по системе завода MAN, которая, являясь довольно простой, может быть устроена на каждой станции хозяйственным способом.

Отработавшее масло из масляного ко-

рыта фундаментной рамы самотеком поступает в расположенные под полом машинного помещения отстойники А и В, где происходит первоначальная грубая очистка масла отстаиванием и затем периодически посредством ручного насоса перекачивается в верхний бак Е, имеющий перепускную трубу на случай его переполнения; из верхнего бака масло поступает в фильтр, в котором очищается окончательно.

г) Газовый трубопровод в газовых и газогенераторных двигателях всегда делается из чугунных труб и должен быть уложен на

Верхний бак

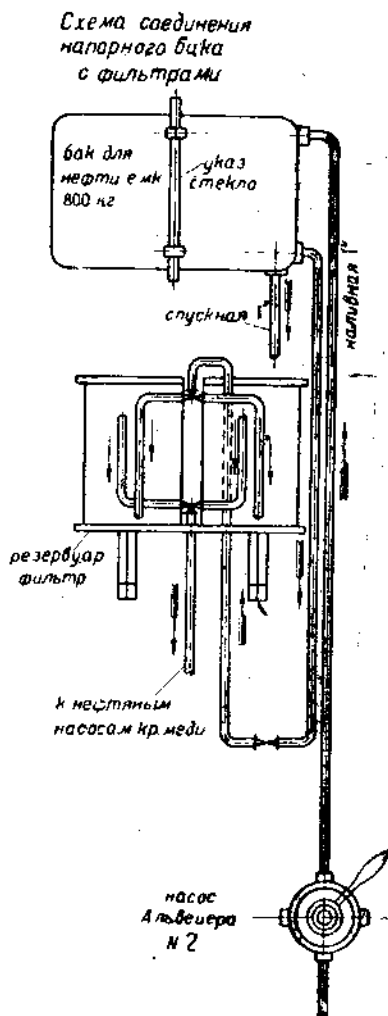


Фиг. 16.

достаточном расстоянии от выхлопного трубопровода или же хорошо изолирован, чтобы он не нагревался, от чего теряется мощность двигателя; обычно диаметры газопровода и воздухопровода одинаковы, так как наиболее выгодное соотношение газа и воздуха для бедных смесей—1 : 1. Газопровод не должен быть слишком узким, так как с течением времени на внутренних стенках его скапливается значительное количество отлагающихся из газа смол и золы и газопровод суживается, хотя, конечно, от этого необходимо предохранять газопровод его своевременной чисткой. Газопровод должен иметь уклон к двигателю, у которого устанавливается газовый горшок для сбора воды, увлекаемой газом из скруббера; кроме того, этот газособирающий является регулятором, уравнивающим скорости и давления во всасывающем трубопроводе, и устраняет влияние их на количество газа, засасываемого за один ход поршня; газопровод должен быть снабжен люками для чистки, а у двигателя должно быть ответвление для удаления воздуха и для пробного пламени.

д) Воздушный трубопровод всасывающий и пусковой. Всасывающий трубопровод в нефтяных двигателях (дизелях) обычно представляет собою железную трубу небольшой длины, 700—800 мм, с прорезами в 0,75—1,00 мм; воздух всасывается из помещения, что хотя создает некоторый шум, но зато вентилирует помещение; иногда засасывание воздуха производится из картера, что охлаждает картер, однако, такой способ рекомендовать не следует, так как в этом случае в цилиндр засасывается не чистый воздух, а с некоторым количеством отходящих газов, которые всегда в той или иной мере пробиваются через поршень, что влияет на процесс горения и на мощность двигателя; иногда устраивают засасывание наружного воздуха, более холодного, а следовательно, и более тяжелого по трубам или каналам.

Пусковой воздухопровод и воздухопровод форсуночного воздуха изготавливаются из стальных или медных труб для высокого давления и должны обладать особой плотностью в соединениях, которая осуществляется посредством медных конусов и бронзовых гаек.



Фиг. 17.

Как на пусковом, так и на трубопроводе форсуночного воздуха ставят предохранительные клапаны, из которых наиболее рациональной и надежной конструкцией надо признать так называемую предохранительную пластинку (см. гл. VII «Предохранительные устройства»).

е) Нефтепровод устраивается из газовых труб, а часть нефтепровода между насосом и форсункой делается из цельнотянутых стальных или медных труб. Обычная схема движения нефти такова (фиг. 17): из нефтехранилища нефть подается посредством ручного насоса Альвейера или центробежного насоса в расходный бак, находящийся в машинном помещении, из которого самотеком через фильтры поступает к нефтяным насосам двигателя; расходный бак должен быть расположен несколько выше двигателя, чтобы обеспечить приток нефти самотеком через фильтры к насосам. Необходимо наличие двух нефтяных фильтров для того, чтобы, выключая один на время чистки, можно было работать другим. Если применяются густые сорта нефти, то нефтепровод подогревают, проводя его на небольшом расстоянии от выхлопного трубопровода, или обвивают нефтепровод вокруг выхлопной трубы, или, наконец, подогревают исходящей охлаждающей водой или отходящими газами. Соединение нефтепровода от бака к насосу выполняется посредством нарезных муфт, а нефтепровод, находящийся под давлением, при помощи медных конусов и бронзовых гаек.

7. Системы охлаждения двигателей.

В стационарных двигателях применяется исключительно водяное охлаждение кроме поршней, которые в некоторых конструкциях охлаждаются циркуляционным маслом. Гарантия расхода охлаждающей воды обычно дается при начальной температуре в 10°C и конечной— 50 — 60°C . При изменении этого соотношения количество расходуемой воды пропорционально изменяется. Если, например, при начальной температуре $t_2' = 10^{\circ}$ и конечной $t_1' = 50^{\circ}$ гарантируется расход воды $c = 15 \text{ л/час}$ на 1 д. л. с., то при $t_2 = 20^{\circ}$ и $t_1 = 50$ расход воды будет соответственно

$$c_1 = \frac{c(t_1' - t_2')}{t_1 - t_2} = \frac{15(50 - 10)}{50 - 20} = 20 \text{ л.} \quad (1)$$

Исходящая охлаждающая вода должна иметь температуру от 45 до 55°C ; при повышении температуры воды до 70° , что свидетельствует о каких-либо неисправностях в охлаждающей системе, должны быть приняты меры к ее снижению, причем ни в коем случае нельзя сразу пускать большое количество холодной воды во избежание появления трещин в цилиндрических крышках, втулках или рубашках. При повышении температуры воды до 80° необходимо снять нагрузку с двигателя и дать ему несколько остынуть при холостом ходе, если же это не помогает, то необходимо остановить двигатель.

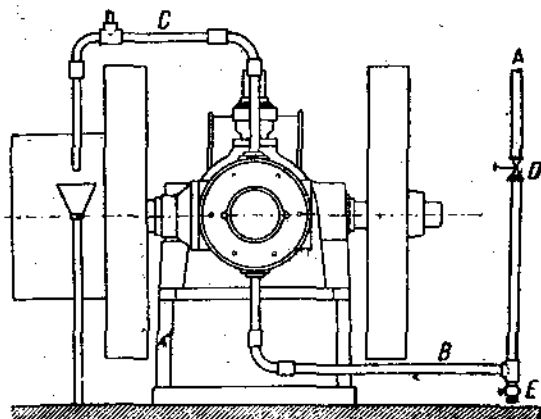
Ни в коем случае не следует работать при температурах охлаждающей воды в 60 — 70° , как к этому иногда прибегают из соображений повышения к. п. д. установки. Высокая температура охлаждения недопустима вследствие того, что влечет за собой, во-первых, увеличение расхода масла, а во-вторых, увеличивает отложения накипи; поэтому при жесткой воде особенно важно не доводить охлаждающую воду до слишком высокой температуры. Слишком низкой температура охлаждающей воды также не

должна быть; не следует допускать температуру ее ниже 40°C . Необходимо признать, что те неисправности в работе двигателей и, главным образом, дизелей как двигателей, работающих при наибольших давлениях и температурах, которые вызываются слишком высокой температурой исходящей охлаждающей воды, заставляют отказаться от некоторого улучшения использования тепла, получающегося при этом.

Расход воды на охлаждение двигателя обычно выражается в количестве от 15 до 25 л/час на 1 д. л. с. в зависимости от мощности двигателя и разности температур, причем в самые знойные месяцы года может доходить до 30 л; как средний можно считать расход в 17 л для дизелей и 20—25 л для небольших калоризаторных двигателей; для газогенераторных двигателей расход воды увеличивается на промывку и охлаждение газов в скруббере (6—8 л/л. с. ч.) и на испаритель (0,5—0,7 л/л. с. ч.) и доходит до 30 л/час на 1 л. с.

В стационарных установках применяются три системы охлаждения двигателей: охлаждение свежей водой, циркуляционное охлаждение и охлаждение испарением.

а) Охлаждение проточной (свежей) водой. Вода подается к двигателю из водопровода или каким-либо насосом, проходит один раз охлаждающую систему двигателя и отводится в сток; на фиг. 18 показана схема такого охлаждения, где вода по трубе В подается в нижнюю часть охлаждающей рубашки двигателя и отводится из ее верхней части по трубе С в воронку сточной трубы.



Фиг. 18.

Эта система применима или при небольших двигателях, когда водопроводная вода недорога, или в случае наличия поблизости значительных водоемов воды, как-то: озера, пруда, реки, из которых вода подается в бак, расположенный в верхней части машинного помещения, откуда самотеком проходит через двигатель и уходит в сток или же обратно в озеро или реку; преимущество ее заключается в дешевизне первоначального оборудования, так как отпадает расход на градирию или какое-либо иное охлаждающее устройство, однако оправдывается эта система лишь в случае нахождения машинного помещения близко от водоема и при небольшой разности уровней, так как подача такого большого количества воды, которое требуется для охлаждения двигателя на значительное расстояние по горизонтали, а тем более если воду приходится поднимать (например из реки), обходится настолько дорого, что эксплуатационные расходы поглощают выгоды дешевого оборудования.

б) Циркуляционное охлаждение бывает следующих видов:

1) Охлаждение водой, охлаждаемой в открытых водоемах (охлаждающих прудах); в этом случае вода из сливной трубы поступает

в водоем — бассейн, расположенный на территории предприятия, где и охлаждается частью за счет поверхностного испарения, частью же за счет нагревания проходящего над поверхностью воды естественного потока воздуха. Этот способ применяется исключительно для небольших двигателей, так как требует очень большого бассейна с большим зеркалом воды, а следовательно, и значительного места. На 1 д. л. с. требуется по практическим данным от 2 до 3 м² поверхности воды, а следовательно, и площади бассейна.

При более или менее значительных мощностях станции способ охлаждения воды в открытых водоемах оправдывается лишь при наличии недалеко от станции пруда или озера, т. е. при возможности использования естественного водоема без затраты средств на его устройство. В этом случае способ охлаждения в открытых водоемах приближается к способу охлаждения свежей водой.

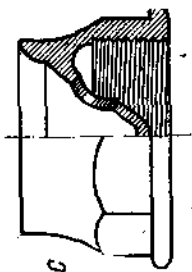
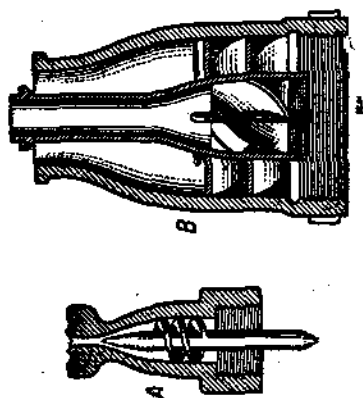
Недостатком охлаждения в открытых водоемах является то, что интенсивность охлаждения зависит от наличия ветра, при отсутствии которого, в особенности в летнее время, охлаждение получается ничтожным, кроме того, устройство значительных размеров бассейна вызывает большие первоначальные затраты.

2) Для того чтобы сократить площадь водоема, иногда устраивают распыливание воды над поверхностью водоема, для чего вода подводится и распределяется по поверхности бассейна по трубам, на которых насажены специальные сопла-разбрызгиватели, которыми вода распыливается, вследствие чего увеличивается поверхность соприкосновения воды с воздухом, что усиливает охлаждение воды.

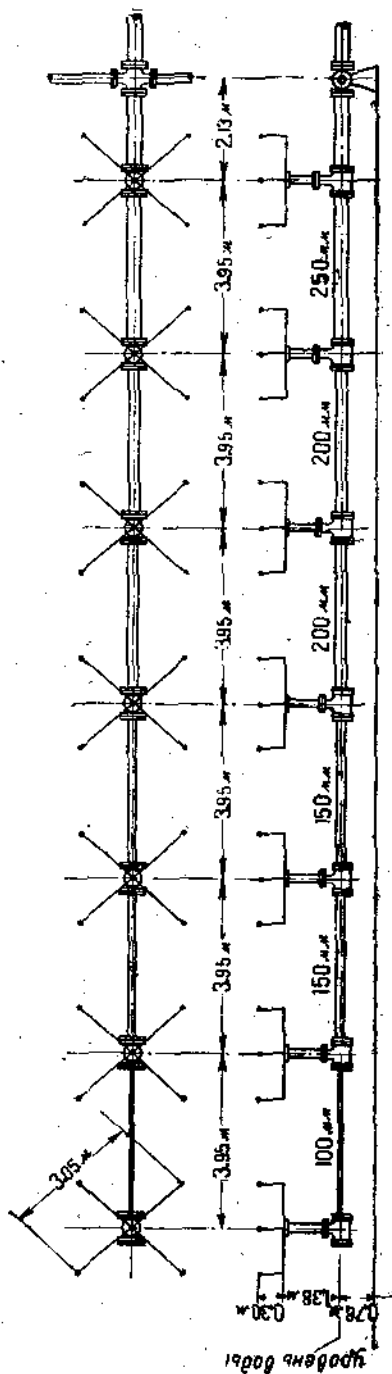
На фиг. 19 показаны сопла различных конструкций, которые обычно изготавливаются из бронзы и привертываются к концам отрезков распределительных труб, расположенных пучками по пять или по семь штук. А — сопло с винтовой вставкой, которая создает вращательное движение воды, способствующее распыливанию вследствие центробежной силы, сопло В состоит из двух входящих одна в другую частей, каждая из которых создает вращение струи воды в противоположную сторону; сопла С и D представляют собою конструкции сопел ударного типа, причем в первом распыливание достигается ударом одной струи о другую при выходе их из двух противоположно просверленных отверстий, а во втором — вследствие удара струи о внутреннюю стенку сопла.

На фиг. 20 показано расположение сопел пучками по распределительной трубе. Давление воды перед соплами должно составлять от 4 до 7 м вод. ст.; расход энергии на сопла составляет 1—2% от всей энергии, производимой станцией. Площадь бассейна при распыливании воды соплами сокращается в 1,5—2 раза по сравнению с площадью бассейнов без сопел и составляет 1—2 м² на 1 д. л. с. Недостатком распыливающих сопел является то обстоятельство, что некоторая часть охлаждаемой воды в виде водяной пыли уносится воздухом, вследствие чего расход воды увеличивается.

3) Охлаждение водой; охлаждаемой в баках с термосифонной циркуляцией; схема этого способа охлаждения представлена на фиг. 21; способ этот основан на том, что теплая жидкость с более легким удельным весом стремится занять место выше, чем более холодная. Нагретая в охлаждающей системе двигателя вода из верхней части охлаждающей рубашки как более легкая подни-

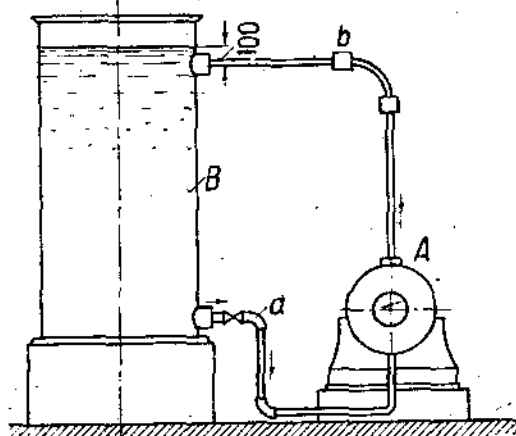


Фиг. 19.



Фиг. 20.

мается по трубе в верхнюю часть бака, там охлаждается частью за счет испарения и нагревания воздуха на поверхности бака, частью же лучеиспусканием и нагреванием воздуха поверхностью самого бака; охлаждаемая вода опускается в нижнюю часть бака, откуда по трубе поступает в нижнюю часть охлаждающей рубашки. Этот способ очень прост и дешев,



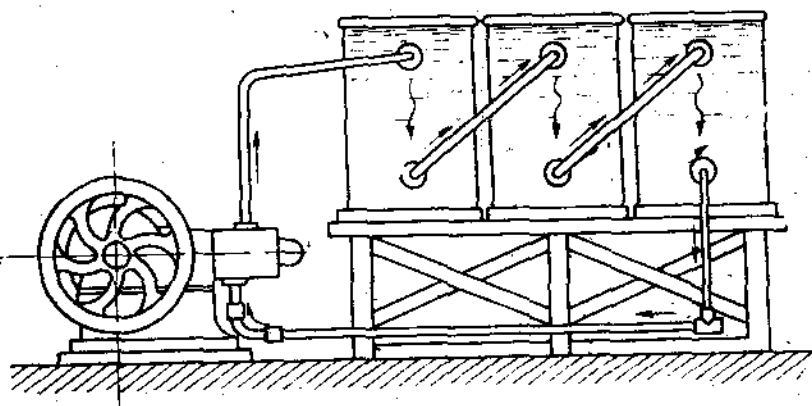
Фиг. 21.

так как не требует насосов и расходует воду только на испарение, однако применим только для небольших двигателей мощностью до 40—50 л.с. Верхний уровень воды в баке всегда должен находиться примерно на 100 мм выше верхней подающей воду трубы, а в самой нижней части трубопровода должен быть поставлен спускной кран, чтобы можно было спустить всю воду. Баки изготавливаются из оцинкованного железа толщиной 1,5—2 мм, режу делают деревянные баки; высота бака $H = 1,75 \text{ до } 2,5 D$, где D — диаметр его.

Вместимость бака определяется по следующей эмпирической формуле:

$$V = 0,04 z \cdot N_e^{\text{н}} / \text{куб. метров},$$

где z — число часов работы двигателя в сутки, а $N_e^{\text{н}}$ — его нормальная мощность.



Фиг. 22.

Если емкость бака получается больше 5 м^3 , то делается несколько баков с последовательным соединением, как это показано на фиг. 22. В среднем емкость бака принимается от 250 до 300 л на 1 д. л. с.

Диаметр подводящей и отводящей труб для двигателей мощностью 8—12 л. с. должен быть равен 40 мм, от 12 до 30 л. с. — 50 мм и от 30 до

50 л. с.—60 мм. Баки рекомендуется ставить в закрытом прохладном помещении, но не на открытом месте во избежание замерзания в зимнее время.

4) Охлаждение водой, охлаждаемой в градирнях. Градири представляют собой большую часть деревянное и значительно реже железное или железобетонное сооружение, состоящее из остова на стойках, заполненного системой деревянных, а иногда железных планок, имеющих назначением раздроблять воду на возможно мелкие струйки и тем самым создавать возможно большую поверхность соприкосновения воды с проходящим через градирию воздухом. Вода подается в верхнюю часть градирни и, раздробляясь, опускается в находящийся под градирней бассейн уже охлажденной.

Во всех системах градирен охлаждение воды происходит, с одной стороны, за счет нагревания проходящего через нее воздуха, с другой стороны, за счет частичного испарения воды, так как необходимая для этого скрытая теплота отнимается от неиспаренной воды, температура которой при этом понижается.

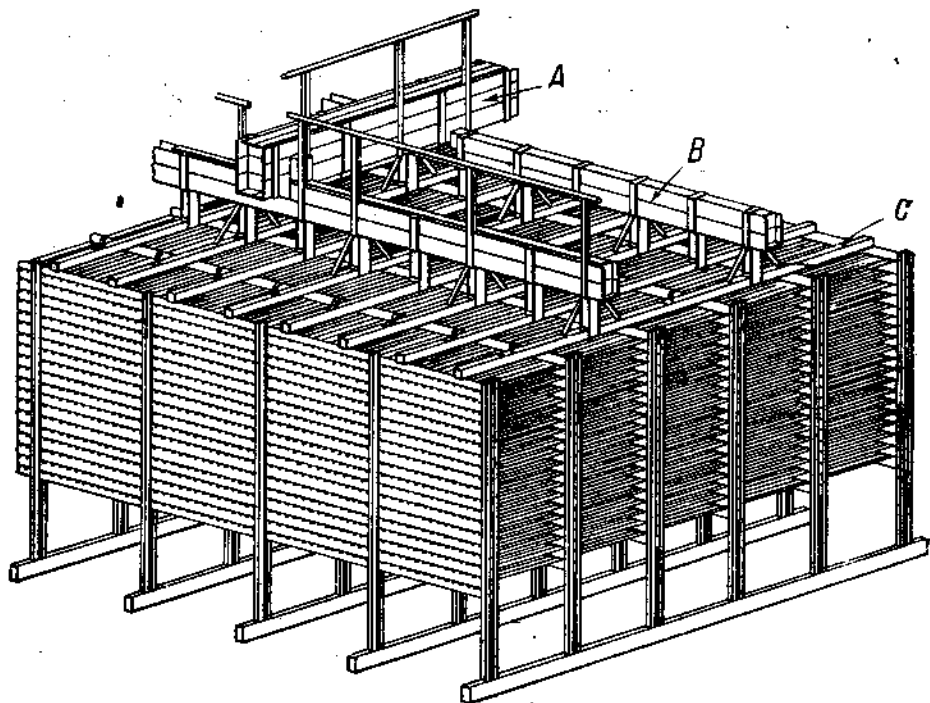
Хотя вода в градирне охлаждается проходящим через нее воздухом, однако вода может охладиться до температуры ниже температуры воздуха. Так как содержание влаги в охлаждающем воздухе всегда меньше того количества влаги, при котором воздух насыщен водяными парами, то каждый кубический метр воздуха может принять количество влаги, равное разности между весом 1 м³ воздуха, насыщенного парами, и весом 1 м³ воздуха с действительным содержанием влаги; если охлаждаемая в градирне вода теплее атмосферного воздуха, то воздух, соприкасаясь с водой, отнимает от нее такое количество влаги, которое необходимо для полного насыщения воздуха водяными парами, и это испарение воды сопровождается отнятием от нее теплоты испарения, вследствие чего вода охлаждается.

Когда в градирию поступает воздух одной температуры с водой, то вода все же может быть охлаждена, так как воздух будет насыщаться парами воды, образующимися за счет отнятия от воды теплоты испарения, вследствие чего температура воды должна стать ниже температуры воздуха. То же происходит и при температуре воды ниже температуры воздуха, но до определенного предела. Предел охлаждения в этом случае определяется парциальным давлением пара при соответствующей относительной влажности; когда температура воды достигнет температуры, соответствующей этому давлению, то воздух, соприкасающийся с водой, будет иметь тоже такую же температуру, будет насыщен водяными парами и не сможет больше поглощать влаги, вследствие чего прекратится испарение воды, а следовательно, и связанное с испарением охлаждение ее.

Градири бывают: 1) открытые с естественной циркуляцией воздуха, 2) закрытые с естественной циркуляцией и 3) закрытые с искусственной циркуляцией воздуха; градири с так называемой комбинированной, т. е. естественной и искусственной циркуляцией воздуха, почти не применяются, так как они получают больших размеров, а следовательно, и дороже градирен с искусственной циркуляцией, хотя в эксплуатации несколько дешевле последних.

В открытых градирнях воздух имеет доступ внутрь градирни со всех сторон, и охлаждение зависит исключительно от естественного потока воздуха и наиболее интенсивно во время ветра. Самая примитивная открытая градири представляет собой ряд палок, укреплен-

ных на стойках, на которых разложен хворост в несколько этажей по высоте; вода, протекая через хворост, раздробляется и стекает мелкими струйками, что и создает необходимые для ее охлаждения условия. На фиг. 23 показаны схема обычной открытой градирни и система распределения воды, которая поступает сначала в главную коробку А, из нее распределяется по двум промежуточным коробкам В, а из последних попадает в распределительные закрытые желоба С; желоба С имеют в верхней своей части разбрызгивающие сопла, из которых вода и поступает на систему планок, которыми наполнена градирня, раздробляется на них и охлаждается.

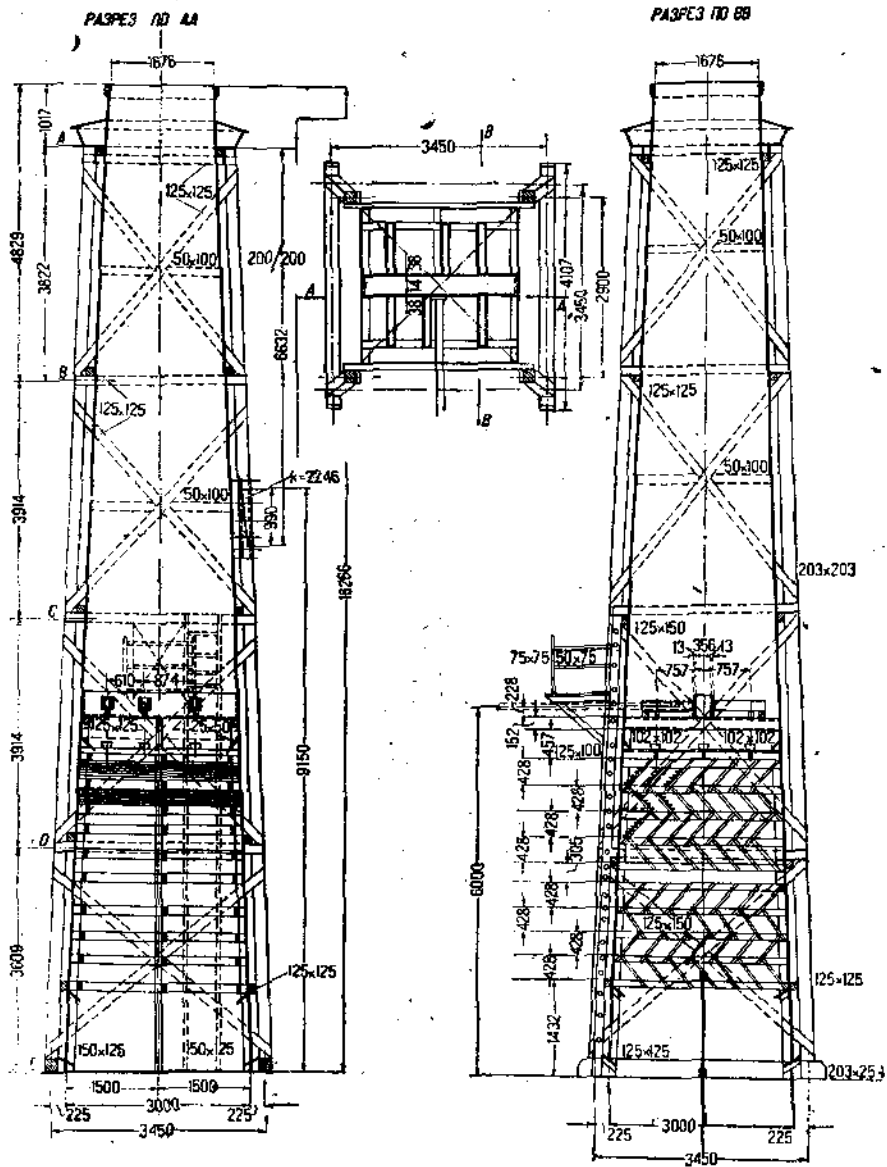


Фиг. 23.

Градирня закрытого типа с естественной циркуляцией воздуха отличается от вышеописанной открытой в основном тем, что у нее лишь нижняя часть представляет открытые жалюзи, верхняя же часть представляет собою совершенно закрытую вытяжную трубу для возбуждения тяги воздуха, которая получается вследствие разницы температур в нижней части градирни и над трубой или, как ее называют, башней, почему такие градирни и получили название башенных или каминных охладителей.

На фиг. 24 изображен каминный охладитель системы Бальке, производительностью в $25 \text{ м}^3/\text{час}$ для дизельной установки, мощностью 800 л. с. Эта система охладителей дает вполне надежное охлаждение и получила у нас довольно широкое распространение. Фиг. 24 представляет два продольных разреза градирни, из которых видно, что таковая состоит из четырех вертикально-наклонных стоек, с наружными горизонтальными и

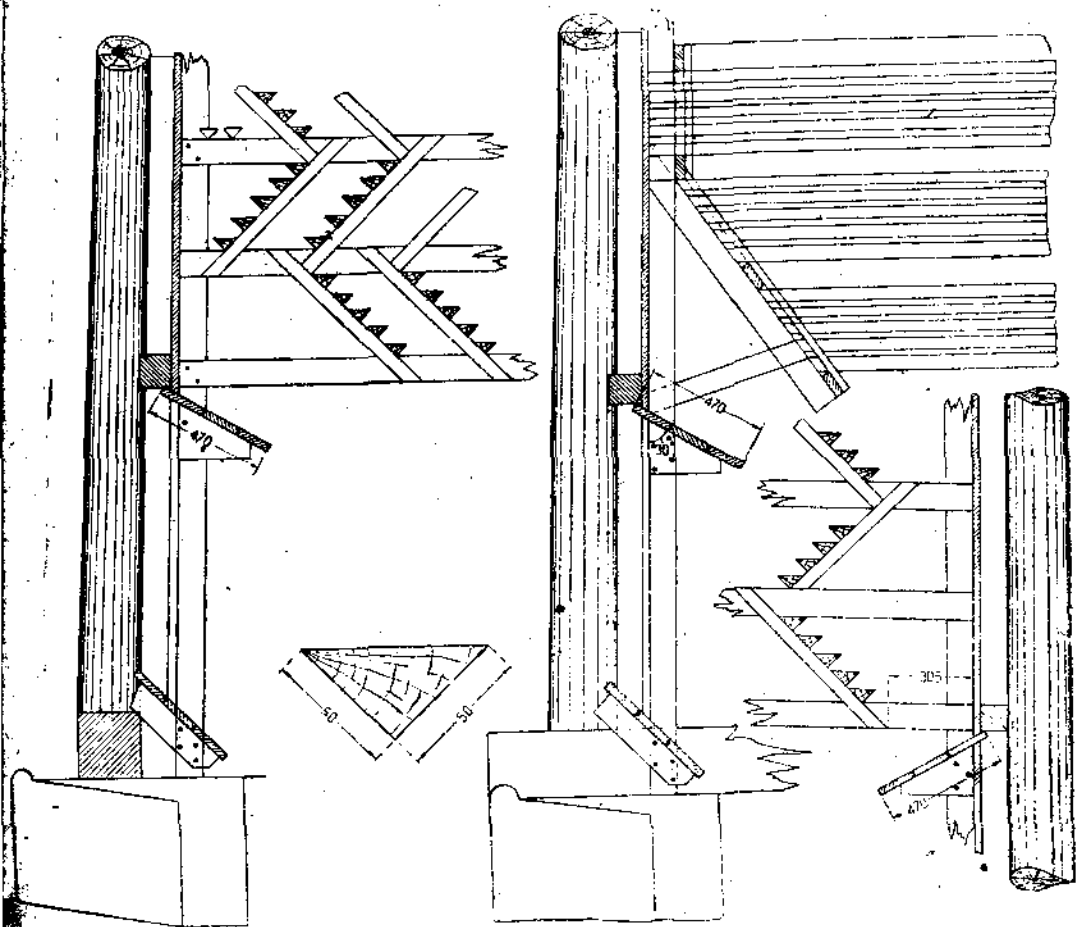
диагональными креплениями, внутри почти по всей высоте защищенными досками, и лишь нижняя часть всей образующейся таким образом трубы на небольшой высоте открыта для доступа охлаждающего воздуха. Раз-



Фиг. 24.

дробляющее воду устройство заключено в нижней части трубы и заканчивается на высоте 6 м; оно состоит из нескольких рядов прибитых к стенкам трубы горизонтальных реек, на которых укреплены наклонные рейки, представляющие в вертикальном направлении зигзагообразную

кает на планки треугольного сечения и по последним проходит длинный зигзагообразный путь, то в одном, то в другом направлении переливаясь с одного яруса планок на другой. Благодаря такому движению раздробленные струйки воды имеют достаточно длинный путь и большую поверхность соприкосновения с идущим снизу вверх воздухом, что и обеспечивает достаточно интенсивное охлаждение воды.

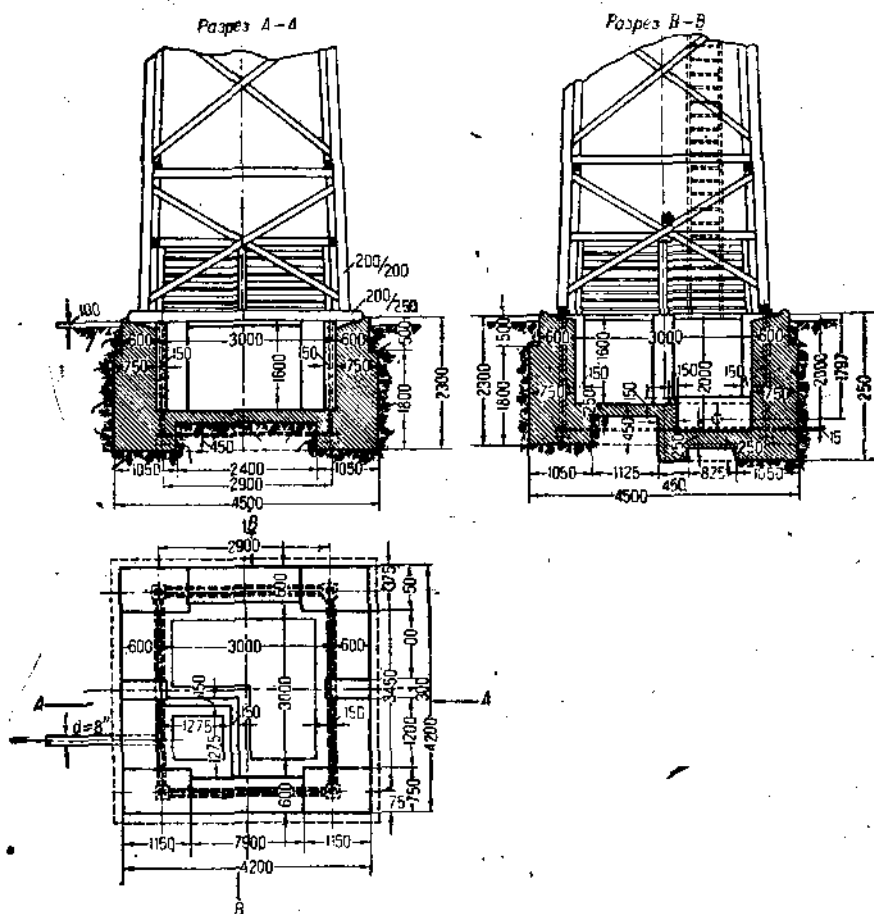


Фиг. 256.

Теплая вода подается от двигателей центробежным насосом в средний большой желоб градирни, а охлажденная собирается в бетонном или кирпичном зацементированном бассейне, расположенном под башней.

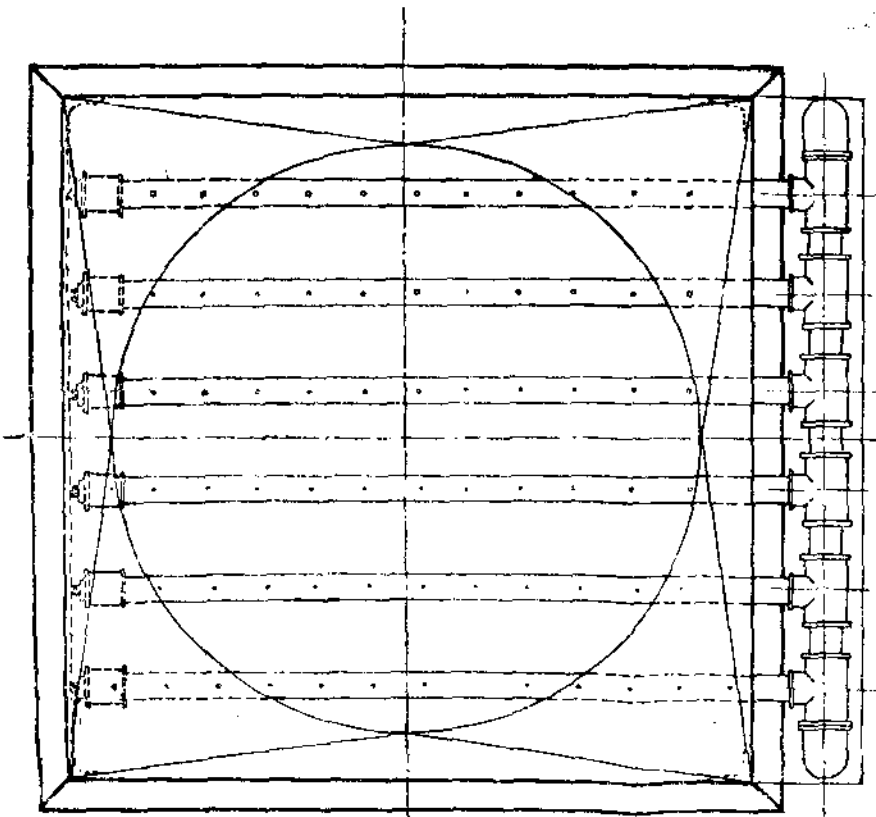
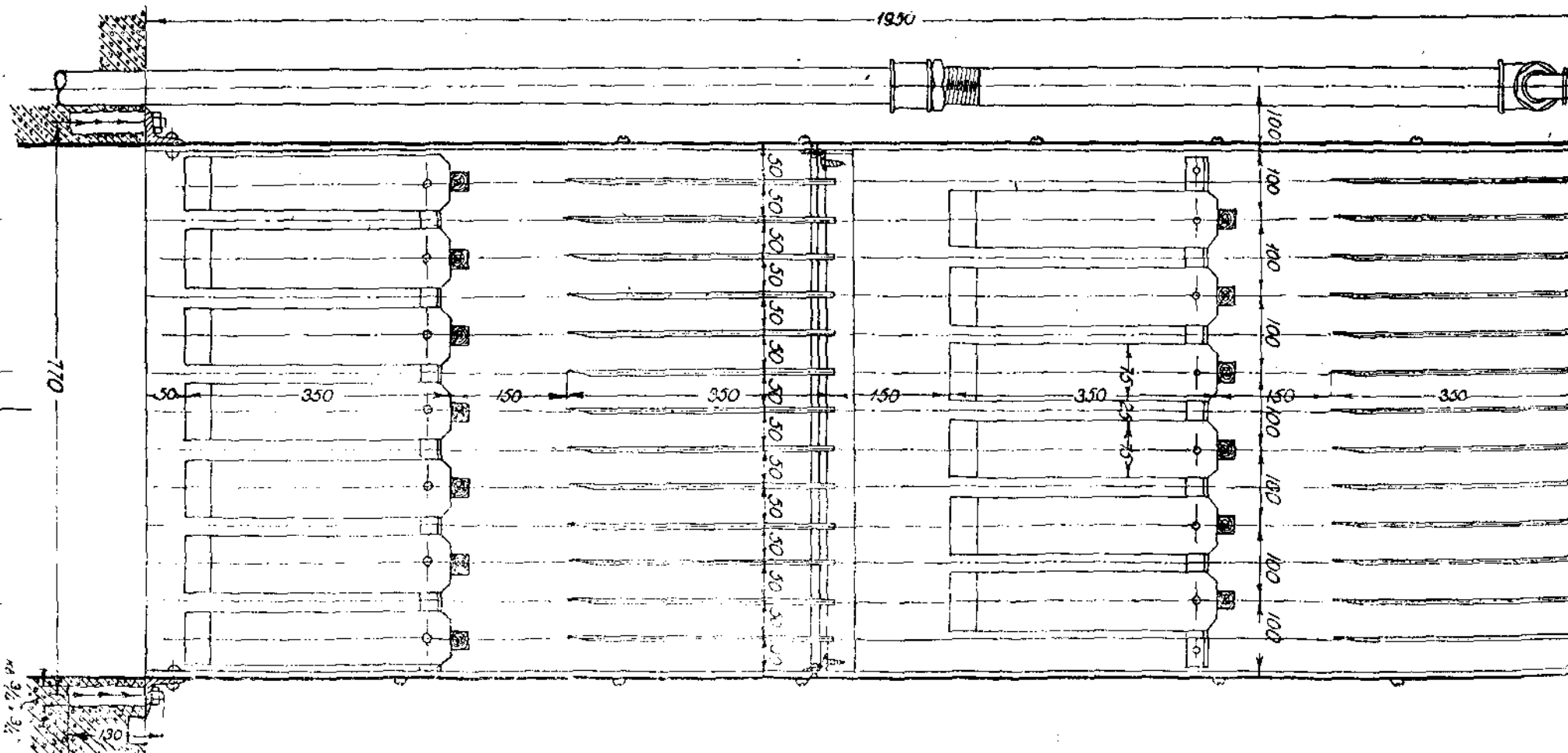
На фиг. 25а и 25б показаны детали орошающего приспособления и разрезы нижней части башни, а на фиг. 26 план и разрезы бассейна под башней.

Нижняя рама башни для предохранения последней от опрокидывания ветром соединяется с кладкой бассейна четырьмя анкерными болтами с плитами, соединенными внизу полосовым железом; бассейн, служащий вместе с тем и фундаментом башни, выполняется из бетона 1 : 3 : 5 или из кирпича и оштукатуривается цементной штукатуркой 1 : 1. Анкерные плиты и полосовое железо укладываются при кладке бассейна, анкерные болты устанавливаются при сборке градирни и заливаются цементным раствором.



Фиг. 26.

Для двигателей мощностью до 50 л. с. применяются более простые небольшие градирни в виде железной вертикальной трубы, заполненной по всей высоте разбрызгивающим приспособлением. На фиг. 27 представлена такая градирня конструкции завода «Красный пролетарий» в Москве; эта градирня состоит из железного (толщиной 1 мм) прямоугольного сечения кожуха (трубы), внутри которого в четырех местах по высоте, на приклепанных к стенкам трубы уголках, укреплены деревянные планки, расположенные перпендикулярно один ряд по отношению к следующему,

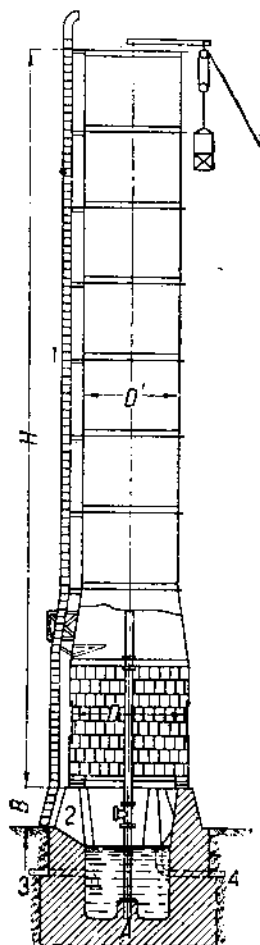


к которым прикреплены деревянные пластинки — стоки шириной 75 мм, толщиной 5 мм и длиной 350 мм.

Горячая вода подается к верхней части градирни по газовой трубе, которая заканчивается горизонтальной трубой с несколькими тройниками, к каждому из которых присоединена горизонтальная труба с отверстием, служащая распределителем воды по сечению градирни. Вода, выходя из отверстий труб, распределяется довольно равномерно по сечению градирни, падает вниз и, разбиваясь о каждый ряд деревянных горизонтальных планок, обтекает затем тонким слоем пластинки (стоки), вследствие чего получается большая поверхность соприкосновения воды с воздухом, который или естественной тягой или при помощи вентилятора прогоняется через градирню. Над прямоугольной трубой градирни (кожухом) устраивается цилиндрическая железная труба, которая выходит сквозь крышу машинного помещения наружу и служит как для создания тяги, так и для вывода паров воды. Охлажденная вода стекает в бетонный бассейн, на котором стоит градирня и который имеет сообщение с наружным воздухом для подвода такового. Такие градирни устанавливаются в машинном помещении недалеко от самого двигателя: размеры, указанные на фиг. 24, относятся к градирне для двухтактного бескомпрессорного дизеля мощностью в 30 л. с.

На фиг. 28 представлена железная градирня конструкции Вортингтон-Симпсон с естественной циркуляцией воздуха, которая применяется и для больших двигателей. Градирня представляет собою железную цилиндрическую башню, нижняя часть которой несколько уширена и включает в себе раздробляющее устройство, состоящее из большого числа коротких, тонких стальных трубок, расположенных в несколько рядов и заходящих одна в другую. Вода подается по центрально расположенной трубе 2, которая заканчивается распределителем, имеющим конструкцию сегнера колеса, вращающимся вследствие реакции вытекающей из отверстий воды; этим достигаются раздробление воды и распределение ее по всему сечению раздробляющего устройства; градирня устанавливается на бетонном бассейне, охлажденная вода засасывается по трубе 3. Эти градирни изготовляются диаметром до 5,5 м. Преимущества металлических градирен заключаются в том, что они прочнее деревянных, занимают меньше места и совершенно безопасны в пожарном отношении.

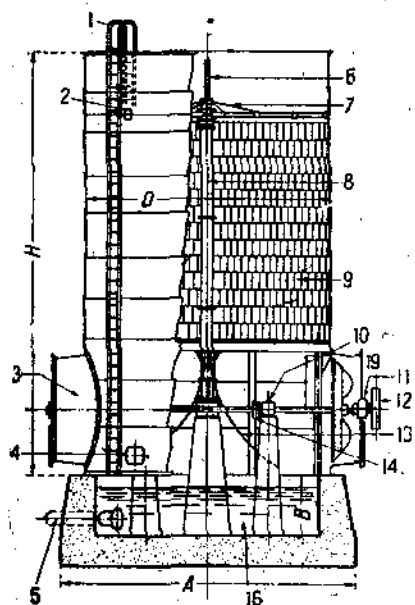
В местностях, где климатические условия создают слишком неблагоприятные условия для работы градирни с естественной циркуляцией, применяются закрытые градирни с искусственной циркуляцией воздуха, которая достигается посредством вентиляторов. В этих системах градирен нижняя открытая часть совершенно отсутствует и заменяется вентилято-



Фиг. 28.

рами, которые и прогоняют через градирню требующееся для охлаждения количество воздуха.

На фиг. 29 изображена закрытая градирня с искусственной циркуляцией воздуха конструкции фирмы Вортингтон-Симпсон, которая отличается от вышеописанной градирни той же фирмы лишь наличием двух вентиляторов, всасывающие отверстия которых только и представляют собою места входа воздуха в градирню; охлаждаемая вода подводится по трубе 8, охлажденная — отводится по трубе 5; вытяжная труба над раздробляющим устройством такой градирни необязательна, так как в естественной тяге нет необходимости, а таковая небольшой высоты устраивается лишь для отвода испарений. Преимущество такой градирни заключается в том, что она может работать более надежно, не завися от ветра и в меньшей



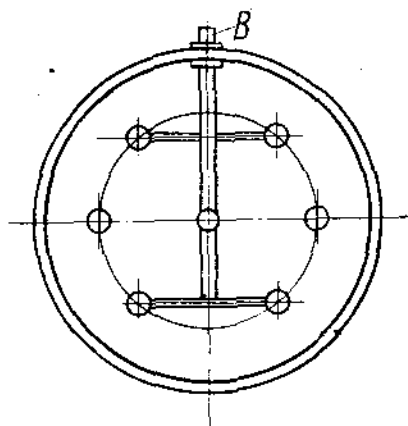
Фиг. 29.

степени, чем градирня с естественной циркуляцией, завися от температуры воздуха; недостатком ее является довольно значительное потребление энергии на приведение в движение вентиляторов, которое составляет от 1 до 2% всей вырабатываемой станцией энергии. Поэтому такой конструкции градирни не должны применяться там, где по атмосферным условиям возможно применение градирни с естественной циркуляцией воздуха.

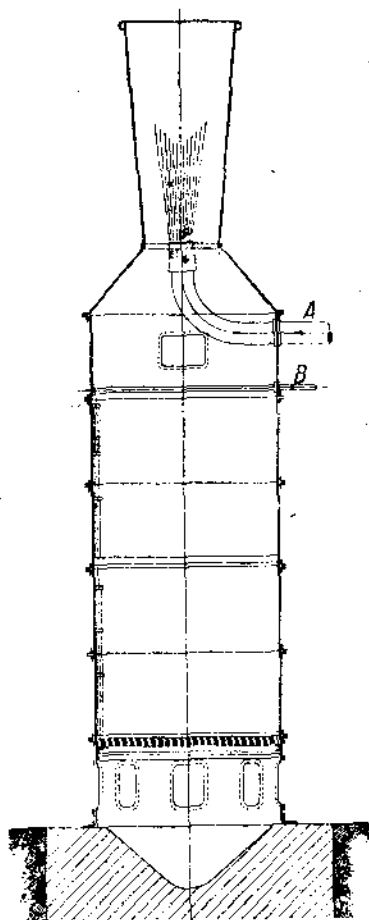
Показанная на фиг. 24 градирня системы Бальке в случае надобности также может быть легко переконструирована в градирню с искусственной циркуляцией воздуха; для этого необходимо только закрыть имеющиеся внизу жалюзи для входа воздуха и с одной или с двух сторон, в зависимости от производительности и местных условий работы, поставить вентиляторы для принудительной подачи воздуха.

Очень интересна конструкция градирни Коломенского завода, в которой тяга образуется отходящими газами. Как видно из фиг. 29 а, эта градирня состоит из железного цилиндра, в верхнюю часть которого по трубе А с конусом на конце ее подводится выхлопные газы; при выходе из конуса газы захватывают с собой частицы воздуха и создают разрежение в верхней части градирни, благодаря чему образуется тяга, увеличивающая количество протекающего через градирню воздуха. Горячая вода из двигателя поступает в градирню по трубе В, которая имеет несколько разветвлений (фиг. 29 б); на конце каждого из них имеются разбрызгивающие приспособления; из последних вода попадает на гончарные трубы, установленные на колосниках в цилиндрическом корпусе градирни в несколько вертикальных рядов. Обтекая трубы и охлаждаясь током воздуха, входящего в градирню через расположенные под колосниками окна, вода охлаждается и поступает в бетонный бассейн под градирней, из которого посредством насоса подается в напорный бак.

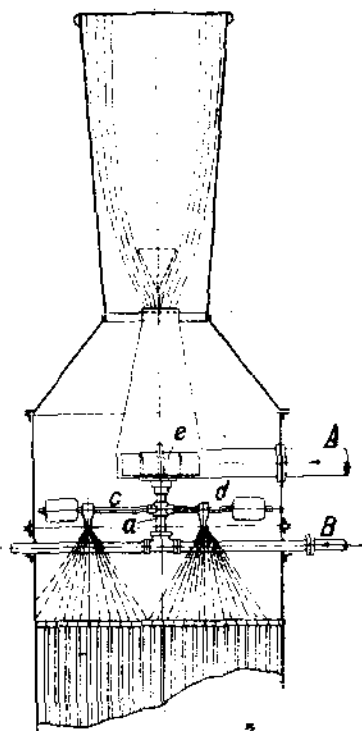
На фиг. 29 в изображена усовершенствованная конструкция разбрызгивающего устройства; вода поступает по трубе *В* и из нее через сальник *а* во вращающееся колесо *с*, на концах труб которого установлены разбрызгивающие сопла *д*. Колесо приводится во вращение струей отходящих



Фиг. 29 б.



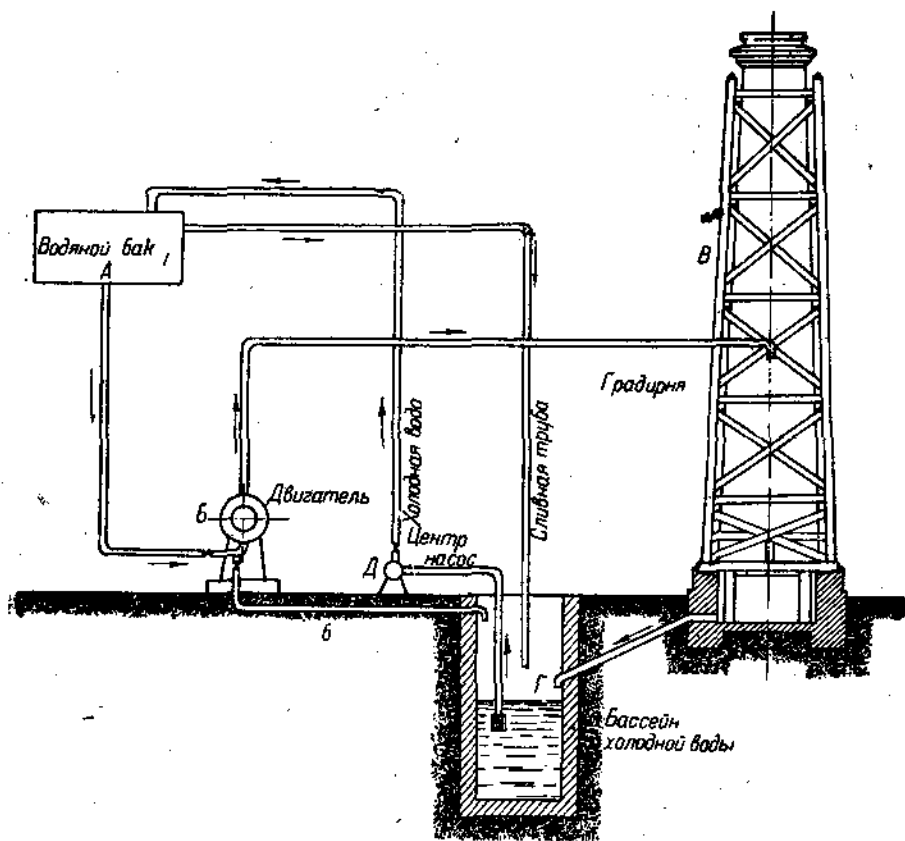
Фиг. 29 а.



Фиг. 29 в.

газов, действующих на лопатки *е*, укрепленные на оси колеса; благодаря такому устройству вода распределяется равномерно по всему сечению градирни.

Необходимо отметить две системы циркуляции воды в охлаждающем устройстве станции: с одним насосом и с двумя насосами. На фиг. 30 представлена система циркуляции с одним насосом; при этой системе водяной бак холодной воды устанавливается в верхнем помещении станции на высоте, несколько большей высоты места входа воды в градирню. Холод-



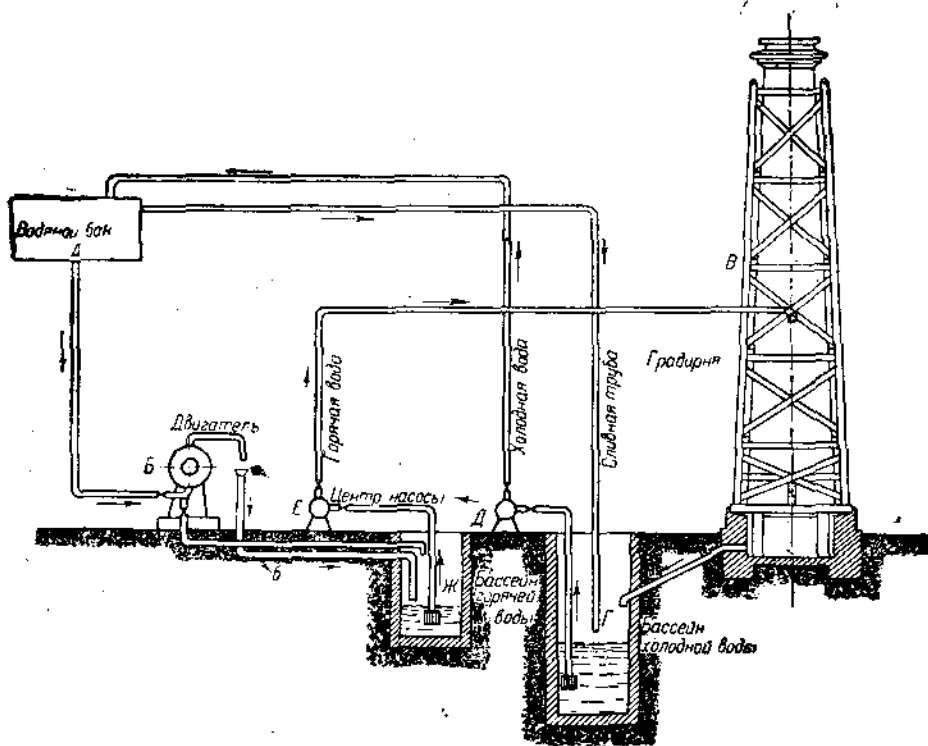
Фиг. 30.

ная вода из бака *А* под напором поступает в охлаждающие полости двигателя *Б* в нижнюю часть его, нагретой выходит в верхней части двигателя и под тем же напором, зависящим от высоты расположения бака *А*, поступает по трубе в верхнюю часть градирни *В*; из бассейна под градирней охлажденная вода поступает самотеком в колодец *Г*, из которого центробежным насосом *Д* подается снова в бак холодной воды *А*.

В этот же колодец *Г* проведена сливная труба на случай переполнения бака *А*; иногда обходятся без колодца *Г*, а охлажденная вода из бассейна под градирней прямо засасывается центробежным насосом и подается в бак *А*; *в*—труба для выпуска воды из всей системы. Эта система обладает

двумя недостатками: во-первых, охлаждающая рубашка двигателя всегда находится под давлением и, во-вторых, не представляется возможным наблюдать за выходом воды из охлаждающих полостей двигателя, по которому можно судить о достаточности воды и о правильной ее циркуляции. Кроме того, нельзя проверять температуру воды на ощупь, что время от времени должен делать дежурный машинист даже в том случае, когда имеются термометры, указывающие температуру исходящей охлаждающей воды при выходе ее из двигателя.

В виду этого большею частью применяют другую систему циркуляции воды с двумя насосами и двумя бассейнами для холодной и горячей воды, с открытым выходом горячей воды из двигателя в воронку.



Фиг. 31.

Такая система изображена на фиг. 31. Холодная вода из бака А самотеком поступает в охлаждающие полости двигателя и, выходя из них, сливается в воронку а, из которой по трубе тоже самотеком сливается в бак горячей воды Ж; из последнего центробежным насосом Е вода подается в верхнюю часть градирни к ее распределительным желобам, охлажденная же вода из бассейна под градирней стекает в бак холодной воды Г, из которого вторым насосом Д нагнетается в бак холодной воды А. Как видно в этой схеме, система, по которой вода проходит путь от бака холодной воды, имеет разрыв струи после прохождения ее через охлаждающие полости двигателя у сливной воронки, что дает возможность наблюдать в этом месте как за температурой воды, так и за характером и равномерностью

ее струи. Эта схема обладает еще тем преимуществом, что не требует установки бака для холодной воды на значительной высоте, выше линии входа воды в градирню. В небольших установках последняя схема циркуляции, т.е. с выходом горячей воды из двигателя в воронку, иногда осуществляется с одним насосом тем, что небольшая градирня вместе с железным баком под ней устанавливается на некотором возвышении, на несколько метров выше двигателя; тогда не требуется насоса для подачи холодной воды из колодца в бак, так как баком холодной воды служит бассейн под градирней, из которого вода самотеком поступает к двигателю, и требуется лишь один насос для подачи горячей воды из колодца на градирню.

Как в первой, так и во второй схеме колодец для холодной воды не является обязательным, так как всасывание охлажденной воды может быть осуществлено непосредственно из бассейна под градирней, а спускная труба на случай переполнения напорного бака холодной воды, находящегося в машинном помещении, может быть выведена в бак горячей воды в какой-либо сток или в общую канализацию.

5) Комбинированное охлаждение.¹ В тех случаях, когда приходится пользоваться для охлаждения двигателя жесткой водой, содержащей химические соли, дающие накипь, целесообразно устанавливать специальные охладители для охлаждения воды, которая в свою очередь должна охлаждать водяные рубашки. Такие охладители могут быть устроены в виде трубчатого охладителя, в виде поверхностного конденсатора паровых турбин или же в виде петлеобразного змеевика.

Система охлаждения двигателя с таким охлаждением состоит из двух круговых оборотов воды; один — смягченной воды, охлаждающей цилиндры и рубашки, включающий в себя водяную рубашку двигателя, центробежный насос, пространство, окружающее трубы холодильника и напорный бак, и второй — свежей воды, включающий в себя градирню, центробежный насос и трубки охладителя.

Потеря давления в первой системе колеблется от 0,35 до 0,56 ат и во второй от 0,14 до 0,21 ат в зависимости от конструкции охладителя.

В табл. 12 дано количество воды, требующееся на 1 л. с. при применении такого трубчатого охладителя с медными трубками и чугунным барабаном. Согласно этой таблице в двигателях с неохлаждаемыми поршнями температура исходящей охлаждающей воды 60° Ц, а входящей 38° Ц, что соответствует около 1010 кал/л. с./час, поглощаемых в охлаждающей системе.

Для двухтактного двигателя с масляным охлаждением поршней обычная температура исходящей охлаждающей воды 60° Ц и входящей 38° Ц. Табл. 13 составлена на основании этих данных. Поглощение тепла определяется в 763 кал/л. с./ч. для водяной рубашки и в 190 кал/л. с./час охлаждаемого маслом поршня, что составляет 953 кал на 1 л. с./час.

Установка такого охладителя очень проста, его обычно помещают около двигателя, предпочтительно под подъемным краном, чтобы было удобно поднимать трубы в вертикальном направлении для чистки, и укрепляют его в стене или полу.

¹ См. статью L. A. Pease, Practical Layouts for Diesel Cooling Systems «Power», № 7, 1930.

Таблиць 12.

Количество тепла, отнимаемого от двигателя с неохлаждаемыми поршнями.

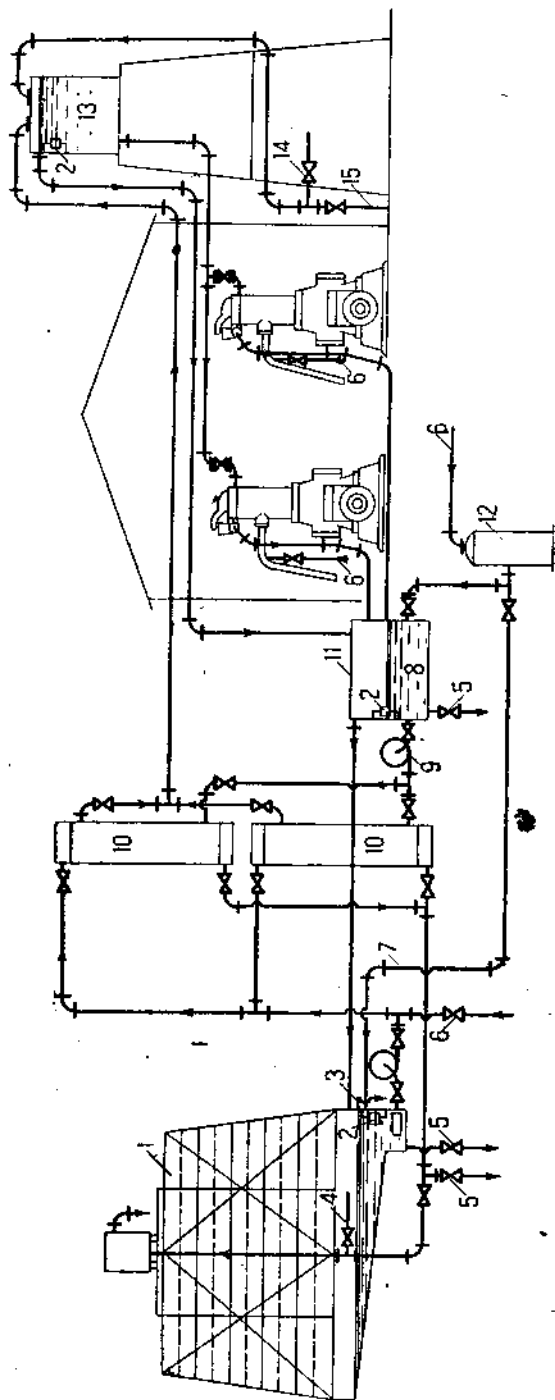
Мощность двигателя в л. с.	Количество тепла, отнимаемого от двигателя кал/час	Количество прохо- дящей через охладитель охлаждаемой воды л/мин	Количество прохо- дящей через охладитель охлаждающей (свежей) воды л/мин
50	50 400	114	114
65	65 800	148	148
100	100 800	228	228
130	131 800	296	296
200	201 000	454	454
300	303 000	682	682
400	404 000	908	908
540	545 000	1 230	1 230
720	730 000	1 640	1 640
840	850 000	1 920	1 920
1 000	1 008 000	2 270	2 270
1 200	1 210 000	2 730	2 730
1 400	1 450 000	3 270	3 270
1 600	1 620 000	3 640	3 640
1 800	1 820 000	4 100	4 100
2 000	2 016 000	4 540	4 540

Таблица 13.

Количество тепла, отнимаемого от двигателя с охлаждаемыми поршнями.

Мощность двигателя л. с.	Общее количество тепла, отнимаемого от двигателя кал/час	Количество тепла, отнимаемого охлаждающим маслом кал/час	Количество тепла, отнимаемого охлаждающей водой кал/час	Количество проходящей через охладитель воды л/мин
560	533 000	108 000	427 000	1 100
700	668 000	133 000	535 000	1 370
840	804 000	159 000	645 000	1 640
1 000	955 000	190 000	765 000	1 960
1 200	1 180 000	227 000	9 3 000	2 340
1 400	1 330 000	265 000	1 065 000	2 740
1 600	1 530 000	303 000	1 227 000	3 130
1 800	1 720 000	340 000	1 380 000	3 380
2 000	1 910 000	380 000	1 530 000	3 900

На фиг. 32 изображена схема охлаждающей системы с трубчатыми охладителями и градирней. В этой системе мягкая вода из напорного бака поступает в цилиндрические рубашки, откуда сливается в бак горячей воды, из него засасывается центробежным насосом и нагнетается в трубчатый охладитель, в котором она проходит в пространстве барабана снаружи труб, и под действием насоса поступает обратно в напорный бак. Для охлаждения этой воды в охладителе через трубы последнего центро-



Фиг. 32.

1 — градирня; 2 — автоматический поплавок низшего уровня воды; 3 — сливная труба; 4 — напорная труба; 5 — направление воды в зимнее время; 6 — сливная труба; 7 — соединительный трубопровод; 8 — мягкая вода; 9 — центробежный насос; 10 — охлаждающая вода; 11 — бак горячей воды; 12 — водоуказатель; 13 — напорный бак; 14 — сливной бак и отвод; 15 — дополнительный поплавок холодной воды.

бежным насосом проталкивается вода, засасываемая последним из резервуара под градирией; вода нагнетается в охладитель, в котором проходит по трубкам, и подается под напором того же насоса на градирию, где в свою очередь охлаждается.

Очень часто для охлаждения воды, охлаждающей цилиндровую рубашку, применяются змеевиковые охладители, подобные аммиачным охладителям в рефрижераторных установках, различных конструкций и размеров труб; по большей части применяют змеевики из двух дюймовых труб, причем на каждую лошадиную силу берется около 1600 мм трубы.

На фиг. 33 изображена схема такой охлаждающей системы с змеевиковыми охладителями для воды и для смазочного масла. Как видно из схемы, мягкая вода из напорного бака под напором поступает в охлаждающие рубашки, а отсюда самотеком в бак горячей воды; из последнего вода засасывается центробежным насосом и прогоняется через змеевиковый охладитель обратно в напорный бак. Змеевики помещены в нижней части градирии; охлажденная вода из резервуара под градирией подается вторым центробежным насосом на градирию, охлаждается в ней, попадает в сборный резервуар, а из него в раздробляющий коллектор, из которого стекает на змеевик. На схеме показаны два змеевика—для воды и для смазочного масла.

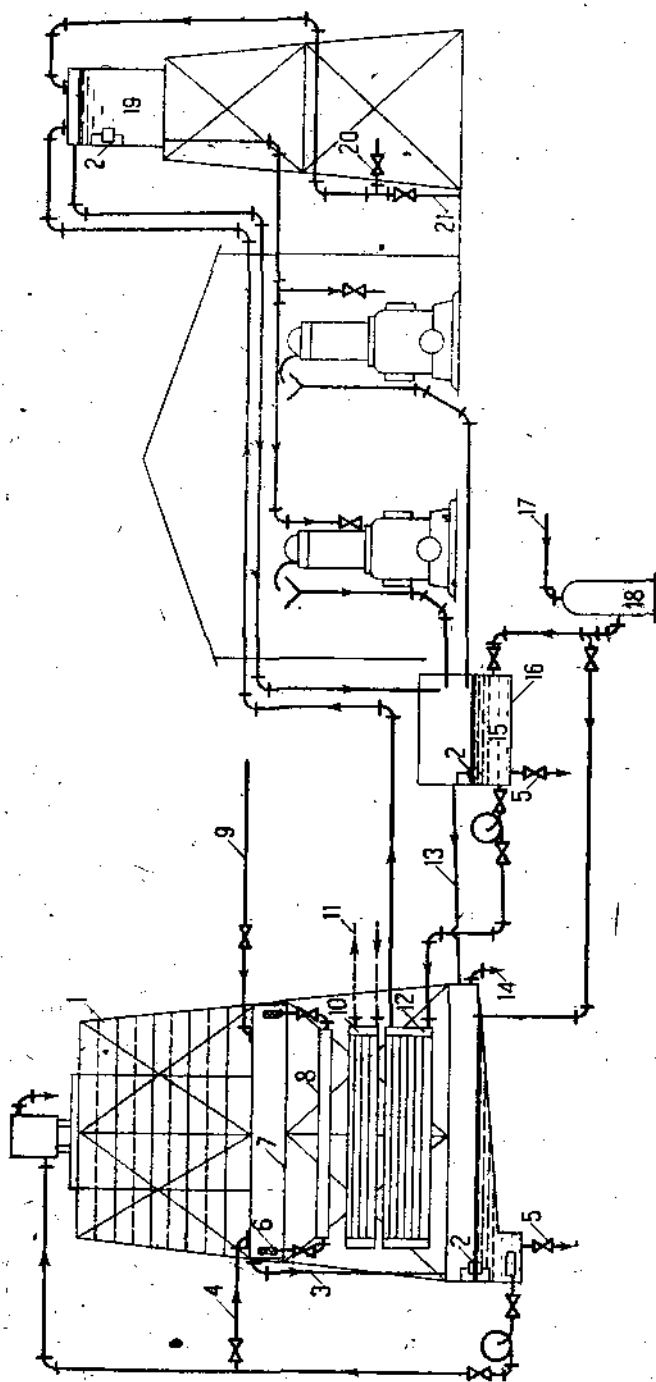
На фиг. 34 изображена схема охлаждения, в которой вода охладителей охлаждается в градирие, расположенной на крыше.

Так как непрерывность подачи воды является весьма важным фактором для надлежащей работы каждой охладительной системы, то выбор насоса для охлаждающей воды должен быть произведен с особой тщательностью. Если насос должен всасывать воду на некоторую высоту, то лучше применять поршневой насос.

При применении центробежного насоса уровень воды на стороне всасывания должен быть выше всасывающего патрубка насоса, чтобы насос не остался без воды, так как тогда и водяная рубашка останется без воды, что недопустимо.

Насосы обычно приводятся в движение электрическими моторами, хотя на небольших установках — часто непосредственно от вала машины. Мотор насоса должен быть соединен с распределительным щитом станции, чтобы только прекращение общей подачи тока могло прервать работу электронасоса. Не следует устраивать циркуляцию воды в охлаждающей системе при помощи термосифона, так как это требует большого количества воды и не обеспечивает непрерывности ее циркуляции. Можно пользоваться любым стандартным поршневым насосом при условии, что он установлен надлежащим образом. Для обеспечения непрерывности подачи воды желательно иметь второй, резервный насос.

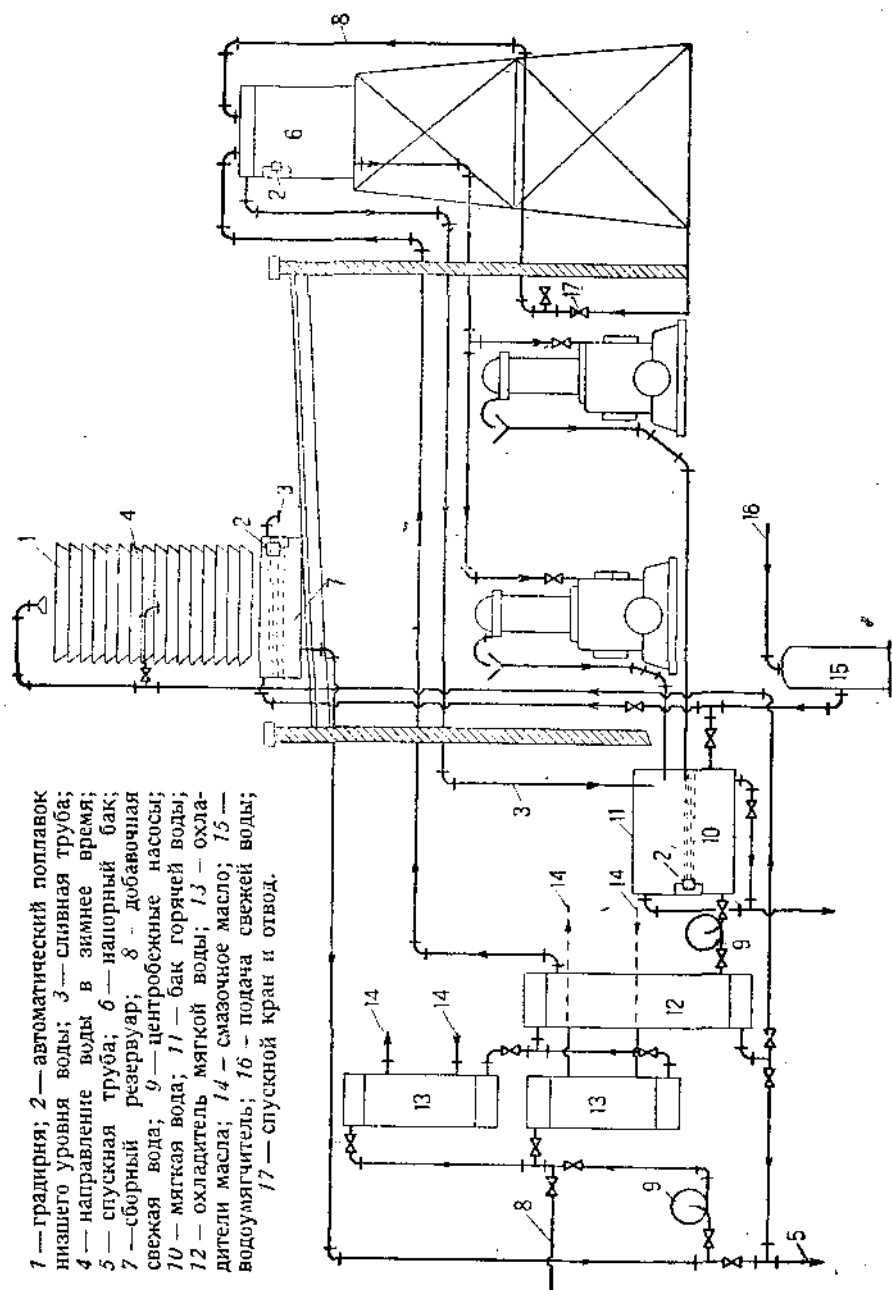
в) Охлаждение испарением заключается в том, что воду в рубашке цилиндра заставляют не только нагреваться, но и испаряться, вследствие чего от стенок цилиндра отнимается не только теплота жидкости, но и в несколько раз большая ее теплота испарения; рубашка цилиндра в этом случае изготавливается с увеличенным сверху пространством, в котором и происходит как испарение, для чего имеется небольшая труба для отвода пара, так и добавление испарившейся воды. Этот способ охлаждения отличается сравнительно небольшим расходом воды, отсутствием насосов и дешевизной, однако вследствие сильного нагревания воды



Фиг. 33.

1 — градирня; 2 — автоматический подкачек низшего уровня воды; 3 — сливная труба; 4 — направление воды в зимнее время; 5 — спускная труба; 6 — сетки; 7 — сборный резервуар; 8 — раздробляющий коллектор; 9 — подача добавочной свежей воды; 10 — змеевики для смазочного масла; 11 — смазочное масло; 12 — змеевики для мягкой воды; 13 — сток мягкой воды; 14 — спускная труба в водосток; 15 — мягкая вода; 16 — бак горячей воды; 17 — подача свежей воды; 18 — водоумягчитель; 19 — напорный бак; 20 — спускной кран и отвод; 21 — дополнительная подача свежей воды.

1 — градирня; 2 — автоматический поплавковый
нижнего уровня воды; 3 — сливная труба;
4 — направление воды в зимнее время;
5 — сливная труба; 6 — напорный бак;
7 — сливная труба; 8 — добавочная
свежая вода; 9 — центробежные насосы;
10 — мягкая вода; 11 — бак горячей воды;
12 — охладитель мягкой воды; 13 — охла-
дители масла; 14 — смазочное масло; 15 — водо-
удумягчитель; 16 — подача свежей воды;
17 — сливной кран и отвод.



Фиг. 34.

необходимо применять очень мягкую воду, так как иначе, даже при небольшом содержании в воде химических солей, на рубашке цилиндра образуется накипь, которая нарушает теплопередачу от стенок рубашки к воде, а следовательно, уменьшает охлаждение, а кроме того, ведет к образованию трещин в рубашке. В виду этого этот способ охлаждения нашел применение лишь в небольших двигателях и то не в очень широком масштабе.

г) Тепловой расчет градирни. Расчет градирни сводится к определению ее сечения и высоты вытяжной трубы. Для расчета градирни приходится пользоваться некоторыми практическими коэффициентами, а потому таковой может рассчитывать лишь на некоторую степень точности.

Расчет градирни ведется обычно следующим образом: определяют количество воздуха, которое должно пройти через градирню в минуту и создать требующееся охлаждение должного количества воды, затем, пользуясь некоторыми практическими данными, определяют площадь нижнего сечения градирни и на основании этих данных определяют высоту вытяжной трубы; или же после определения необходимого количества воздуха, задавшись высотой трубы, определяют скорость прохождения воздуха в вытяжной трубе и по объему воздуха и его скорости определяют сечение градирни.

Если N_e — действительная мощность двигателя, а c_1 — количество охлаждающей воды на 1 э. л. с. час. в л., то общий расход охлаждающей воды, т. е. производительность градирни в час будет равна:

$$G = N_e \cdot c_1. \quad (2)$$

Обозначим через v_1 и v_2 — удельные объемы сухого воздуха при входе его в градирню и при выходе из нее, через γ_1 и γ_2 — удельные веса пара при температуре входящего в градирню воздуха t_{x1} и температуре выходящего воздуха t_{x2} , через φ_1 и φ_2 — относительные влажности входящего и выходящего воздуха, через L — количество в кг, проходящего через градирню в минуту.

Так как относительная влажность φ есть отношение веса действительно содержащегося пара в 1 м³ воздуха к весу пара в 1 м³ насыщенного парами воздуха, то при вышепринятых обозначениях в 1 кг воздуха, входящего в градирню, содержание пара будет $d_1 = \varphi_1 \gamma_1 v_1$, а в 1 кг выходящего из градирни воздуха будет пара $d_2 = \varphi_2 \gamma_2 v_2$. Следовательно, 1 кг воздуха, проходя через градирню, испарит количество воды равное $d_2 - d_1$, а L килограммов воздуха испарит воды

$$L(d_2 - d_1) = L(\varphi_2 \gamma_2 v_2 - \varphi_1 \gamma_1 v_1) = G_1 - G_2, \quad (3)$$

которое и будет представлять собою то количество воды, которое испаряется в градирне за 1 мин. и которое представляет действительный расход воды на охлаждение двигателя; в последнем выражении G_1 есть количество циркулирующей охлаждающей воды в минуту, входящей в градирню, а G_2 — количество охлажденной воды, собирающейся в бассейне под градирней, которое будет равняться

$$G_2 = G_1 - L(\varphi_2 \gamma_2 v_2 - \varphi_1 \gamma_1 v_1). \quad (4)$$

Если через i_1 и i_2 обозначить теплосодержание сухого насыщенного пара при температурах t_{L1} и t_{L2} , то на основании вышепринятых обозначений мы можем написать, что

$G_1 t_1$ — теплосодержание поступающей в градирню для охлаждения воды при температуре $t_1^\circ \text{C}$.

$c_p t_{L1} L$ — теплосодержание воздуха, входящего в градирню, при температуре $t_{L1}^\circ \text{C}$,

$G_1 \gamma_1 v_1 i_1 L$ — теплосодержание пара, находящегося во входящем в градирню воздухе при температуре t_{L1} .

Сумма этих трех количеств тепла представляет все тепло, которое подводится к градирне. Из этого количества тепла часть тепла остается в охлажденной воде, собирающейся в бассейне под градирней, а часть уносится выходящими из градирни воздухом и парами воды; последние количества тепла выразятся следующим образом:

$G_2 t_2$ — теплосодержание охлажденной воды в бассейне под градирней при температуре $t_2^\circ \text{C}$.

$c_p t_{L2} L$ — теплосодержание воздуха, выходящего из градирни при температуре t_{L2} ,

$\varphi_2 \gamma_2 v_2 i_2 L$ — теплосодержание пара, находящегося в выходящем из градирни воздухе (смеси пара с воздухом) при температуре t_{L2} .

Очевидно, что тепловой баланс градирни должен заключаться в равенстве суммы первых трех количеств тепла — сумме вторых трех количеств, т. е. уравнение теплового баланса может быть выражено следующим образом:

$$G_1 t_1 + c_p t_{L1} L + \varphi_1 \gamma_1 v_1 i_1 L = G_2 t_2 + c_p t_{L2} L + \varphi_2 \gamma_2 v_2 i_2 L. \quad (5)$$

Если в этом уравнении подставить значение G_2 из уравнения (4), то получим:

$$G_1 t_1 + c_p t_{L1} L + \varphi_1 \gamma_1 v_1 i_1 L = G_1 t_2 - L t_2 (\varphi_2 \gamma_2 v_2 - \varphi_1 \gamma_1 v_1) + c_p t_{L2} L + \varphi_2 \gamma_2 v_2 i_2 L. \quad (6)$$

Из этого уравнения можно определить количество воздуха, которое должно проходить через градирню в минуту, а именно:

$$L = \frac{G_1 (t_1 - t_2)}{c_p (t_{L2} - t_{L1}) + \varphi_2 \gamma_2 v_2 (i_2 - i_1) - \varphi_1 \gamma_1 v_1 (i_1 - i_2)} \quad (7)$$

В последнем уравнении известными являются следующие величины G_1 , t_1 , t_2 , t_{L1} , t_{L2} , φ_1 , φ_2 и $c_p = 0,24$; удельные веса и теплосодержание γ_1 , γ_2 , i_1 и i_2 находятся по таблице для водяных паров, а удельные объемы v_1 и v_2 — из уравнений состояния:

$$P_{L1} \cdot v_1 = R_L T_{L1} \text{ и } P_{L2} v_2 = R_L T_{L2},$$

откуда

$$v_1 = \frac{R_L T_{L1}}{P_{L1}} \quad (8)$$

и

$$v_2 = \frac{R_L T_{L2}}{P_{L2}} \quad (9)$$

где R_L — постоянная для сухого воздуха, равная 29, 27, T_{L_1} и T_{L_2} — соответственно абсолютные температуры входящего в градирню и выходящего из нее воздуха, равные: $T_{L_1} = 273 + t_{L_1}$ и $T_{L_2} = 273 + t_{L_2}$, и P_{L_1} и P_{L_2} — давления воздуха в кг/м^2 при входе и при выходе из градирни. Так как смесь воздуха и пара может рассматриваться как смесь двух газов и к ней применим закон Дальтона, то если P_A — есть атмосферное давление по барометру, то $P_A = P_{L_1} + P_{D_1}$, где P_{L_1} есть парциальное давление воздуха, а P_{D_1} — парциальное давление пара в кг/м^2 ; тогда

$$P_{L_1} = P_A - P_{D_1}$$

и

$$P_{L_2} = P_A - P_{D_2},$$

причем если через p_{D_1} и p_{D_2} обозначить давление пара в кг/см^2 , то

$$P_{D_1} = 10\,000 p_{D_1} \text{ кг/м}^2$$

и

$$P_{D_2} = 10\,000 p_{D_2} \text{ кг/м}^2,$$

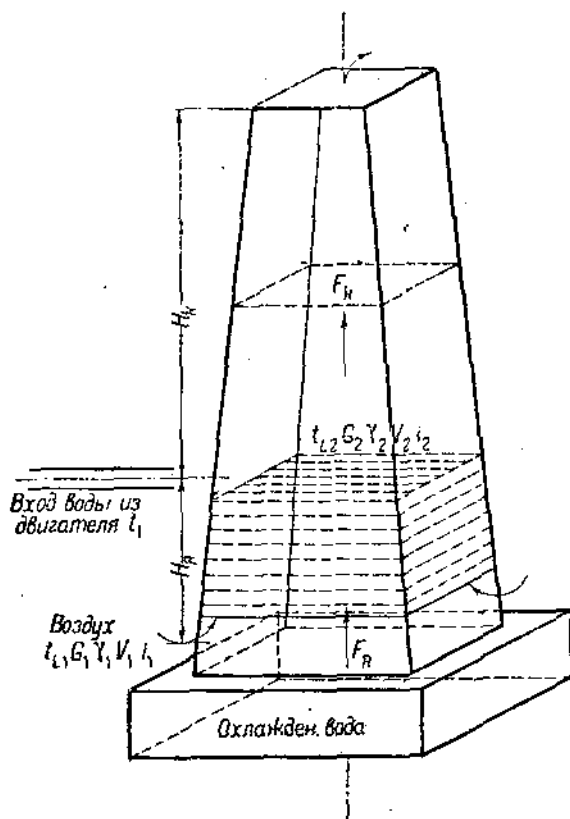
а

$$P_A = 10\,000 p_a \text{ кг/м}^2.$$

Парциальные давления пара p_{D_1} и p_{D_2} определяются по формулам:

$$p_{D_1} = \varphi_1 p_{s_1} \text{ и } p_{D_2} = \varphi_2 p_{s_2},$$

где p_{s_1} и p_{s_2} есть давление насыщенного пара при температуре t_{L_1} и t_{L_2} определяемое по таблице для водяного насыщенного пара.



Фиг. 35.

Относительная влажность атмосферного воздуха φ_1 и барометрическое давление берутся по метеорологическим данным для той местности, для которой рассчитывается градирня. При отсутствии метеорологических данных можно пользоваться следующими средними данными: для весны $\varphi_1 = 0,75$, для лета — 0,67, для осени — 0,77 и для зимы — 0,83; среднюю влажность за весь год можно принимать равной 0,75. При выходе из градирни воздух полностью насыщен парами, а потому можно принимать $\varphi_2 = 1$. Следовательно, все величины выражения (7) определяются. Для подвода к градирне требующегося для охлаждения воды количества воздуха L необходима определенная тяга, которая создается устраиваемой над орошающим устройством вытяжной трубой или башней. На фиг. 35 H

есть полная высота градири, H_R — высота подачи воды и H_K — высота вытяжной трубы.

Если обозначим через γ_A — удельный вес наружного воздуха, γ_K — удельный вес воздуха в орошающем пространстве и γ_K — удельный вес воздуха в верхней части вытяжной трубы, то сила тяги вытяжной трубы Z будет равна

$$Z = H \frac{\gamma_A}{\gamma_w} - H_R \frac{\gamma_K}{\gamma_w} - H_K \frac{\gamma_K}{\gamma_w} \text{ метров вод. ст.,}$$

где γ_w — есть удельный вес смеси.

Последнее выражение можно представить так:

$$Z = \frac{1}{\gamma_w} (H\gamma_A - H_R\gamma_K - H_K\gamma_K) \text{ метров вод. ст.,} \quad (10)$$

причем некоторая часть силы тяги ϵZ теряется на преодоление трения о стенки трубы, и, следовательно, полезная сила тяги будет равна $(1-\epsilon)Z$ вод. ст. или $(1-\epsilon)Z \frac{\gamma_w}{\gamma_K}$ столба воздуха удельного веса его в верхней части градири.

Тогда скорость воздуха в верхней части градири будет равна.

$$c_K = \sqrt{2g(1-\epsilon)Z \frac{\gamma_w}{\gamma_K}},$$

или, подставив значение Z из формулы (10), получим

$$c_K = \sqrt{2g(1-\epsilon) \left(H \frac{\gamma_A}{\gamma_K} - H_R \frac{\gamma_K}{\gamma_K} - H_K \right)} \quad (11)$$

Зная скорость, с которой воздух проходит через сечение градири F_K , определим количество воздуха L , проходящего через это сечение в минуту, оно будет:

$$L = 60 F_K c_K \gamma_L \quad (12)$$

где $\gamma_L = \gamma_K - \varphi_2 \gamma_2$, а γ_2 — удельный вес пара при температуре t_2 .

Подставляя в формулу (12) выражение для c_K из (11) и последнее значение для γ_L , получим:

$$L = 60 (\gamma_K - \varphi_2 \gamma_2) F_K \sqrt{2g(1-\epsilon) \left(H \frac{\gamma_A}{\gamma_K} - H_R \frac{\gamma_K}{\gamma_K} - H_K \right)} \text{ кг/мин.} \quad (13)$$

Таким образом мы имеем два выражения для количества воздуха, которое должно проходить через градирию в минуту (7) и (13); приравняв одно выражение другому, получим:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{G_1(t_1 - t_2)}{c_F(t_{L_2} - t_{L_1}) + \varphi_2 \gamma_2 v_2(t_2 - t_2) - \varphi_1 \gamma_1 v_1(t_1 - t_2)} = \\ & = 60 (\gamma_K - \varphi_2 \gamma_2) F_K \sqrt{2g(1-\epsilon) \left(H \frac{\gamma_A}{\gamma_K} - H_R \frac{\gamma_K}{\gamma_K} - H_K \right)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Пользуясь полученными выражениями, расчет градири ведут следующим образом: Определив значение для L из формулы (7), а F_K на основании опытных соотношений, находят общую высоту градири H из урав-

нения (14), подставив в него значения для L и F_K или задавшись высотой градирии H на основании практических данных, которые берутся из выполненных хорошо действующих градирен, из уравнения (14) определяют F_K ; наконец, задавшись высотой градирии H , можно по формуле (11) определить скорость воздуха, а затем по формуле (12) площадь сечения F_A .

Мы произведем расчет градирии, определяя высоту H из уравнения (14) по F_K , определенному по опытным соотношениям, а затем покажем, как определить площадь сечения F_K по формуле (12), если задаться высотой и определить скорость воздуха из формулы (11).

В уравнении (14) мы имеем следующие величины, которые еще необходимо определить: F_K , γ_A , γ_R , $\gamma_{R'}$, ε , H_R и H_K . F_K определяется по следующим двум эмпирическим формулам для F_K , причем в том и в другом случае применяется соотношение $F_K = (0,45-0,6)F_R$.

Площадь сечения F_R может быть определена по формуле

$$F_R = \frac{G}{q}, \quad (15)$$

где G есть количество охлаждаемой воды, поступающей в градирию, в $\text{м}^3/\text{час}$, а q — так называемая **высота или плотность орошения**, которая по опытным данным Гефера и Гутермута¹ равна от 3 до 6 м^3 .

Высотой или плотностью орошения называется то количество воды в м^3 , которое протекает в один час через 1 м^2 площади градирии.

Вейсс² для определения площади основания градирии дает следующую формулу:

$$F_R = a \cdot \frac{W}{1000},$$

где W — расход воды в $\text{м}^3/\text{мин}$, при наших обозначениях равный $\frac{G}{60}$, а a — эмпирический коэффициент, равный от 15 до 18. Принимая для a среднее значение 16,5 и наше выражение для расхода воды в минуту $\frac{G}{60}$, получим

$$F_R = \frac{G}{3636} \text{ м}^2, \quad (16)$$

где G — расход воды в час.

Теперь определим удельные веса γ_A , γ_R и $\gamma_{R'}$: γ_A есть удельный вес атмосферного воздуха, входящего в градирию, при температуре t_{L_1} и влажности φ_1 , который равен сумме весов пара, заключенного в 1 м^3 — $\gamma_A' = \varphi_1 \gamma_1$, где γ_1 есть удельный вес сухого насыщенного пара при температуре t_{L_1} и сухого воздуха γ_{L_1} при температуре t_{L_1} и данном барометрическом давлении, причем $\gamma_{L_1} = \frac{1}{v_1}$, т. е.

$$\gamma_A = \gamma_A' + \gamma_{L_1} = \varphi_1 \gamma_1 + \frac{1}{v_1} \text{ кг/м}^3,$$

¹ Hoefel, Die Kondensation, Berlin 1925; Gutermuth, Die Dampfmaschine, Berlin 1928.

² Вейсс, Устройство конденсационных установок, Москва, 1911 (перевод с немецкого).

где γ_1 определяется по таблицам, а v_1 — по формуле (8). Средний удельный вес воздуха в орошаемом пространстве определяется для насыщенного парами воздуха при средних условиях в орошаемом пространстве, т. е. при давлении P_A и температуре

$$t_L = \frac{t_{L_1} + t_{L_2}}{2}.$$

Тогда $\gamma_R = \gamma_S + \gamma_L$ где γ_S — вес 1 м³ насыщенного пара при температуре t_L в кг/м³, а $\gamma_L = \frac{1}{v_R}$ — вес сухого воздуха при температуре t_L ; γ_S берется по таблицам для сухого насыщенного пара с переводом в кг/м³, а v_R определяется из уравнения состояния в виде

$$v_R = \frac{R_L(273 + t_L)}{P_L},$$

где P_L и t_L известны, а $P_L = P_A - P_D$, причем P_D определяется по парциальному давлению пара p_S при температуре t_L путем перевода его из мм рт. ст. по данному барометрическому давлению в кг/см², а затем в кг/м².

Удельный вес воздуха в верхней части градирни γ_K , вычисляемый по давлению P_A и температур t_{L_2} , будет равен:

$$\gamma_K = \gamma_K' + \gamma_{L_2},$$

где $\gamma_K' = \varphi_2 \gamma_2$, причем φ_2 есть относительная влажность, в данном случае равная 1, и γ_2 — удельный вес пара при температуре t_{L_2} , а γ_{L_2} есть вес сухого воздуха при температуре t_{L_2} и данном барометрическом давлении, причем $\gamma_{L_2} = \frac{1}{v_2}$, где v_2 определяется по формуле (9), а γ_2 — по таблице для водяных паров. Наконец, коэффициент потери от трения принимается равным $\varepsilon = 0,95 - 0,90$.

Таким образом все величины в выражении (14) определены и общая высота градирни H будет равна:

$$H = \frac{L^2}{60^2 (\gamma_K - \varphi_2 \gamma_2) F_K^2 \cdot 2g(1 - \varepsilon) \left(\frac{t_A}{\gamma_K} - \frac{H_R \gamma_R}{H \gamma_K} - \frac{H_K}{H} \right)}, \quad (17)$$

где левая часть выражения (14) для упрощения формулы обозначена через L .

Для H_R , H_K и H обычно принимаются следующие соотношения:

$$H_R = 0,25 - 0,35 H \text{ и } H_K = 0,65 - 0,75 H.$$

Пример расчета градирни.

З а д а н и е. Требуется рассчитать сечение и высоту закрытой градирни с естественной циркуляцией воздуха для дизельной станции мощностью 1200 л. с., а также определить количество испаряющейся воды при следующих данных: гарантированный заводом, построившим дизели, расход охлаждающей воды равен 16,5 л/л. с. ч. при температуре входящей воды не выше 10° Ц и выходящей 70° Ц; в летнее время дизели работают при температуре исходящей воды в 60° Ц, которая должна быть охлаждена

в градирне до 25°Ц по метеорологическим данным для данной местности средняя температура наружного воздуха в летнее время 20°Ц относительная влажность 0,67 и барометрическое давление 743 мм рт. ст.

Прежде всего определим количество охлаждаемой воды в час; так как гарантированное заводом количество воды при температуре входящей воды $t_2' = 10^{\circ}$ и выходящей из охлаждающих полостей двигателей $t_1' = 70^{\circ}$ равно $c = 16,5 \text{ л}$, то при действительных температурах в летнее время, при которых двигатели будут работать при $t_1 = 60^{\circ}$ и $t_2 = 25^{\circ}$, расход охлаждающей воды определится по формуле (1):

$$c_1 = c \frac{t_1' - t_2'}{t_1 - t_2} = 16,5 \frac{60}{35} = 28,3 \text{ л/л. с./час.}$$

Следовательно, общее количество охлаждающей воды в час будет

$$G = N_s \cdot c_1 = 1200 \cdot 28,3 = 33\,960 \text{ кг} \approx 35 \text{ м}^3/\text{час},$$

а в минуту

$$G_1 = \frac{35000}{60} = 583 \text{ кг/мин.}$$

Кроме того, имеем: $t_{L_1} = 20^{\circ}$, $\gamma_1 = 0,67$, $t_{L_2} = 40^{\circ}$, $\varphi_2 = 1$ и $c_p = 0,24$.

В формуле (7) для определения количества воздуха, которое должно проходить через градирню L , числитель представляет собою выражение полного количества тепла, которое надо отнять от воды, поступающей в градирню в течение 1 мин., которое будет равно:

$$G_1(t_1 - t_2) = 583,3 (60 - 25) = 20415 \text{ кал/мин.}$$

Первый член знаменателя уравнения для L (7) — $c_p(t_{L_2} - t_{L_1})$ — представляет собою количество тепла, которое отнимается от воды 1 кг проходящего через градирню вследствие теплопередачи; оно будет равно:

$$c_p(t_{L_2} - t_{L_1}) = 0,24 (40 - 20) = 480 \text{ кал/кг.}$$

Два остальных члена знаменателя уравнения (7), представляющие количества тепла, отнимаемые от воды вследствие испарения, определяются следующим образом. В выражении $\varphi_1 \gamma_1 v_1 (i_1 - i_2) - \varphi_1 = 0,67$, $t_2 = 25^{\circ}$; γ_1 — удельный вес сухого насыщенного пара при температуре $t_{L_1} = 20^{\circ}$ и его теплосодержание i_1 находятся по таблице для насыщенных паров и будут равны: $\gamma_1 = 17,3 \text{ г/м}^3 = 0,0173 \text{ кг/м}^3$ и $i_1 = 604,3 \text{ кал/кг}$; удельный объем v_1 определится по формуле (8):

$$v_1 = \frac{R_L T_{L_1}}{P_{L_1}},$$

где $R_L = 29,27$, $T_{L_1} = 273 + t_{L_1} = 273 + 20 = 293^{\circ}$, а давление воздуха при входе в градирню P_{L_1} определится из соотношения:

$$P_{L_1} = P_A - P_{B_1},$$

где

$$P_{B_1} = 10000 p_{B_1} \text{ и } p_{B_1} = \varphi_1 p_{s_1}.$$

Давление насыщенного пара при температуре t_{L_1} определяется по таблице для насыщенных паров и для $t_{L_1} = 20^\circ$ равно:

$$p_{s_1} = 17,5 \text{ мм рт. ст.} = \frac{17,5}{738,16} \text{ кг/см}^2 = 0,0237 \text{ кг/см}^2 \text{ абс.}$$

Тогда

$$p_{D_1} = \varphi_1 p_{s_1} = 0,67 \cdot 0,0237 = 0,0158 \text{ кг/см}^2.$$

$$P_{D_1} = 10\,000 p_{D_1} = 10\,000 \cdot 0,0158 = 158 \text{ кг/м}^2.$$

Далее

$$P_A = 10\,000 p_a,$$

где

$$p_a = \frac{743}{738,16} = 1,0065 \text{ кгс/м}^2,$$

следовательно,

$$P_A = 10\,000 \cdot 1,0065 = 10\,065 \text{ кг/м}^2$$

и

$$P_{L_1} = P_A - P_{D_1} = 10\,065 - 158 = 9\,907 \text{ кг/м}^2.$$

Тогда

$$v_1 = \frac{29,27 \cdot 293}{9907} = 0,865 \text{ м}^3$$

и весь член знаменателя

$$\varphi_1 \gamma_1 v_1 (t_1 - t_2) = 0,67 \cdot 0,0173 \cdot 0,865 (604,3 - 25) = 5,80.$$

Таким же образом определяются все величины, входящие в третий член знаменателя уравнения (7): $\varphi_2 \gamma_2 v_2 (t_2 - t_2)$, здесь $\varphi_2 = 1$, $t_2 = 25^\circ$; γ_2 — удельный вес насыщенного пара при температуре $t_{L_1} = 40^\circ$ и его теплосодержание i_2 также находятся по таблице и будут равны:

$$\gamma_2 = 51,2 \text{ г/м}^3 = 0,0512 \text{ кг/м}^3 \text{ и } i_2 = 614 \text{ кал/кг;}$$

удельный объем

$$v_2 = \frac{R_L \cdot T_{L_2}}{P_{L_2}},$$

где

$$R_L = 29,27, \quad T_{L_2} = 273 + t_{L_2} = 313^\circ.$$

Давление воздуха при выходе из градирни

$$P_{L_2} = P_A - P_{D_2}; \quad P_{D_2} = 10\,000 p_{D_2}; \quad p_{D_2} = \varphi_2 \cdot p_{s_2}.$$

По таблице найдем

$$p_{s_2} = 55,4 \text{ мм рт. ст.} = \frac{55,4}{740,82} = 0,074 p_{D_2} \text{ кг/см}^2;$$

$$P_{D_2} = 10\,000 p_{D_2} = 740 \text{ кг/м}^2$$

и

$$P_{L_2} = 10\,065 - 740 = 9\,325 \text{ кг/м}^2.$$

Тогда

$$v_2 = \frac{29,27 \cdot 313}{9\,325} = 0,982 \text{ м}^3$$

и

$$\varphi_2 \gamma_2 v_2 (t_2 - t_2) = 1 \cdot 0,0512 \cdot 0,982 (614 - 25) = 29,56.$$

¹ 738,16 мм рт. ст. есть высота столба ртути при температуре 20° Ц.

Подставив все определенные таким образом величины в уравнение (7), получаем:

$$L = \frac{20415}{4,80 + 29,56 - 5,80} = 715 \text{ кг/мин},$$

а объем $V = 715 \cdot 0,865 = 620 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Из уравнения (3) определим вес испаренной в градирне воды:

$$G_1 - G_2 = L(\varphi_2 \gamma_2 v_2 - \varphi_1 \gamma_1 v_1) = \\ = 716(1 \cdot 0,00512 \cdot 0,982 - 0,67 \cdot 0,0173 \cdot 0,865) = 28,6 \text{ кг/мин}$$

или $28,6 \cdot 60 = 1716 \text{ кг/час}$, что составляет $\frac{1716}{35000} \cdot 100 \approx 4,9\%$ общего количества охлаждающей воды.

Определенная нами величина $L = 715 \text{ кг/мин}$ представляет собою левую часть уравнения (14); в уравнении (17) необходимо еще определить следующие величины: F_R , γ_A , γ_R , γ_K , ε , $\frac{H_R}{H}$ и $\frac{H_K}{H}$ и из него определить H , или, задавшись H и вычислив все остальные величины из уравнения (17), определить F_R . Площадь сечения F_K определяется по формуле (15), в которой принимаем $q = 3$, и тогда

$$F_R = \frac{G(\text{кг})}{q} = \frac{35}{3} = 12 \text{ м}^2;$$

по формуле (16) эта площадь будет равна

$$F_R = \frac{G(\text{кг})}{3636} = \frac{35000}{3636} = 9,62 \text{ м}^2.$$

Имея в виду полученные по эмпирическим формулам (15) и (16) величины для $F_R = 12$ и $9,62 \text{ м}^2$ как минимальные, расчет площади основания градирни произведем следующим образом: на основании практических данных зададимся общей высотой градирни $H = 17,5 \text{ м}$ и по уравнению (14) вычислим F_K , а затем и F_R .

Определим удельные веса

$$\gamma_A, \gamma_R \text{ и } \gamma_K.$$

Как мы видели,

$$\gamma_A = \varphi_1 \gamma_1 + \frac{1}{\varphi_1} \text{ кг/м}^3,$$

где γ_1 определяется по таблицам и для нашего случая будет равно:

$$\gamma_1 = 17,3 \text{ г/м}^3 = 0,0173 \text{ кг/м}^3,$$

а v_1 было вычислено ранее и равно

$$v_1 = 0,865 \text{ м}^3.$$

Тогда:

$$\gamma_A = 0,67 \cdot 0,0173 + \frac{1}{0,865} = 1,166 \text{ кг/м}^3.$$

Далее,

$$\gamma_R = \varphi_2 \gamma_2 + \frac{1}{\varphi_2},$$

где γ_s — вес 1 м³ насыщенного пара при средней температуре в орошаемом пространстве

$$t_L = \frac{20 + 40}{2} = 30^\circ \text{ Ц}$$

определяется по таблицам:

$$\gamma_s = 30,444 \text{ м}^3 = 0,0304 \text{ кг/м}^3, \quad \varphi_2 = 1,$$

а v_R определится из выражения

$$v_R = \frac{R_L \cdot T_L}{P_L},$$

$$R_L = 29,27, \quad T_L = 273 + t_L = 303^\circ;$$

$$P_L = P_A - P_D,$$

причем

$$P_A = 10\,065 \text{ кг/м}^2,$$

P_D определяется по парциальному давлению p_s при температуре $t_L = 30^\circ$ по таблице путем перевода его из мм рт. ст. по данному барометрическому давлению в кг/см², а затем в кг/м², т. е.

$$p_s = \frac{31,8}{739,5} = 0,043 \text{ кг/см}^2.$$

Тогда

$$P_D = 430 \text{ кг/м}^2$$

и

$$P_L = 10\,065 - 430 = 9\,635 \text{ кг/м}^2.$$

Следовательно,

$$v_R = \frac{29,27 \cdot 303}{9\,635} = 0,92 \text{ м}^3,$$

а

$$\gamma_L = \frac{1}{v_R} = \frac{1}{0,92} = 1,087$$

и

$$\gamma_R = \gamma_s + \gamma_L = 0,034 + 1,087 = 1,1174 \text{ кг/м}^3.$$

Наконец, удельный вес воздуха в верхней части градирни γ_K определяется аналогичным образом по давлению P_A и температуре t_{L_2} и будет равен

$$\gamma_K = \gamma_K' + \gamma_{L_2} = \varphi_2 \gamma_2 + \frac{1}{v_2},$$

где

$$\gamma_K' = \varphi_2 \gamma_2,$$

а φ_2 — есть относительная влажность, в данном случае равна 1 и γ — удельный вес пара при температуре t_{L_2} , при наших условиях равный

$$\gamma_2 = 0,0512 \text{ кг/м}^3;$$

γ_{L_2} — есть удельный вес сухого воздуха при температуре t_{L_2} и данном барометрическом давлении, причем

$$\gamma_{L_2} = \frac{1}{v_2},$$

где v_2 определено раньше и равно $v_2 = 0,982 \text{ м}^3$.

Тогда

$$\gamma_K = 1 \cdot 0,0512 + \frac{1}{0,982} = 1,066 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент потери от трения по эмпирическим данным принимаем равным

$$\varepsilon = 0,93.$$

Если на основании практических данных для каминных охладителей системы Бальке, примем, что

$$H_R = 0,35H$$

и

$$H_K = 0,65H,$$

т. е.

$$\frac{H_R}{H} = 0,35, \quad \frac{H_K}{H} = 0,65$$

и

$$H_R = 0,35 \cdot 17,5 \approx 6 \text{ м},$$

то

$$H_K = 0,65 \cdot 17,5 \approx 11,5 \text{ м}.$$

Теперь в уравнении (17) все величины будут известны, и из него определим площадь среднего сечения градирни:

$$F_K = \frac{L}{60 (\gamma_K - \varphi_2 \gamma_2) \sqrt{2g (1 - \varepsilon) H \left(\frac{\gamma_A}{\gamma_K} - \frac{H_R}{H} \cdot \frac{\gamma_B}{\gamma_K} - \frac{H_K}{H} \right)}} =$$

$$= \frac{715}{60 (1,066 - 1 \cdot 0,0512) \sqrt{2 \cdot 9,81 (1 - 0,93) 17,5 \left(\frac{1,166}{1,066} - 0,35 \frac{1,1174}{1,066} - 0,65 \right)}} =$$

$$= \frac{715}{60 \cdot 1,0148 \cdot 1,2} = \frac{715}{72,5} = 9,86 \text{ м}^2.$$

Для каминных охладителей системы Бальке обычно берется соотношение

$$F_K = 0,45 F_R,$$

откуда

$$F_R = \frac{F_K}{0,45} = \frac{9,86}{0,45} = 22 \text{ м}^2.$$

Тогда линейные размеры площади квадратного основания градирни будут приблизительно $4,7 \times 4,7 \text{ м}$ и среднего сечения $3,15 \times 3,15 \text{ м}$. Таким образом определились следующие размеры градирни.

1. Площадь нижнего сечения $F_R = 22 \text{ м}^2$ и линейные размеры сечения — $4,7 \times 4,7 \text{ м}$.

2. Площадь среднего сечения $F_K = 9,86 \text{ м}^2$ и линейные размеры его — $3,15 \times 3,15 \text{ м}$.

3. Общая высота градирни $H = 17,5 \text{ м}$.

4. Высота впуска воды — $H_K = 6 \text{ м}$.

5. Высота башни над местом впуска воды — $H_K = 11,5 \text{ м}$.

д) Выбор воды для охлаждения двигателя и ее очистка. Чистота и мягкость охлаждающей воды не менее

важны для двигателя, чем для парового котла, так как вода с механическими примесями дает отложения грязи, а с химическими — накипь на стенках охлаждающих полостей двигателя, которая особенно опасна в цилиндрических крышках и рубашках, так как, ухудшая теплопередачу от металла к воде, способствует неравномерному нагреванию металла и образованию трещин.

В цилиндрической рубашке наибольшее отложение грязи наблюдается в нижней части ее, а отложения накипи — в верхней части, так как здесь в непосредственной близости с камерой сгорания температура выше, что и способствует образованию накипи. Поэтому вода, предназначенная для охлаждения двигателя, должна содержать возможно меньше механических примесей, а также должна быть мягкой, причем без химической очистки допустима вода не выше 12° нем. жесткостью.¹

Очистка воды как от механических примесей, так и от химических солей осуществляется теми же средствами, что и в котельных установках, т. е. механическими фильтрами и химическими водоумягчителями.

Объем механического фильтра рассчитывается таким образом, чтобы при 2,5-3-кратной часовой производительности его скорость прохождения воды через сечение фильтра не превышала 1—2 мм/сек.

Химическая очистка воды, т. е. ее смягчение, производится теми же способами, что и для паровых котлов: содово-известковыми водоумягчителями таких же конструкций, какие применяются в паросиловых установках. Необходимо отметить удобства так называемого пермутитового способа смягчения воды; пермутит представляет собою силикат алюминия, который получается путем сплавления полевого шпата, каолина, глины, песка и соды, с последующей промывкой горячей водой. Пермутитовый водоочиститель состоит из вертикального железного цилиндра, в котором толстым слоем расположен пермутит в кускообразном виде; вода проходит через слой пермутита, причем натрий пермутита замещается содержащимися в воде кальцием и магнием, и благодаря этому вода смягчается. Через некоторое время пермутит в той или иной степени теряет вышеуказанные свойства, но очень легко поддается регенерации, которая заключается в том, что его промывают горячим раствором поваренной соли, после чего свойства его восстанавливаются.

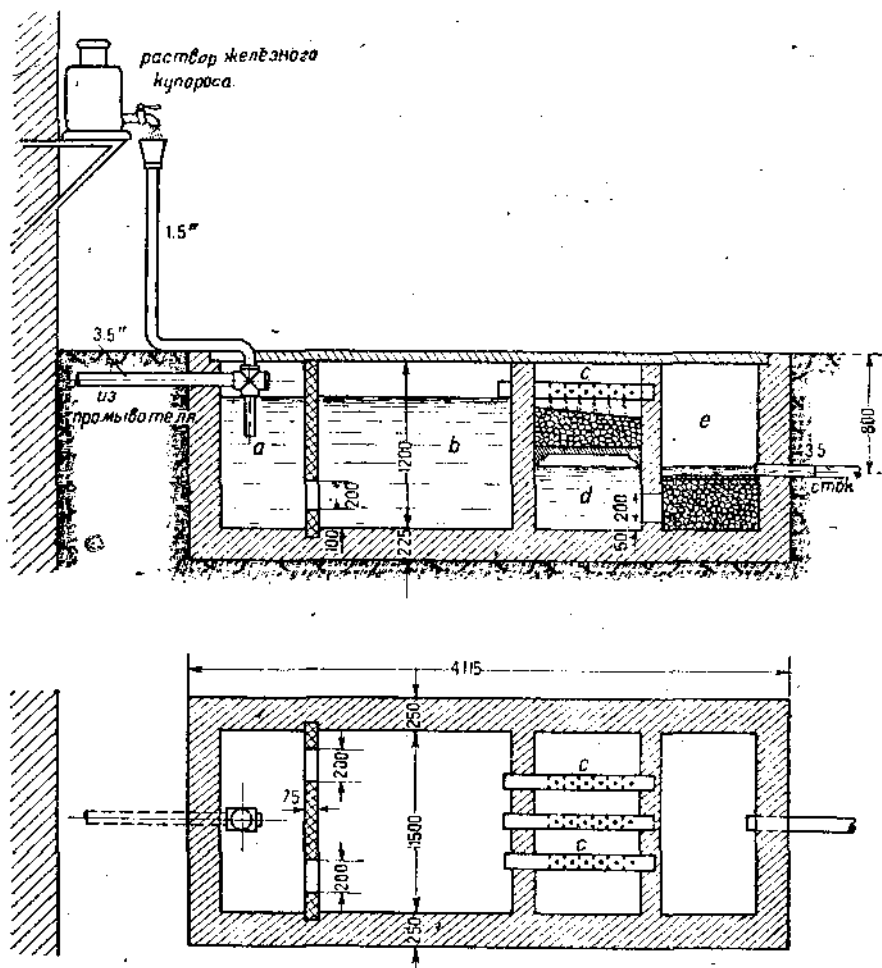
Выгода этого способа смягчения воды заключается в следующем: достигается полное смягчение, в водоочистителе не образуется грязи, устройство аппарата весьма просто, отсутствует дозировка в зависимости от состава воды и количества в ней тех или иных химических веществ; достигается прочность пермутита и его способность к регенерации. К недостаткам надо отнести то, что в воде остается двууглекислый и сернокислый натрий, дороговизна самого пермутита и необходимость получения его из-за границы.

8. Очистка скрубберных вод.

Вода, выходящая из скрубберов газогенераторных установок, содержит вредные механические и химические примеси, которые она воспринимает от охлаждаемого и очищаемого ею газа в скруббере; вследствие содержания этих примесей скрубберная вода имеет дурной запах и вредные свойства

¹ Один немецкий градус жесткости соответствует содержанию 1 части CaO в 100 000 частей воды или 1 г CaO на 100 кг воды.

для живых существ, в особенности для мелких рыб. Химический состав скрубберных вод зависит от рода топлива и хода газогенераторного процесса. Сточные воды газогенераторной установки, работающей на антраците, содержат следующие вредные химические примеси: серу в форме сернистой и серной кислот, сероводород и сероуглерод в форме аммонийных солей, азот в форме аммиака и синильной кислоты, углеводороды и фенолы,



Фиг. 36.

углекислоту в виде аммоний-карбоната, частью же в свободном состоянии; механические примеси скрубберных вод: угольную пыль, золу (пепел), смолу, серу. Механические примеси обуславливают мутный вид скрубберных вод, а химические примеси — их неприятный смолистый запах и вредность. В небольших установках устраивают поглощающие колодцы для сточных вод, если по характеру местности это не вредит подпочвенным водам и не отражается на качестве воды в расположенных поблизости колодцах.

В более крупных установках обезвреживание скрубберных вод производится или путем разжижения их в 10—15-кратном объеме воды, что, конечно, по большей части затруднительно вследствие необходимости доставки больших количеств свежей воды, или химическим путем посредством смешивания скрубберной воды с железным купоросом в специальных резервуарах и последующего отстаивания и фильтрации сточных вод; в этом случае применяется раствор железного купороса из 1 кг купороса на 6—7 л воды, причем на 1 м³ воды добавляется 300—400 г такого раствора.

Железный купорос заставляет осаждаться сероводород в виде сернистого железа и растворяет аммиак.

На фиг. 36 представлено устройство для химической очистки скрубберных вод посредством железного купороса для газогенераторного двигателя в 100 л. с. Раствор железного купороса из стеклянного или фаянсового сосуда, укрепленного на стене, поступает по трубе в камеру *a*, в которую по трубе, соединяющейся тройником с первой трубой, поступает сточная вода из скруббера; из камеры *a* смесь сточной воды с раствором переходит в камеру *b* и из нее по глиняным трубам с отверстиями *c* поступает на коксовый фильтр, расположенный на железной решетке, и стекает в камеру *d*; из камеры *d* вода через второй более мелкий коксовый фильтр, нагруженный сверху железной дырчатой плитой, поступает в последнюю камеру *e*, откуда уже очищенной отводится в сток. Степень очистки зависит от того, куда очищенная вода затем направляется. Если она направляется в реку и в особенности открытым каналом, то очистка должна быть более тщательной, если же в городскую канализацию, — то менее тщательной.

Кроме добавления железного купороса имеется еще следующий способ очистки скрубберных вод: через нагретую приблизительно до 40° скрубберную воду, посредством вентилятора продувают воздух, который окисляет ее и увлекает с собою дурно пахнущие вещества; воздух после продувки через воду выводится по трубе над крышей, а очищенная вода, уже без дурного запаха, может быть спущена в канализацию. Гюльднер в своих газогенераторных двигателях применял такой же почти способ, только воздух для генератора проходил через скрубберную воду и дальше направлялся в генератор, где и сгорали дурно пахнущие пары.

9. Вентиляция, освещение и отопление машинного помещения.

На вентиляцию машинного помещения должно быть обращено должное внимание, в особенности в установках с газовыми двигателями, так как в таковых всегда происходит некоторая утечка газов; особо серьезное внимание должно быть обращено на вентиляцию помещения для генераторов при газогенераторных установках.

В небольших и средних станциях с двигателями внутреннего сгорания вентиляция машинного помещения устраивается в виде винтовых электровентиляторов, устанавливаемых в окнах, в крупных же установках, в особенности с газовыми двигателями, необходимо устройство приточно-вытяжной вентиляции, т. е. при помощи специальной установки двух вентиляторов, один из которых нагнетает в машинное помещение свежий воздух, а другой высасывает испорченный воздух.

Расчет вентиляции машинного помещения должен вестись из соображений двух-трехкратного обмена воздуха в течение часа для дизельных установок пяти-шестикратного — для установок с газовыми

двигателями и для помещения генераторов, т. е. если объем помещения в куб. метров, то производительность вентилятора должна равняться 2—3 в $\text{м}^3/\text{час}$ и соответственно 5—6 в $\text{м}^3/\text{час}$.

Необходимо также обращать внимание на рациональное освещение машинного помещения. Рациональное освещение силовой станции имеет следующее значение: 1) значительно сокращается число несчастных случаев; на основании статистических данных 10% несчастных случаев объясняются неудовлетворительным освещением и около 14% таковых способствует неудовлетворительное освещение; 2) повышается производительность труда; по данным различных исследователей в зависимости от освещения производительность труда может давать колебания до 20—25%; 3) повышается качество обслуживания двигателей; 4) устраняется причина повреждения зрения вследствие недостаточного или излишнего света; 5) улучшается самочувствие и бодрость обслуживающего двигателя персонала; 6) является возможность поддержания лучшего порядка и чистоты в машинном помещении.

Поэтому не следует избегать расходов на хорошее освещение, так как таковые легко окупаются сбережением времени обслуживающего персонала и качеством обслуживания. Рационально устроенное освещение должно удовлетворять следующим условиям: 1) должно быть достаточной силы, чтобы во время работы не приходилось напрягать зрение, 2) должно быть равномерным, т. е. давать одинаковую освещенность во всех местах помещения, и 3) не должно сопровождаться так называемой слепкостью, т. е. слепящим действием на зрение резко выделяющихся по своей яркости предметов и поверхностей. Степень освещенности измеряется единицей освещенности — люксом, который представляет собою освещенность, получаемую на 1 м^2 сферической поверхности радиусом в 1 м источником света в 1 международную свечу, помещенным в центре сферы; международная свеча есть единица силы света, установленная международным соглашением и для СССР определяемая эталонными электрическими лампами накаливания, хранящимися в Главной палате мер и весов в Ленинграде.

По нормам естественного освещения, утвержденным Наркомтрудом, отношение поверхности окон машинного помещения к площади его пола должно быть не менее 1 : 8; причем освещение должно быть равномерным и перед окнами не должно быть каких-либо зданий, затемняющих помещения. Глубина помещения, имеющего только боковое освещение, не должна превышать двойного расстояния от верхнего края застекления окон до пола.

Так как в настоящее время большей частью здание машинного помещения устраивается в виде кирпичных или железобетонных колонн, промежутки между которыми представляют собою окна, то при такой конструкции здания света больше чем достаточно и вышеуказанные соотношения сами собою осуществляются с избытком.

Нормы искусственного освещения — 40—60 люксов. Что касается отопления машинного помещения, то использование для такового теплоты исходящей охлаждающей воды и теплоты отходящих газов не является целесообразным, так как во время работы двигателя нет надобности в отоплении машинного помещения виду того, что теплота, выделяемая цилиндрами двигателя и выхлопными трубами, поддерживает температуру помещения на достаточном уровне. Машинное

помещение необходимо отапливать в периоды непродолжительной остановки двигателя в зимнее время, если вода из охлаждающих рубашек не выпускается (при более или менее продолжительных остановках вода должна выпускаться обязательно), и в особенности перед пуском двигателя в холодное время года после остановки, когда вследствие низкой температуры цилиндров создаются очень тяжелые условия для первоначальных вспышек в двигателе: если температура помещения слишком низка, то двигатель может не пойти в ход. При пуске двигателя дизеля температура машинного помещения должна быть в пределах 15—20° Ц, каковая достигается установкой временных переносных железных печей.

Для отопления подсобных и производственных помещений исходящая охлаждающая вода и выхлопные газы могут быть использованы в довольно значительной мере (см. «Использование отходящего тепла»).

10. Ограждения и противопожарные устройства.

В установке с двигателем внутреннего сгорания ограждению подлежат маховик, шкив и ремень или канаты при ременной или канатной передаче, а также ремень к динамо-машине; кроме того, резервуар горячей воды, если он находится в машинном помещении, и спуск в подвальное помещение, если таковое имеется. Ограждения делаются из старых газовых труб или из круглого железа.

В качестве противопожарных приспособлений кроме обычного противопожарного водопровода на силовой станции должны находиться химические огнетушители пеной, кошмы и песок. При загорании нефти в баках пользуются кошмой или химическим огнетушителем. Случаи загорания масла в картере или на станинах двигателя, хотя и очень редко, но наблюдались, когда масло расходуется небрежно и двигатель облит им; в этих случаях надо пользоваться кошмой или огнетушителем и лишь в самом крайнем случае песком, так как после тушения пожара песком приходится разбирать двигатель и весьма тщательно очищать его, чтобы песок не остался в подшипниках или на каких-либо трущихся частях.

Автору известен один случай воспламенения нефти, попавшей из нефтяного бака, расположенного над глушителем, на последний, вследствие чего огонь распространился на двигатель, который так же, как и пол машинного помещения, по причине плохого ухода был, облит маслом, которое и загорелось; картина работающего в огне двигателя была совершенно необычайна и вследствие упущения времени огонь пришлось гасить огнетушителями и песком, что повлекло за собой необходимость разборки двигателя для производства самой тщательной чистки.

ГЛАВА V.

УСТАНОВКА ДВИГАТЕЛЕЙ.

1. Выбор места под машинное помещение.

При проектировании станции с двигателями необходимо обращать внимание и учитывать следующие обстоятельства:

1. Свойства грунта. Если грунт вызывает опасения за его надежность, необходимо произвести пробное бурение для выяснения картины напла-

типы грунта и определения способа заложения фундамента, о которых подробно будет сказано в главе о фундаментах.

В случае трансмиссионной передачи должно быть соблюдено необходимое расстояние между осью двигателя и осью главного трансмиссионного вала; наиболее выгодное расстояние при ременной передаче от 5 до 10 м и при канатной — от 10 до 20 м; кроме того, должны быть соблюдены условия удобства передачи к станкам и орудиям, которые двигатель должен приводить в движение. Наиболее выгодным в смысле распределения мощности по трансмиссионному валу и его размеров является передача посредине вала, если это допускают местные условия, так как при передаче всей мощности с одного конца вала этот конец получается значительно большего диаметра, что удорожает всю трансмиссию. Однако удобство непосредственного соединения конца трансмиссионного вала с концом вала двигателя через фрикционную муфту сплошь и рядом заставляя, не считаясь с некоторым утолщением вала, прибегать к данному способу сопряжения двигателя с трансмиссионным валом. Преимущества этого способа установки заключаются в том, что вся установка получается компактнее благодаря отсутствию ременной или канатной передачи, затем отпадают потери мощности на передачу и, наконец, отпадают расходы по ремонту и обслуживанию ее; стоимость установки значительно удешевляется, так как отпадает стоимость двух больших канатных или ременных шкивов, одного подшипника и самих канатов или ремней; не маловажное значение имеет отсутствие при таком способе соединения двигателя с главным трансмиссионным валом передачи, являющейся довольно опасным местом для обслуживающего персонала.

3. Место машинного помещения под двигатели должно быть выбрано таким образом, чтобы двигатели располагались по возможности дальше от жилых помещений и вообще всяких помещений, не связанных с производством, которое двигатели обслуживают, во избежание сотрясений этих зданий при работе двигателей. В случае неизбежности расположения машинного помещения поблизости от жилых зданий необходимо предусматривать изоляцию фундамента от грунта, устройство какового указано в статье о фундаментах.

4. Необходимо предусмотреть достаточные размеры машинного помещения как по площади, так и по высоте, что особенно важно при трансмиссионных передачах в целях создания условий безопасного обслуживания подшипников и удобства надевания канатов или ремней.

5. Должен быть предусмотрен удобный транспорт тяжелых, крупных деталей двигателей, для чего должны быть устроены достаточных размеров проемы в стенах помещения, которые в дальнейшем должны быть использованы в качестве дверей машинного помещения; при современной конструкции зданий машинных помещений, в особенности электростанций, в виде ряда кирпичных или железобетонных столбов, промежутки между которыми сплошь заполняются оконными переплетами, это условие выполняется само собою.

6. Должно быть обращено внимание на вывод и расположение выхлопных труб, которые желательно выводить выше окружающих зданий в целях избежания неприятного действия исходящих газов на людей; расположение выхлопных труб желательно со стороны, противоположной фасаду здания.

2. Разбивка места под фундамент.

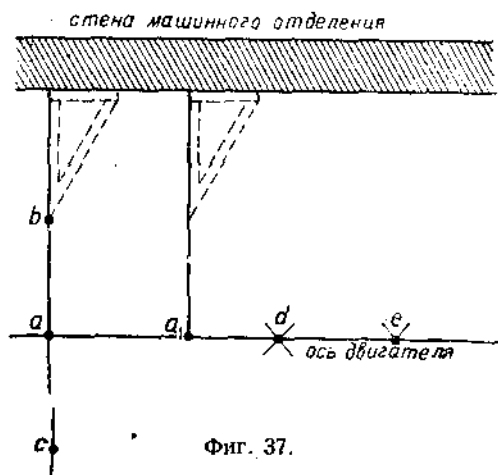
Приступая к установке двигателя и имея чертеж расположения в машинном помещении со всеми необходимыми размерами расстояний продольной и поперечной средних линий двигателя от стен здания, необходимо прежде всего произвести разбивку места под фундамент, т. е. разметить на полу машинного помещения ось вала двигателя.

Рассмотрим два случая: 1) движение от двигателя передается на электрогенератор и 2) движение передается на главный трансмиссионный вал.

1. Передача движения на электрогенератор. Здесь также возможны два случая: а) генератор непосредственно соединен с валом двигателя и б) генератор приводится в движение посредством ременной передачи.

В первом случае средняя линия фундамента (она же геометрическая ось вала двигателя) разбивается параллельно стене, а следовательно, и оси машинного помещения,

причем параллельность эта не требуется особо строгой, так как обуславливается лишь соображениями внешней симметричности расположения. Линию эту можно нанести несколькими способами. Изготавливают большой угольник с прямым углом и, укладывая его одним катетом к стене (фиг. 37), по краю другого катета протягивают шнур так, чтобы он касался всеми своими точками этого катета; по шнуру откладывают расстояние от стены до оси вала двигателя, указанное на чертеже



Фиг. 37.

установки, и таким образом получают точку, лежащую на геометрической оси вала двигателя, поступая таким образом несколько раз, в трех-четырех местах получают три-четыре точки, соединяя которые находят искомую среднюю линию фундамента.

Можно также, проведя один раз шнур и получив одну точку *a* (фиг. 37), отложить по обе стороны от нее некоторые равные расстояния около 1—1,5 м и, получив точки *b* и *c* (фиг. 37), засечь из них штангенциркулем дуги, пересечение которых дает точки *d* и *e*, лежащие на линии, перпендикулярной к шнуру, соединяя которые получим среднюю линию фундамента, параллельную стене помещения.

Разметка расположения средней поперечной линии двигателя, маховика и электрогенератора по размерам, указанным на чертеже, не представляет затруднений. Во втором случае при передаче движения от двигателя к электрогенератору при помощи ремня разметка средней линии фундамента двигателя производится так же, как и в первом случае, а геометрическая ось генератора на полу находится подобным же накладыванием угольника катетом к средней линии фундамента, проведением шнуром

и отметкой на них расстояния от оси двигателя до оси вала генератора, указанного на чертеже.

Передача движения от двигателя к электрогенератору при помощи ремня осуществляется лишь на мелких установках и очень редко на средних в том случае, если получение генератора с низким числом оборотов, которое делает двигатель, затруднительно и приходится пользоваться генератором нормального типа с числом оборотов 750—1000 в минуту, что требует передачи для увеличения числа оборотов. Соединение электрогенератора непосредственно с валом двигателя помощью жесткой муфты требует специальной модели генератора, причем последние могут быть с нормальным ротором, и тогда двигатель должен иметь маховик, обеспечивающий необходимую степень неравномерности, или с усиленным ротором, и тогда двигатель должен иметь облегченный маховик и часть махового момента (GD^2) находится в маховике, часть же в роторе генератора, или же наконец весь маховый момент может быть вложен в ротор генератора, последний в этом случае должен быть соответственно утяжеленным, а двигатель совсем не имеет маховика.

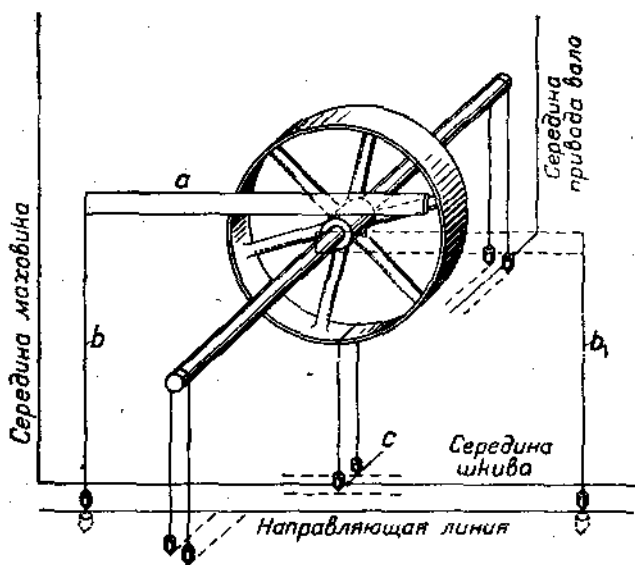
В настоящее время Всесоюзное электротехническое объединение изготавливает специальные модели генераторов трехфазного тока для непосредственного соединения с дизелями Коломенского завода и др.

2. Передача движения на трансмиссионный вал. Рассмотрим способ разбивки основных линий фундамента при передаче движения на главный вал трансмиссии в трех вариантах: 1) имеется главный вал трансмиссии, на нем главный приводной шкив и имеется проем в стене для ремня или канатов; 2) главный вал и проем имеются, но главного приводного шкива нет, и 3) трансмиссионный вал установлен, на нем имеется главный передаточный шкив, проем для ремня имеется в верхней части стены машинного помещения.

Первый случай (фиг. 38). К главному передаточному шкиву на трансмиссионном валу привертывается так называемое правило *a*, которое представляет собой деревянную планку, правильно выструганную; вал устанавливается таким образом, чтобы правило расположилось строго горизонтально, что проверяется ватерпасом. С конца правила, со стороны шкива опускают отвес *b* и, забивая под грузом отвеса деревянный колышек, отмечают на последнем точку отвеса вбитым в колышек гвоздем; затем поворачивают правило на 180° , снова проверяют ватерпасом его горизонтальность, причем в этом положении его длинный конец будет направлен в сторону, противоположную первому положению, и снова опускают отвес таким же образом в новом положении и отмечают на колышке точку отвеса, затем соединяют эти две точки, проводя через них прямой линией, которая и будет линией, параллельной средней линии шкива, называемой направляющей линией. Далее, через обод шкива снизу перебрасывают шнур с двумя отвесами (фиг. 38), отмечают на полу точки отвеса, делят расстояние между ними пополам и через полученную точку *c*, которая, очевидно, лежит на средней линии шкива, проводят линию, параллельную ранее полученной направляющей линии, откладывая от нее расстояние от направляющей линии до точки *c* в нескольких местах и соединяя получившиеся точки; эта линия и будет средней линией передаточного шкива, а следовательно, и шкива на двигателе или маховика, если передача осуществляется прямо с него. Полученную линию продолжают в машинное помещение, откладывают на ней расстоя-

ние, указанное на чертеже от стены до оси вала двигателя до точки *k* (фиг. 39) и из последней восстанавливают перпендикуляр к средней линии шкивов, который и будет представлять геометрическую ось вала двигателя на полу помещения, т. е. среднюю линию фундамента.

Для проверки перпендикулярности полученной средней линии шкивов геометрической оси трансмиссионного вала проводят ось вала на пол, т. е. получают на полу проекцию геометрической оси трансмиссионного вала. Для этого через вал перебрасывают шнур с двумя отвесами, отмечают точки отвеса на полу (фиг. 38), расстояние между точками делят пополам и получают точку, лежащую на проекции геометрической оси вала; поступая таким образом, в 3—4 местах вала получают несколько точек, соединяя которые находят проекцию геометрической оси транс-



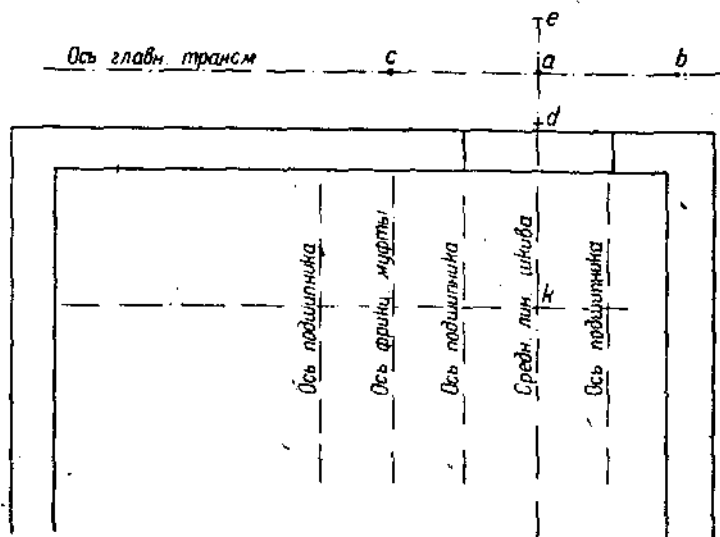
Фиг. 38.

миссионного вала на полу. Тогда, имея на полу среднюю линию шкивов и проекцию геометрической оси трансмиссионного вала, которые должны быть перпендикулярны друг другу, их перпендикулярность, а следовательно, и правильность проведения средней линии шкивов проверяются угольником; пересечение этих двух линий должно составлять прямой угол.

Проведение перпендикуляра из точки *k* (фиг. 39), который представляет собой проекцию оси вала двигателя на полу, может быть произведено или угольником со шнуром или штангенциркулем как было указано в первом случае. Имея среднюю линию шкивов и проекцию оси двигателя и их пересечение в точке *k*, от последней откладываем по чертежу расстояния до наружного подшипника, маховика и цилиндров (фиг. 39).

Второй случай — при тех же условиях, но без главного передаточного шкива на трансмиссионном валу. В этом случае поступают таким образом: провешивают вышеуказанным способом геометрическую ось вала главной трансмиссии на пол, на ней берут точку *a* (фиг. 39) по середине проема в стене и, отмечая на равном от нее расстоянии точки *b*

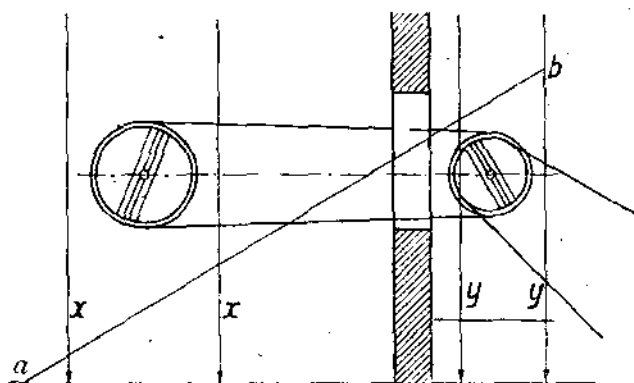
и c , из последних точек как из центров засекают дуги по обе стороны точки a , получая в пересечении этих дуг точки d и e ; соединяя точки e , a и d и продолжая линию соединения в машинное помещение, получаем среднюю линию шкивов. Дальнейшее получение проекции оси вала дви-



Фиг. 39.

гателя параллельной оси главного вала трансмиссии производится так же, как и в первом случае.

Третий случай: трансмиссионный вал установлен, на нем имеется главный передаточный шкив, проем для ремня имеется в верхней



Фиг. 40.

части стены машинного помещения (фиг. 40): требуется на полу машинного помещения найти проекции оси вала, параллельную оси трансмиссионного вала. Способом, указанным в первом случае, находим на полу помещения, в котором находится вал трансмиссии, направляющую линию передаточного шкива и спускаем два отвеса $x-x$ на расстоянии око-

до 1000 мм один от другого таким образом, чтобы острия их грузов совпадали с этой линией; затем, проводя наклонный шнур *ab* таким образом, чтобы он касался отвесов *x-x* и проходил через проем в стене; этот наклонный шнур одним концом закрепляется в полу, а верхним — к потолку машинного помещения или какой-либо неподвижной точке. В машинном помещении опускаем два отвеса *y-y* таким образом, чтобы они касались проведенной наклонной линии; отмечаем точки отвесов на полу, соединяем эти точки и получаем на полу машинного помещения линию, перпендикулярную к геометрической оси трансмиссионного вала. После этого на полученной линии откладываем расстояние от стены до оси вала двигателя, взятое по чертежу, и получаем точку, лежащую на проекции вала двигателя; из нее восстанавливаем перпендикуляр одним из вышеуказанных способов и получаем искомую проекцию оси вала двигателя, параллельную оси трансмиссионного вала.

Возможны различные видоизменения разобранных трех случаев, которые не представляют затруднений, если пользоваться вышеприведенными способами и приемами в тех или иных комбинациях.

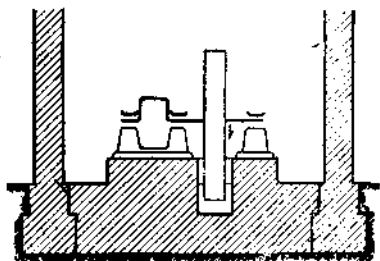
3. Фундаменты двигателей. Устройство фундаментов.

Фундамент представляет собою чрезвычайно важную часть установки, на которую необходимо обращать особо серьезное внимание. Обычно завод, построивший двигатель, дает чертеж фундамента со всеми размерами и выемками, которым надо строго следовать, в точности выполняя все указанные размеры, за исключением размера глубины фундамента; на заводском чертеже фундамента всегда указывается лишь минимальная глубина фундамента, обусловленная глубиной заложения фундаментных болтов, действительная же глубина фундамента должна быть выбрана в зависимости от грунта, причем фундамент должен доходить до плотного грунта, и во всяком случае глубина его должна быть не меньше глубины промерзания (1,6—1,8 м). Фундамент двигателя ни в коем случае нельзя соединять с фундаментом стен машинного помещения, как показано на фиг. 41; в тех случаях, когда за недостатком места фундамент двигателя подходит вплотную к фундаменту стен здания, между ними должно оставаться расстояние не менее 100 мм, которое ничем не заполняется, а сверху перекрывается рифленым железом; точно так же не должно касаться фундамента перекрытие подвального помещения, где таковое имеется; между ним и фундаментом должен быть оставлен зазор в 10—15 мм. Выносной подшипник как двигателя, так и фрикционной муфты, если таковая имеется, не должен устанавливаться на фундаментах или стенах здания, как показано на фиг. 42.

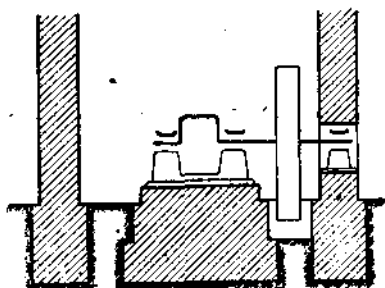
В первом случае, с одной стороны, является опасность неравномерной осадки или стены или фундамента двигателя и, следовательно, повреждения того или другого, с другой же стороны, опасность передачи сотрясений от двигателя к фундаменту и стенам здания и постепенного разрушения последних. Эти же явления имеют место и во втором случае, когда выносной подшипник расположен на стене здания, и, кроме того, в этом случае появляется еще опасность перекоса вала при неравномерной осадке фундамента двигателя или стены. Как фундамент под выносной подшипник и подшипник под фрикционную муфту при ременной или канатной передаче, так и фундамент под электрогенератор в случае непосредственного

соединения его с валом дизеля ни в коем случае не должен устраиваться отдельно от фундамента двигателя, как показано на фиг. 43, а должны вместе с фундаментом двигателя составлять один сплошной монолит, как показано на фиг. 44.

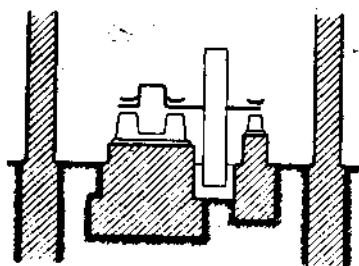
Если твердый грунт залегает очень глубоко и приходится останавливаться на сравнительно слабом грунте, то под фундаментом устраивают бутовую или бетонную плиту соответственно допускаемому напряжению для данного грунта толщиной 500—700 мм; из тех же соображений фундамент иногда делают в виде лестницы, уширяющимся книзу, чтобы его подошва была возможно большей площади. Для крупных двигателей всегда устраивают плиту под фундаментом и между нею и самим массивом фундамента часто укладывают слой изоляции.



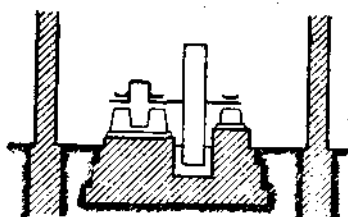
Фиг. 41.



Фиг. 42.



Фиг. 43.



Фиг. 44.

При особо слабых грунтах устраивают свайное основание под фундамент забивкой в грунт необходимого количества свай, на которых устраивают бетонную плиту (подушку) таким образом, чтобы сваи оставались в бетоне на 250—300 мм.

Глубина заложения подошвы фундамента должна быть на 0,5—1,0 м больше глубины заложения фундаментов стен машинного помещения.

Надежными грунтами считаются: скалистый, каменный, галька, гравий, крупнозернистый песок; средними грунтами: мелкозернистый песок и сухая глина с песком при толщине пласта не менее 4—6 м; ненадежные грунты: сырая глина, чистая или с примесью песка, пловучий песок, торф, насыпной грунт.

Фундаменты двигателей изготавливаются из кирпича на цементном растворе из бетона и очень редко в настоящее время в виде бутовой

кладки: в случаях, когда таковая по местным условиям выгоднее других материалов.

Наиболее употребительны бетонные фундаменты, которые обычно изготавливаются из бетона составом 1 : 3 : 6, причем как цемент, так и песок и гравий берутся самого лучшего качества; песок и гравий должны быть чистыми, для чего как тот, так и другой промываются. На 1 м³ цемента при данном составе получается около 6,6 м³ бетона, а на 1 м³ трамбованного бетона состава 1 : 3 : 6 идет: 0,15 м³ цемента, 0,45 м³ песка и 0,9 м³ гравия. Во время бетонирования бетон должен хорошо утрамбовываться.

Отверстия для болтов и другие углубления достигаются посредством деревянных вставок, книзу суженных для легкости вынимания.

Кирпичные фундаменты изготавливаются из кирпича самого высокого качества, правильных размеров и очертаний, хорошо обожженного (железняк, клинкер), так как последний меньше впитывает воды; кирпич кладется на цементном растворе: одна часть цемента и одна часть песка (1 : 1), причем песок должен быть лучшего качества, с зернами равновеликих размеров. Цементный раствор должен приготавливаться в количестве не больше того, которое можно израсходовать в течение 2 часов, после чего он начинает застывать.

На 1 м³ кирпичной кладки идет 324 кирпича и 0,3 м³ цементного раствора; на 1 м³ цементного раствора требуется 390 кг цемента, 1 м³ песка и 0,19 м³ воды; 1 м³ кирпичной кладки весит 1900 кг, а бетонной — до 2000 кг.

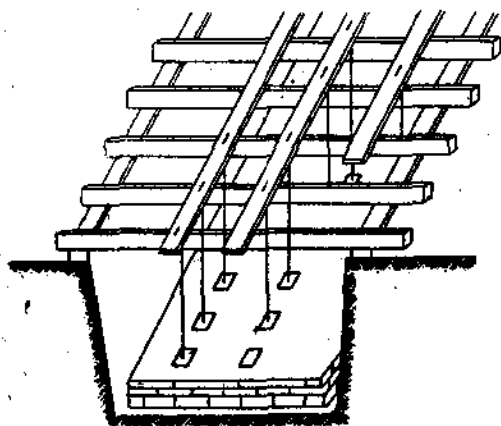
Кирпич перед кладкой должен быть смочен водой, так как иначе он очень быстро отнимает влагу от раствора; дно котлована под фундамент перед кладкой также должно быть смочено. При кирпичном фундаменте котлован для него делают несколько больших размеров для удобства наблюдения за кладкой; дно котлована должно быть совершенно горизонтально и представлять собою твердый грунт; выравнивание дна какими-либо подсыпками не допускается.

Допускаемое удельное давление для кирпичной и бетонной кладки — 5—6 кг/см². Кладка фундамента производится в следующем порядке. После разметки места установки двигателя роют котлован, выравнивают дно котлована и на нем выкладывают бетонную или бутовую плиту, на которой укладывают изоляционный слой. Последний должен быть в необходимых случаях предусмотрен для предотвращения передачи шума и сотрясений за пределы установки, что особенно опасно, когда собственные колебания здания совпадают с колебаниями двигателя и фундамента, так как в этом случае могут получиться явления резонанса, которые могут производить разрушения здания даже на значительном расстоянии. Наблюдались случаи, когда здание самой установки не претерпевает никаких сотрясений, в то время как здания, находящиеся на значительном от него расстоянии, получают повреждения вследствие явлений резонанса.

Для предотвращения подобных явлений между фундаментной плитой и собственно фундаментом укладывается изоляционная прокладка из пробковых плит толщиной 50—60 мм (корфунд); в качестве изоляционной прокладки применяются также плотный, толстый войлок, пропитанный асфальтом, и резиновая плита.

Сверх этого изоляционного слоя начинают кладку самого фундамента и после доведения ее до уровня заложения фундаментных плит, при установке небольших двигателей, фундаментные болты с плитами подвешивают в котловане на особом деревянном шаблоне, как показано на фиг. 45.

Шаблон этот состоит из нескольких продольных и поперечных планок, которые сбиваются, пользуясь чертежом плана фундамента, таким образом, чтобы места болтов по чертежу приходились в местах соединения планок, в которых просверливают отверстия несколько большие, чем диаметры болтов, и в эти отверстия вставляют болты с надетыми фундаментными плитами и укрепленными на них гайками (иногда таким же образом подвешивают отвесы). Кладка ведется сплошной до фундаментных плит, а выше плит — таким образом, чтобы вокруг болтов оставались каналы 40—50 мм, причем фундаментные плиты заливаются наглухо.



Фиг. 45.

Каналы для фундаментных болтов образуются деревянными, книзу коническими ящиками, которые устраиваются вокруг подвешенных болтов или отвесов. В двигателях мощностью свыше 75 л. с. вдоль оси цилиндра в нижней части фундамента устраиваются галерея А (фиг. 10 и 11) и выемки а по обе стороны от нее. Наметив вышеуказанным способом оси фундаментных болтов и оставив в кладке колодцы для них при помощи деревянных ящиков, как фун-

даментные плиты, так и болты закладываются после окончания фундамента, причем, пользуясь галереей А и выемками а, закладывают фундаментные плиты, затем сверху в концы для болтов вставляют болты. Заливка болтов, цементным раствором производится после установки фундаментной плиты, причем болты обычно заливаются на $\frac{2}{3}$ своей высоты, а верхняя треть болтов остается свободной для придания им некоторой эластичности. Фундаментные болты крупных двигателей (свыше 500—600 л. с.) не заливаются.

В небольших двигателях заливка болтов не производится наглухо, а одним из следующих способов: 1) колодцы для болтов сверху забиваются паклей, но не до самого верха или засыпаются песком, после чего производится подливка, вследствие чего только верхняя часть болтов оказывается залитой цементным раствором, и в случае перестановки двигателя их можно вынуть. В крупных установках этот момент не предусматривается, так как обрыв болтов почти никогда не бывает вследствие того, что они практически берутся гораздо большего диаметра, чем это следовало бы по расчету; если же приходится переносить двигатель на другое место установки, то это бывает связано со столь солидными работами, как снятие залитой цементом фундаментной плиты,

и в связи с этим со столь значительными затратами, что затраты на заказ новых болтов становятся незаметными; если же старый фундамент двигателя по тем или иным условиям необходимо снять, то в этом случае и болты с плитами так или иначе должны быть вынуты; в последнем случае, однако, необходима сугубая осторожность в применении старых болтов, так как при выемке они могут быть повреждены. При кирпичной кладке фундамента необходимо тщательно следить за правильностью укладки рядов кирпича и в особенности последних 5—6 рядов. Готовый фундамент в течение нескольких дней поливают водой и закрывают мокрыми рогожами (в особенности бетонный), после чего таковой должен выстояться в течение 10—12 дней, в случае кирпичной кладки и 25—30 дней — при бетонной кладке. Удельное давление на грунт допускается: при хорошем качестве грунта — 3 кг/см^2 и при среднем качестве — 2 кг/см^2 , однако выше 2 кг допускать вообще не следует. Небольшие двигатели мощностью до 10 л. с. могут устанавливаться на этажных перекрытиях на деревянных или железных балках.

Расчетные данные для определения главных размеров фундаментов. Хотя, как было сказано выше, чертеж фундамента всегда дается заводом, однако иногда таковой вызывает сомнения и требует проверки, или же при установке случайной машины, давно снятой с фундамента, приходится таковой проектировать самостоятельно при отсутствии чертежа: ввиду того, что размеры фундамента не поддаются точному аналитическому расчету, конструктивные соотношения берутся на основании выработанных практикой данных, каковые все же в каждом отдельном случае подвергаются поверочным расчетам в части нагрузки основания и условий устойчивости. При определении или проверке основных размеров фундаментов пользуются следующими практическими соотношениями.

1. Горизонтальные двигатели.

а) Одноцилиндровые.

Глубина заложения фундамента больше или равна $5D$, где D — диаметр цилиндра и не меньше глубины промерзания грунта ($1,6 — 1,8 \text{ м}$).

Объем фундамента (за исключением выемки для маховика):

для малых двигателей — $0,6 — 0,75 \text{ м}^3/\text{д. л. с.}$

для больших — $0,5 — 0,6 \text{ м}^3/\text{д. л. с.}$

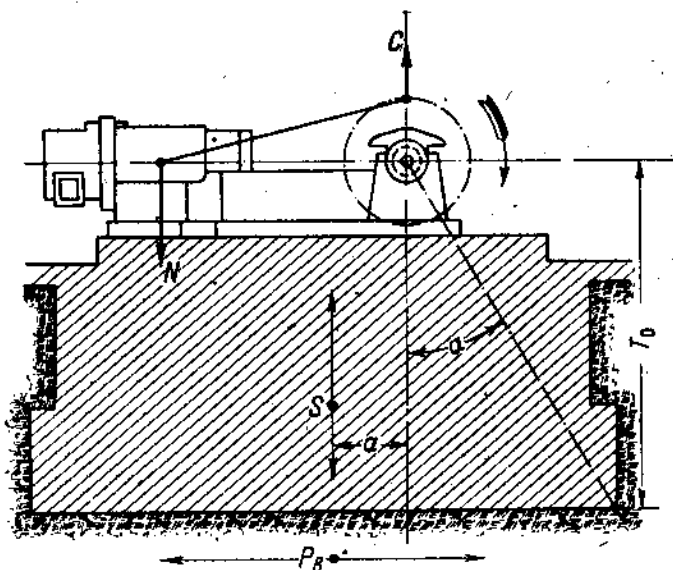
Опорная площадь фундамента определяется из условия, чтобы вес двигателя G_1 , вес фундамента G_2 и силы инерции движущихся масс R не вызывали давления, превосходящего допускаемое удельное давление на грунт k , т. е. чтобы соблюдалось условие:

$$\frac{G_1 + G_2 + R}{F} \leq K \text{ кг/см}^2.$$

G_1 берется по данным завода, G_2 определяется по объему фундамента и объемному весу бетонной или кирпичной кладки, а для определения R надо определить вес возвратно движущихся масс, т. е. поршня, поршневого пальца, поршневого штока и крейцкопфа, если таковые имеются, $\frac{2}{3}$ веса шатуна и вес вращающихся масс, отнесенных к центру цапфы кривошипа, т. е. кривошипного колена, нижней головки шатуна и $\frac{1}{8}$

тела шатуна; затем, зная эти веса, надо определить инерционное усилие возвратно движущихся частей P_s (фиг. 46), инерционное усилие вращающихся масс c и нормальное давление на поршень или направляющую N .

При проектировании фундамента необходимо стремиться к тому, чтобы расстояние от общего для двигателя и фундамента центра тяжести S до вертикали, проходящей через ось кривошипного вала a , было возможно меньше для уменьшения опрокидывающего момента от неуравновешенных сил инерции, вращающих систему около центра тяжести S . Это достигается удлинением фундамента в сторону вала, т. е. увеличением так называемого угла опрокидывания α , так как тогда S приближается



Фиг. 46.

к вертикали, проходящей через ось вала, и опрокидывающий момент будет меньше; правда, за счет этого увеличивается опрокидывающий момент от нормального давления N , но сравнительно мало.

Верхняя площадь фундамента определяется шириной и длиной фундаментной плиты двигателя и расположением выносного подшипника и в значительной мере определяет величину опорной площади F , которая проверяется по вышеуказанному соотношению.

При отсутствии уравновешения масс в горизонтальном направлении будет действовать сила $P_1 = P_s + c$, которая при уравновешении вращающихся масс уменьшится до $P_1 = P_s$, так как в этом случае $c = 0$ и останется только горизонтальная сила P_s , которая будет воздействовать на фундаментные болты и массив фундамента.

В вертикальном направлении при неуравновешении масс будет действовать сила c и под действием ее фундамент будет приводиться в сотрясение моментом $M = c \cdot a$, который точно так же при уравновешении вращающихся масс сведется почти к нулю.

б) Двух- и многоцилиндровые.

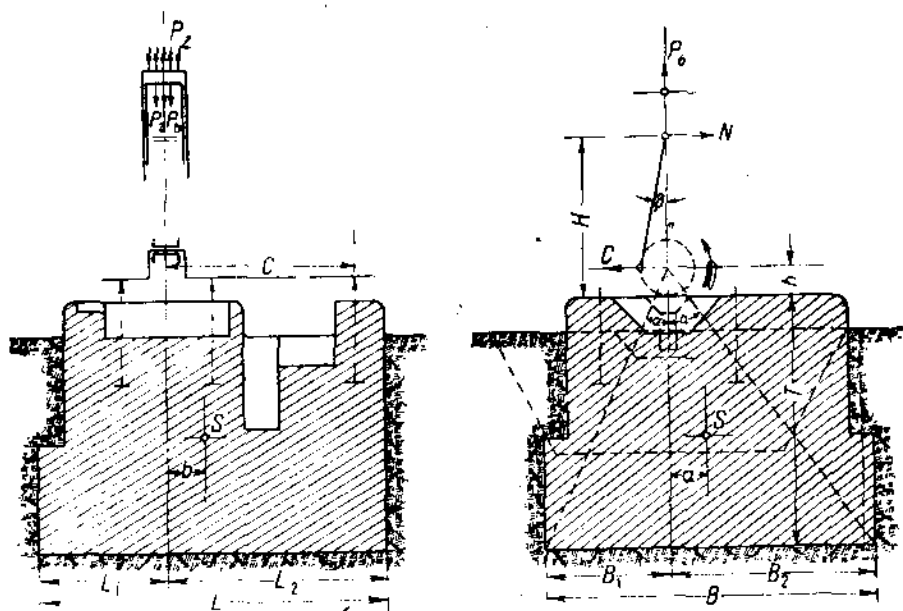
Глубина заложения фундамента больше или равна $5D$. Объем фундамента не должен быть меньше, чем у одноцилиндрового двигателя такой же мощности, но таковой получается обычно значительно большего объема вследствие большего габарита в плане.

Опорная площадь фундамента должна удовлетворять тем же условиям, что и у одноцилиндровых двигателей.

II. Вертикальные двигатели.

В вертикальных двигателях глубина заложения фундамента делается несколько больше, чем у горизонтальных вследствие более глубоких выемок для маховика и меньшего поперечного сечения фундамента, обусловливаемого меньшими габаритами вертикального двигателя в плане.

Глубина заложения фундамента в вертикальных двигателях должна быть больше или равна $6-7D$ или $4,5-5,5H$.



Фиг. 47.

Объем фундамента в зависимости от числа цилиндров принимается равным:

Число цилиндров . . .	1	2	3	4
м/л. с.	0,5	0,4	0,3	0,25
вес в кг/л. с.	1 000	800	600	500

Опорная площадь фундамента F определяется тем же соотношением, причем

$$R = P_0 + P_N + P_p,$$

где P_c — давление на фундамент от действия опрокидывающего момента, создаваемого горизонтальным инерционным усилием вращающихся масс (фиг. 47), P_x — давление на фундамент от действия опрокидывающего момента, создаваемого нормальным давлением в направляющей или поршне N и P_b — давление на фундамент от инерционного усилия возвратнодействующих масс в нижнем положении кривошипа.

В плоскости поперечного разреза фундамент должен быть симметричен относительно плоскости, проходящей через ось вала двигателя, т. е. должно быть соблюдено условие: $B_1 = B_2 = 0,5B$, чтобы центр тяжести двигателя и фундамента располагался в плоскости, проходящей через ось вала.

Угол опрокидывания α должен быть не меньше 30° . Так как при симметрии фундамента в поперечном сечении $\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,5B}{T}$, то при различных углах α получаются следующие соотношения между B и T :

при $\alpha = 30$	35	40	45°
0,5 $B = 0,58$	0,70	0,84	1,0 T

В продольном сечении фундамента плечо b , обуславливаемое маховиком, выносным подшипником и фрикционной муфтой с рабочим шкивом или электрогенератором, т. е. размером c , может быть сокращено удлинением фундамента влево, но к этому обычно не прибегают, допуская наличие некоторого опрокидывающего момента.

Размеры фундамента определяются или проверяются следующим образом. По размерам фундаментной плиты определяют верхнюю площадь фундамента и по вышеприведенным соотношениям определяют глубину заложения фундамента, объем его и ширину нижней площади основания, а следовательно, и приблизительные размеры всей опорной площади.

Определение G_1 и G_2 , как мы уже видели, не представляет затруднений. Зная вес возвратнодвижущихся масс, определим инерционное усилие возвратнодвижущихся масс P_b , а зная вес вращающихся масс, определим инерционное усилие вращающихся масс в горизонтальном направлении c , т. е. кривошипного колена, нижней головки шатуна и $1/3$ веса тела шатуна.

4. Монтаж двигателя, последовательность монтажных работ.

Первоначальный монтаж нового двигателя всегда производится монтером завода, который после установки пропускает двигатель сначала на холостом ходу, затем при постепенно увеличивающейся до нормальной нагрузке, попутно знакомя механика, назначенного для обслуживания двигателя во время эксплуатации, всем особенностям данной конструкции двигателя. Необходимо принять за правило, чтобы механик, которому решили поручить обслуживание двигателя, участвовал во всех работах по установке двигателя заводским монтером в качестве его помощника с целью ознакомления со всеми деталями конструкции и заводскими способами монтажа, применяемыми монтером, а главное для ознакомления с нормами пригонки и допусков для отверстий и валов, что является основой сборки всякого двигателя.

В эксплуатационных условиях монтаж и демонтаж двигателя приходится производить при каждом капитальном ремонте двигателя, а также при переноске двигателя из одного места в другое.

Существует довольно много приемов монтажа, а главное — проверки отдельных деталей двигателя, выработанных практикой того или иного завода, причем одни из них более точны и основательны, другие более грубы и приблизительны. В условиях эксплуатации обычно приходится пользоваться более простыми способами и приемами, доступными наличному персоналу силовой установки как по квалификации в этой области, так и по имеющимся приспособлениям и техническим возможностям. Не очень сложный ремонт и смена частей двигателя обычно производятся силами эксплуатационного персонала, более же солидный ремонт предпочтительно сдавать заводу, строящему двигатель, или в крайнем случае приглашать монтера по возможности того завода, который построил данный двигатель.

Наиболее точная сборка и пригонка частей двигателя производится в сборочной мастерской завода, и этой стороны данного вопроса мы касаться не будем, так как таковая должна служить предметом специального изучения непосредственно на заводе.

Поэтому мы здесь рассмотрим лишь основные, наиболее простые приемы монтажа и проверки частей двигателя и те работы по монтажу, которые наиболее часто встречаются в условиях эксплуатационной практики.

Монтаж двигателя можно производить лишь после того, как фундамент вполне высохнет; здание машинного помещения должно быть совершенно готово, стены оштукатурены, окна вставлены.

Последовательность работ по сборке двигателя зависит от его конструкции; в виду того, что все изложение книги ведется с сознательной тенденцией в сторону вертикальных двигателей Дизеля как двигателей, завоевавших себе первое место в промышленности, приводим примерный порядок последовательности работ при установке дизеля:

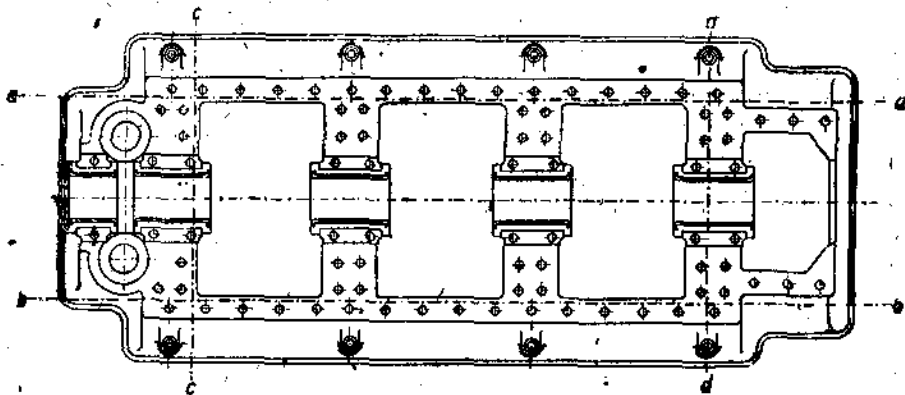
1. Установка фундаментной плиты.
2. Установка выносного подшипника.
3. Монтаж коленчатого вала.
4. Монтаж маховика.
5. Монтаж станин и рабочих цилиндров. Выверка положения станины и цилиндров по коленчатому валу.
6. Монтаж шатунов и поршней.
7. Установка компрессии.
8. Монтаж регуляторного и распределительного валов.
9. Установка цилиндровых крышек.
10. Установка нефтяных насосов.
11. Прочие работы.

5. Установка фундаментной рамы (плиты).

Перед установкой фундаментной рамы необходимо прежде всего проверить, нет ли каких-либо отверстий в корыте рамы, через которые может проникать масло под фундаментную раму; для этого наполняют раму водой, поднимают ее на некоторую высоту и тщательно осматривают, не обнаружится ли где-либо течь через какое-нибудь случайное отверстие или раковину. Эта предосторожность необходима потому, что при попадании масла хотя бы через тончайшие щели между фунда-

ментом и фундаментной рамой оно производит постепенное разъедание цементной заливки, в результате которого рама отделяется от фундамента, так как действие подливки прекращается, а масло, впитываясь в фундамент, начинает разрушать и его.

Верхняя поверхность фундамента, на которую должна стать рама, не должна гладко зацементировываться, а должна быть по возможности шероховатее, так как тогда соединение фундамента с рамой посредством заливки происходит прочнее; если эта поверхность гладко зацементирована, то на ней до установки рамы необходимо устроить насечки. Кроме того, верхняя поверхность фундамента должна быть очищена и по возможности выровнена под горизонтальную плоскость. Перед постановкой рамы (плиты) на фундамент на последний кладутся железные подкладки шириной 70 — 75 мм таким образом, чтобы каждая втулка для фундаментного болта опиралась на две прокладки во избежание перекоса рамы; эти подкладки, с одной стороны, служат для создания некоторого



Фиг. 48.

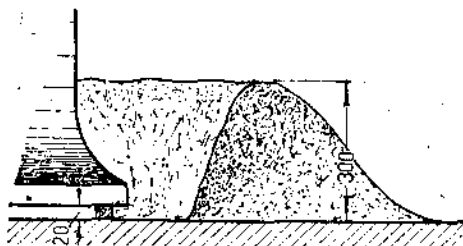
зазора, обычно в 10—20 мм, между верхней поверхностью фундамента и нижними плоскостями фундаментной плиты, которыми последняя соприкасается с фундаментом, а также для выверки при помощи этих подкладок горизонтального положения фундаментной плиты или рамы.

Постановка фундаментной рамы или плиты производится в небольших и средних двигателях посредством подачи ее на фундамент при помощи катков, что требует очень больших предосторожностей в целях избежания повреждения фундамента; при больших мощностях двигателей, а следовательно, и при большом весе рамы необходимо поднимать раму над фундаментом посредством временных талей или других подъемных приспособлений или мостового крапа, если таковой имеется.

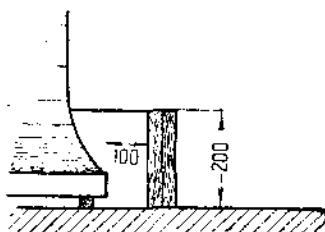
Подъем фундаментной рамы производится посредством заложения вместо вала бревна с закреплением крышками подшипников и укреплением канатов или цепей, при помощи которых рама поднимается за выступающие концы бревна. Затем в подшипники временно укладывают коренной вал, чтобы придать ей больший вес, и производят проверку и заливку рамы с валом во избежание осадки ее в случае укладки вала после заливки. После того как рама уложена на фундамент, приступают к самой ответственной и кропотливой работе — проверке гори-

горизонтальности ее верхней плоскости, что достигается выверкой горизонтальности четырех направлений *a-a*, *b-b*, *c-c* и *d-d* (фиг. 48).

Сначала производят промер горизонтальности одного продольного направления, для чего на хорошо очищенную поверхность рамы кладут большую точную линейку, а на нее уровень, причем по каждому направлению производят промеры в различных положениях линейки, меняя положения ее ребер и концов; точно так же и уровень ставят на рейку поочередно то в одном направлении, то в противоположном, проходя таким образом всю линейку по длине и принимая во внимание средний арифметический результат; при прикладывании уровня к линейке полезно водить им вдоль линейки взад и вперед для того, чтобы растереть те мелкие части сора, которые могут попасть на ребро линейки. Для проверки правильности прилегания линейки к поверхности рамы прибегают к качанию ее из стороны в сторону и по этим качаниям выясняют, прилегает ли она серединой или каким-нибудь одним концом: для выяснения зазора между нижним ребром линейки и поверхностью рамы применяют тонкие щупы или бумагу.



Фиг. 49.



Фиг. 50.

Результаты этих наблюдений за данным направлением рамы отмечают на ней мелом и приступают к выравниванию рамы, которое сводится к следующему. На основании сделанных пометок приподнимают раму, пользуясь ломом как рычагом, и в соответственных местах под фундаментную раму кладут подкладки из тонкой жести, затем опускают раму и производят снова вышеуказанные промеры и таким образом поступают до тех пор, пока не будет полной уверенности в горизонтальности данного направления рамы.

Затем таким же образом выверяют второе продольное направление и оба поперечные направления рамы, пока, наконец, не получат практически горизонтального положения рамы.

После окончательной выверки горизонтальности фундаментной рамы или плиты производят сначала заливку фундаментных болтов, а затем подливку самой рамы.

Перед подливкой плиты необходимо присоединить к отверстию для спуска масла, имеющемуся в фундаментной плите, газовую трубу соответствующего диаметра и вывести его за внешние очертания фундамента.

Подливка фундаментной рамы или плиты производится следующим образом.

Кругом рамы устраивают глиняный валик или деревянную раму высотой 200 — 250 мм на расстоянии 80—100 мм от края фундаментной рамы (фиг. 49 и 50), смачивают водой все соприкасающиеся части и

заливают жидким цементным раствором (состав 1 : 1), причем при заливке рамы небольших двигателей заливка производится в трех местах, а у больших двигателей — в шести местах одновременно и до тех пор, пока уровень цементного раствора не будет на 20—25 мм выше нижней кромки рамы. Через несколько дней, когда цементный раствор затвердеет, снимают валик или раму, закрепляют окончательно гайки фундаментных болтов и еще раз проверяют положение рамы по уровню, однако никаких работ до окончательного затвердения заливки производить не следует, чтобы не потревожить рамы. Время, необходимое для затвердевания заливки, используют для различных работ, вне фундамента двигателя, как-то: установка водяного напорного бака, нефтяных и масляных баков и фильтров и пр.

6. Установка выносного подшипника.

При предварительном укладывании коренного вала во время установки, выверки и подливки фундаментной плиты выносной подшипник устанавливается лишь приблизительно и установка плиты производится вне зависимости от положения выносного подшипника; окончательная установка последнего с подливкой цементным раствором его плиты производится после того, как подливка фундаментной плиты окончательно затвердеет и приступают к монтажу вала, одновременно с которым производят и установку выносного подшипника.

Правильное положение выносного подшипника по отношению к остальным коренным подшипникам устанавливается при помощи ватерпаса, щупов, которыми определяется зазор между валом и баббитовой заливкой вкладыша и краски, которая указывает равномерность прилегания баббита к валу. Высота оси выносного подшипника устанавливается посредством жестяных подкладок; совпадения оси подшипника с осевой линией остальных коренных подшипников проверяются стальной проволокой, протянутой через осевую линию последних.

Подобным же образом производится установка подшипников для фрикционной муфты и шкива, если таковые имеются.

7. Монтаж коленчатого вала.

Работы по монтажу коленчатого вала имеют целью придание валу строго горизонтального положения и достижение такого его положения, при котором все шейки вала лежали бы на вкладышах коренных подшипников, что является чрезвычайно важным условием, несоблюдение которого и является большей частью причиной поломок валов. В соответствии с этим работа по монтажу коленчатого вала сводится, главным образом, к пришабриванию нижних вкладышей коренных подшипников.

Не говоря уже о том, что в случае установки старого двигателя на новом месте желательно произвести проверку коренного вала на станке, но и при установке нового двигателя такая проверка не бесполезна, в особенности, если вал внушает хотя бы малейшее подозрение в отношении расположения на одной оси всех шеек коренных подшипников и их цилиндричности.

После проверки вала на станке можно с достаточной уверенностью в его правильности приступить к шабрению нижних вкладышей подшипников.

Около установленной фундаментной плиты устраивают солидные низкие деревянные козлы, на которых вал укладывается шейками коренных подшипников, причем ввиду значительного веса вала на прочность и устойчивость козел необходимо обращать должное внимание. Шейки коренных подшипников промывают керосином и очищают наждачной бумагой, после чего приступают к шабрению нижних вкладышей коренных подшипников, которое производится трехгранным шабером. Вкладыши коренных подшипников должны быть залиты высокосортным баббитом с содержанием олова в 83 % (марка — 1); такой баббит шабрить сравнительно нетрудно. Если производилась заливка вкладышей баббитом (при установке старого двигателя или при ремонте), то сначала производят прочеканку молотком баббита для уплотнения его, чтобы таковой не давал усадки в первое время работы двигателя; затем их начерно пришабривают, накладывая на шейки вала смазанные краской (обычно синей) еще в то время, когда вал лежит на деревянных козлах, и поворачивая; если на концах округления вкладыша баббит касается вала, то его необходимо снять в этих местах. Эта предварительная шабровка ведется до тех пор, пока краска грубо располагается по всей поверхности вкладыша, а при установке новых двигателей может вовсе не производиться, так как вкладыши такого двигателя пришаброваны на заводе и на месте установки желательна лишь проверка вкладышей по краске.



Фиг. 51.

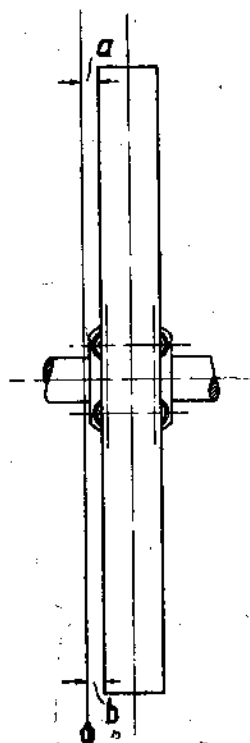
После указанной предварительной шабровки нижние вкладыши ставят на их места в фундаментной плите и, намазав шейки вала краской, опускают его на вкладыши, первый раз особо осторожно и медленно; затем, подняв вал, производят шабровку тех мест вкладышей, которые окрасились или обмялись, что свидетельствует о том, что эти места вкладышей несколько выше остальных. После нескольких подобных опусканий и поднятий вала, когда краска располагается на вкладышах более или менее равномерно и большими группами пятен, пробуют повернуть вал — от этого скорее пойдет дальнейшая работа, так как при поворачивании вала окраска вкладышей происходит лучше, чем облегчается и ускоряется работа. Вал поворачивают на один оборот в одну сторону и на один в обратную, затем поднимают его, производят пришабривание мест вкладышей, указанных краской, снова намазывают вал краской, опускают его на вкладыши и поворачивают и т. д. до тех пор, пока не получится равномерное расположение пятен краски.

Поворачивают вал специально устраиваемыми хомутами (фиг. 51), который на прокладках из наждачной бумаги одевают на шейку вала для маховика, а в качестве рычага надевают на его конец железную трубу длиной 1,5 — 2 м.

После того как добились возможности поворачивать вал, производят проверку горизонтальности его по ватерпасу, имеющему внизу по длине треугольный вырез, чтобы он лучше укладывался на цилиндрической поверхности всех шеек вала, на которых производятся промеры, и по показаниям ватерпаса продолжают дальнейшую шабровку. Как

выше было указано, выносной подшипник устанавливается до монтажа вала, а поэтому одновременно с шабровкой вкладышей коренных подшипников производится шабровка вкладышей выносного подшипника, что необходимо из тех соображений, чтобы свободный конец вала не провисивался.

По мере приближения шабровки к концу шейки вала смазывают краской все меньше, так как тогда не происходит размазывания краски по вкладышу и окрашенные места определяются более ясно; в тех местах вкладышей, где вал особенно сильно надавливает на баббит, окраска не получается вовсе, а на некоторых получается вид блестящего стертого металла—это так называемые крепкие места, которые, очевидно, необходимо шабрить наиболее интенсивно. Шабровка каждого окрашенного места после каждого подъема вала обычно производится четыре раза поочередно в одном и в противоположном направлениях.



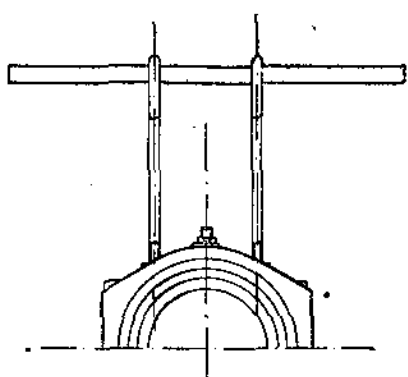
Фиг. 52.

При коротких валах горизонтальность вала во время ремонта двигателя, при подъеме вала вместе с маховиком кроме проверки ватерпасом может быть произведена по маховику; для этого на расстоянии 15—20 мм от маховика у самого вала опускают отвес (фиг. 52) и измеряют расстояние a , затем поворачивают вал на пол-оборота и измеряют расстояние b , если $a = b$, то вал горизонтален. Пришабривание вкладышей выносного подшипника производится приемами, аналогичными вышеописанным, сначала произведя предварительную шабровку, накладывая вкладыш на вал (в случае заливки вкладышей), а затем устанавливают вкладыш на его место в подшипнике и производят шабровку, накладывая и поворачивая вал совместно с шабровкой вкладышей коренных подшипников.

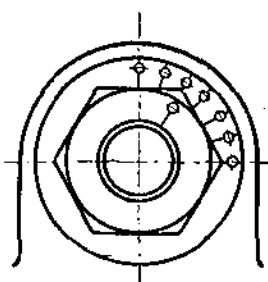
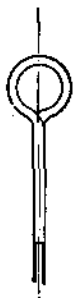
Шабровка вкладышей крышек коренных подшипников в основном производится так же, как и нижних вкладышей, но является работой менее ответственной. Сначала

производят предварительную шабровку вкладышей крышек по намазаным краской шейкам вала, расположенного на деревянных козлах, а затем, смазав шейки вала, укладывают его в подшипники фундаментной рамы и устанавливают и закрепляют одну или две крышки, причем крепление крышек производится гаечным ключом от руки, но довольно сильно, чтобы вал можно было поворачивать с трудом. Повернув вал примерно по одному обороту в каждую сторону, крышку снимают и начинают шабрить вкладыш обычным порядком по окрашенным и крепким местам и снимают торцевые края. Если после нескольких шабровок вкладыш совсем не принимает на себя краски, то это означает, что бока вкладыша упираются и не касаются вала; тогда необходимо спилить бок пилой примерно на 0,3 мм, после чего краска опять будет брать.

При этих работах с крышками необходимо осторожно и умело закреплять их болтами; крепление гаек должно производиться по диагоналям, т. е. после крепления одной какой-нибудь гайки, крепить диагональную и т. д., причем крепление должно быть произведено постепенно за несколько раз; эти предосторожности в креплении крышек гайками необходимы для того, чтобы окраска вкладышей происходила равномерно. Крышки коренных подшипников малых и средних двигателей поднимают и опускают два рабочих, более крупных же двигателей при помощи крана или тали; крышки имеют нарезные углубления, в которые ввинчиваются так называемые штопоры с проушинами (фиг. 53), через которые продевается труба или лом, благодаря чему подъем и опускание их значительно облегчаются.



Фиг. 53.



Фиг. 54.

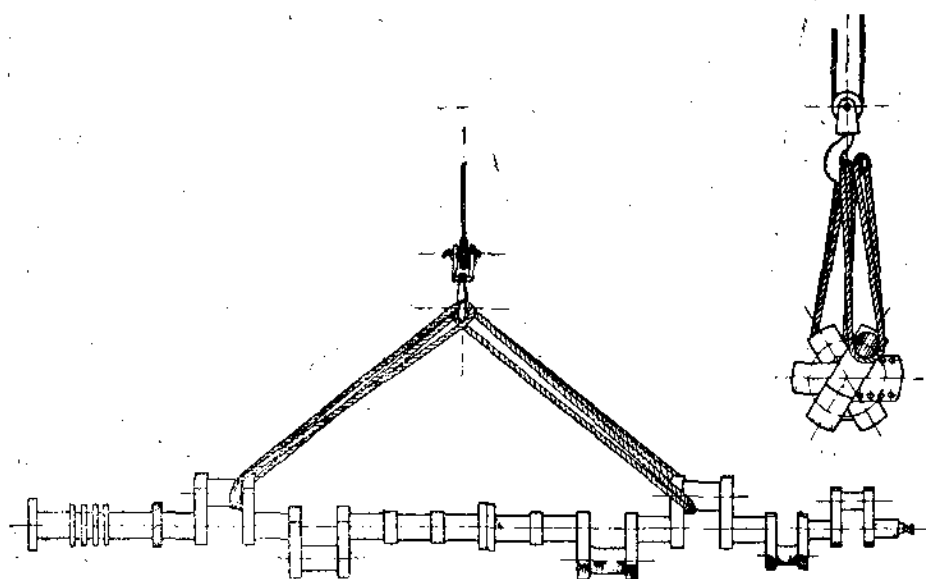
После прищабровки вкладышей крышек необходимо создать между последним и поверхностью вала необходимый зазор приблизительно 0,15—0,20 мм.

Для достижения этого зазора применяют различные способы, из которых наиболее правильными надо считать следующие:

1. После того как добились хорошего окрашивания вкладышей, между плоскостями лежания вкладышей кладут несколько листов бумаги или фольги толщиной 0,15 мм, количество которых определяется тем условием, чтобы хорошо подтянутая гайками крышка не препятствовала свободному вращению вала, но чтобы при снятии одного листа бумаги вал начинал вращаться туго; бумага вырезается по фигуре вкладыша. Тогда, так как в начале работы машины баббит довольно легко обжимается, то после этого обжима можно вынуть один лист бумаги, и вкладыш будет опять лежать правильно.

2. Второй способ нормировки зазора, применяемый лишь в том случае, когда конструкцией подшипников между вкладышами предусмотрены металлические прокладки, состоит в том, что после получения хорошего окрашивания вычерчивают вокруг гайки дугу некоторой окружности (фиг. 54), по которой определяют путем зарубок на гайках положение последних при: 1) затяжке гаек без прокладок до положения, при котором вал застопоривается, 2) при отвинченных гайках до принятой нормы зазора и 3) при уложенных подкладках и затянутых крышках до застопоривания вала.

Переход от первого положения к второму, т. е. к тому положению, при котором получается необходимый зазор, достигается постепенно отдачей гаек и определяется по вращаемости вала; получают то положение, на котором должны находиться крышки с прокладками после нормировки зазора. Следовательно, для достижения этого положения после того как будут положены подкладки, надо положить таковые, заметить зарубкой положение гайки при полной затяжке гаек и затем спилить прокладки на такую высоту, на какую переместилась гайка в третьем положении по сравнению со вторым. Эту высоту можно подсчитать, зная шаг винтовой нарезки болтов коренных подшипников.



Фиг. 55.

3. Третий способ заключается в том, что на шейку вала кладут тонкую свинцовую проволоку диаметром 0,5—1,0 мм, устанавливают и сильно прижимают гайками крышку; проволока сплющивается, и по ее толщине после снятия крышки судят о величине зазора и определяют места необходимой шайбровки или же опилования.

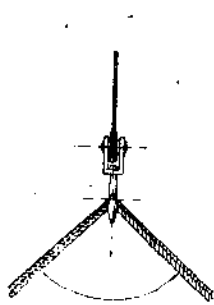
Крышки подшипников должны быть пришабрены и затянуты таким образом, чтобы смазанный вал свободно поворачивался.

Шайбровка вкладышей коренных подшипников сопровождается весьма многократными подъемами и опусканием вала, во время которых необходимо следить за тем, чтобы не поцарапать и не повредить вал о фундаментную плиту.

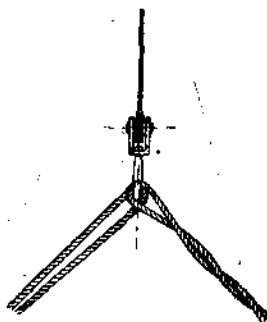
Вал должен быть захвачен канатом таким образом, чтобы он висел горизонтально, а не наклонно; вал захватывается канатом за две кривошипные шейки, как показано на фиг. 55, по возможности таким образом, чтобы при захвате каната краном крюк его приходился против центра тяжести, что довольно хорошо удается сделать на-глаз при некоторой опытности.

На фиг. 56 показан неправильный способ захвата каната крюком, когда таковой просто переброшен через крюк; при передвижении вала канат может переместиться и вал может неожиданно наклониться, если крюк пришелся не совсем против центра тяжести вала; этот способ зато дает возможность легко произвести поправку положения вала путем перемещения места перегиба каната, но из вышеприведенных соображений им можно пользоваться лишь при небольших сравнительно легких валах, которые в крайнем случае могут быть удержаны в равновесии силой рабочих.

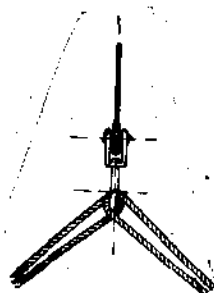
Поправку положения вала, для достижения его горизонтальности можно произвести посредством закручивания одной из петель, как показано на фиг. 57, вследствие чего она укорачивается, или же изменяя порядок надевания петель на крюк, как показано на фиг. 58.



Фиг. 56.



Фиг. 57.



Фиг. 58.

Наконец, надо стараться, чтобы длина каната с обеих сторон крюка была одинакова, так как при различных длинах каната с обеих сторон крюка более длинный канат может больше вытянуться и создать перекося вала.

После окончания шабровки нижних вкладышей коренных подшипников и вкладышей крышек производят шабровку нижних головок шатунов по шейкам вала, и для окончания работ с коренным валом остается лишь вымыть вал, смазать его, надеть противовесы и смазочные центробежные кольца. Вынув вал из вкладышей и установив его на козла, щеки вала очищают от приставших твердых частей грязи наждачным полотном или шабером, а шейки и вкладыши керосином и тряпками; каналы для смазки, имеющиеся в вале, прочищают струей керосина из большого шприца. Затем нижние вкладыши обильно поливают машинным маслом, опускают на них вал и, смазав вкладыши крышек, последними закрывают шейки коренных подшипников и закрепляют гайки. После этого еще проверяют вал на хорошее вращение, наблюдая, насколько он поворачивается по инерции с размаху; при хорошем вращении во вкладышах вал должен поворачиваться по инерции на $1\frac{1}{2}$ оборота.

В это же время укрепляют противовесы, завинчивая гайки как можно туже при помощи трубы, надетой на гаечный ключ, и привинчивают кольцо центробежной смазки вкладыша кривошипного подшипника, если конструкция двигателя не предусматривает смазку его под давлением.

8. Монтаж маховика.

Ступица маховика пригоняется к валу по краске на заводе, так же как и шпоночные канавки на валу и на втулке и опорные плоскости шпонки; при этом торцы обеих половин ступицы не должны касаться друг друга, а должны иметь очень небольшой зазор в несколько десятых миллиметра, который исчезает при затягивании ступицы болтами; точно так же небольшой зазор должен быть между торцами обода маховика, которые исчезают при стягивании обеих половин маховика клиньями.

Поэтому работы по монтажу маховика на месте установки двигателя сводятся к следующим простым операциям, которые все же требуют сугубого внимания и осторожности ввиду значительного веса маховика и возможности оцарапать шейки вала в месте посадки маховика. Перед установкой маховика необходимо тщательно очистить и протереть керосином внутренние поверхности его ступицы и ту часть вала, на которой он должен быть посажен. Одну половину маховика опускают в его яму еще до окончательной укладки колёчатого вала, положив на дне ямы толстые доски. При монтаже маховика эту половину осторожно поднимают краном до соприкосновения ее ступицы с валом или же подбивая под нее большие деревянные клинья и укрепляя на подпорках; затем опускают на вал сверху вторую половину маховика, закрепляют предварительно ступицу болтами, вставляют в обод клинья и забивают их свинцовой кувалдой, после чего проверяют, не бьет ли маховик в стороны, и когда удостоверятся, что он не бьет и что выемки для шпонок в ступице на валу стоят правильно, окончательно закрепляют болты ступицы, ударяя по ключу молотком, после чего уже забивают шпонки.

В двигателях с большими маховиками, а следовательно, и большими болтами закрепить болты вручную весьма трудно, а потому в этих случаях иногда устанавливают болты в горячем состоянии; для этого перед окончательным закреплением болтов поочередно отвинчивают каждый из них, нагревают их докрасна и, вставив в ступицу, закрепляют; при остывании болты очень сильно стянут ступицу; этот способ закрепления болтов особенно нельзя рекомендовать, так как в болтах могут создаваться большие напряжения, могущие превзойти допустимые пределы.

В некоторых конструкциях ступица стягивается кольцами, которые насаживаются также в горячем состоянии. Кольцо должно быть одето до забивания шпонки.

Проверка правильности посадки маховика производится следующим образом. На небольшом расстоянии от обода маховика опускают отвес и измеряют расстояние от какой-либо точки обода до проволоки отвеса и затем, поворачивая маховик на 180° , снова измеряют это расстояние, и если оно равно предыдущему, то маховик установлен правильно; эту проверку можно произвести также, установив неподвижно у обода маховика рисмус и поворачивая маховик, тогда острие рисмуса укажет отклонения маховика.

Если маховик бьет, то необходимо принять меры к устранению этого явления, которое обычно бывает следствием неправильно забитой шпонки (перекоса), неправильно закрепленных болтов или неправильно забитых клиньев, скрепляющих обод маховика. Незначительные неправильности положения маховика иногда удается устранить ударами

молотка по спицам или же свинцовой кувалдой по ободу; после установления правильного положения маховика окончательно закрепляют болты ступицы. Иногда производится обточка маховика при работе двигателя.

9. Монтаж станин и рабочих цилиндров; выверка положения станины и цилиндров по коленчатому валу. Монтаж коробчатой станины.

Коробчатая станина имеет нижние и верхние горизонтальные простроганные плоскости, которые перед установкой станины должны быть очищены так же как и верхние плоскости фундаментной плиты. Очистка сводится к соскабливанию сначала шабером, а затем пилой приставшей грязи, заусениц и пр., после чего плоскости моют керосином и вытирают насухо тряпкой.

Затем станину поднимают краном или талью и осторожно опускают на фундаментную плиту, причем необходимо наблюдать за тем, чтобы станина не задела фундаментных болтов, для чего ее полезно слегка качать при опускании на плиту, а перед установкой проверить отверстия для фундаментных болтов в нижнем фланце станины, каковые должны быть на 10—20% больше диаметра болтов.

Пригонять станину к опорным поверхностям фундаментной рамы по краске нет надобности, так как таковая производится при первоначальной сборке двигателя на заводе.

Затем закрепляют станину гайками и приступают к установке цилиндров на коробчатую станину, при которой должны быть соблюдены следующие условия расположения каждого цилиндра по отношению к вертикали и к оси коренного вала ось втулки (гильзы) цилиндра а) должна быть строго вертикальной, б) должна находиться в одной вертикальной плоскости с осью вала, т. е. должна пересекать последнюю, и в) должна проходить через середину кривошипной шейки.

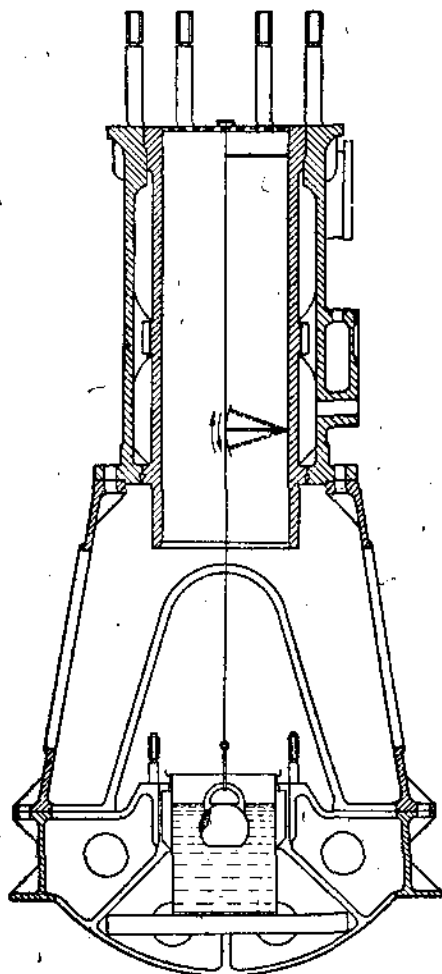
Постановка цилиндра на станину производится краном или талью, захватив канатом за две противоположные шпильки для цилиндровой крышки с навернутыми гайками, чтобы канат не соскользнул, причем опускание цилиндра на станину надо производить с особой осторожностью, чтобы не повредить шпильки; в целях легкого прохождения шпилек через отверстия фланца цилиндра и возможности правильной установки цилиндра по отношению к оси вала необходимо, чтобы диаметр отверстий был на 15—20% больше диаметра шпилек.

При сборке новой машины на месте установки это условие бывает обычно соблюдено на заводе, при установке же нового цилиндра на уже работавшей машине на это надо обратить внимание и, если отверстия малы, необходимо их соответственно развернуть.

Проверка вертикальности геометрической оси втулки цилиндра производится при помощи отвеса следующим образом. В верхней части втулки цилиндра укрепляется железная перекладина сечением 20—25 × 10—15 мм со скошенными на конус концами, которые благодаря этому легко можно вбить во втулку (фиг. 59), посредине перекладины имеется отверстие диаметром 8—10 мм, над которым расположена небольшая скобка, за которую и прикрепляется прочная стальная проволока, которая, проходя через отверстие в перекладине, не касается последней, что необходимо для правильного направления отвеса (см. фиг. 59).

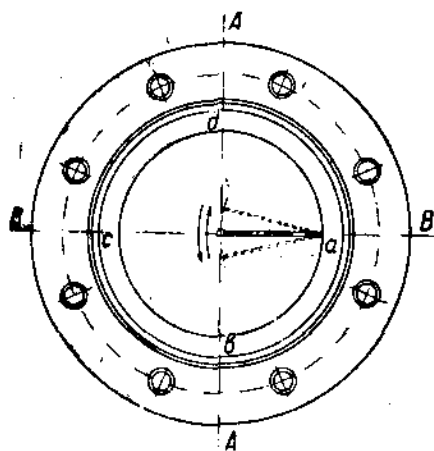
К нижнему концу проволоки прикрепляется гиля весом 5—10 кг, которая опускается в подставляемое под цилиндром ведро, наполненное старым маслом, служащим глушителем колебаний гири.

Скобка, к которой прикрепляется верхняя часть проволоки, должна лежать свободно на перекладине и лучше всего может быть сделана из разрезанной по оси небольшой части дюймовой газовой трубы в виде



Фиг. 59.

полукруглой дужки шириной 20—25 мм; в последней просверливают несколько отверстий диаметром 0,5—1 мм, одно из которых должно быть приблизительно центральным; в центральное отверстие снизу пропускают проволоку и укрепляют ее конец путем пропуска его через другие отверстия. Очевидно, что при полной вертикальности геометрической оси цилиндра расстояние от проволоки отвеса до любой точки внутренней поверхности втулки цилиндра должно быть одно и то же. В промере этих расстояний и заключается определение вертикальности геометрической оси цилиндра, причем этот промер про-



Фиг. 60.

изводится посредством стержневого шаблона, изготовляемого из проволоки диаметром около 5 мм, первоначальная длина которого должна быть близка разности между радиусом цилиндра и радиусом проволоки отвеса.

Далее, для придания проволоке отвеса центрального положения в верхней части цилиндра, т. е. для того, чтобы она проходила через геометрическую ось цилиндра, поступают следующим образом. В верхней части цилиндра выбирают четыре диаметрально расположенные точки *a*, *b*, *c* и *d* (фиг. 60), ставят шаблон на одну из точек, например *a*, и начи-

нают его качать около этой точки как около центра, сначала держа шаблон под некоторым углом к горизонтали, а затем по возможности в горизонтальной плоскости, причем в этом последнем положении будут замечаться наибольшие задевания шаблона о проволоку, которые прощупываются другой рукой, которую держат так, что проволока проходит между двумя пальцами, слегка лишь касаясь их. Такое же измерение производят, устанавливая шаблон в точках *b*, *c* и *d*, стараясь путем передвижения скобки на перекладине добиться одинакового касания шаблона к проволоке во всех точках. Описанные измерения надо производить при возможно меньшем задеваний шаблона о проволоку отвеса.

После того как в верхней части цилиндра путем вышеописанных измерений получен удовлетворительный результат, аналогичные измерения производят в нижней части цилиндра, выбрав на его поверхности подобные же четыре точки, причем один из производящих измерения качает шаблон вниз, в то время как другой остается наверху для прощупывания задеваний шаблона за проволоку; если в нижней части цилиндра измерения шаблоном дадут такой же результат, как в верхней части, то можно быть уверенным, что цилиндр стоит правильно и геометрическая ось его вертикальна.

Неправильное расположение цилиндра относительно вертикали легко определяется при вышеописанных промерах тем, что с той или другой стороны шаблон не достает до проволоки; для определения величины отклонения оси цилиндра от вертикали, в этом случае, с той стороны, с которой шаблон не достал до проволоки, подкладывается один или несколько листов бумаги и производятся опять аналогичные промеры; бумаги подкладывается столько, чтобы было достигнуто требуемое равномерное задевание шаблона о проволоку. Толщина бумаги указывает, насколько необходимо опилить и сшабрить противоположную часть поверхности фланца цилиндра. Кроме этого способа определения места и требующейся величины спиливания и сшабривания пользуются для определения плотности прилегания фланца цилиндра к станине щупом и наконец краской. По этим трем определениям производят отметки мелом, снимают цилиндр со станины и приступают к спиливанию лишнего металла и шабрению; спиливание производится по той части окружности фланца, на которую дали указание промеры,—очень осторожно, а затем производят шабрение этой поверхности. Для проверки правильности плоскости фланцев пользуются также небольшой линейкой, кладя которую ребром на поверхность фланца смотрят на свет, насколько плотно она прилегает к этой поверхности.

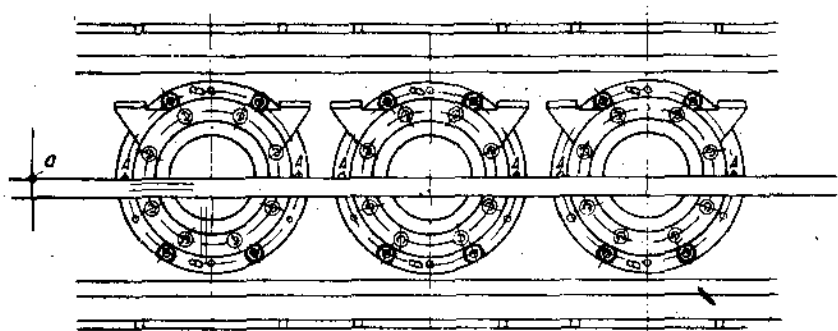
После такого опиливания и шабрения снова устанавливают цилиндр на станину и вышеописанными способами проверяют правильность опиливания и шабрения. Работа по промерам вертикальности оси цилиндра и опиливания его фланца относится к весьма ответственным и трудным работам, а потому должна производиться с особой тщательностью и терпением.

Далее, необходимо установить цилиндр таким образом, чтобы ось втулки цилиндра находилась в одной вертикальной плоскости с осью вала, т. е. чтобы она пересекала последнюю, для этого необходимо, чтобы ось коленчатого вала находилась в плоскости *A—A* каждого цилиндра (см. фиг. 61) и чтобы эти плоскости для всех цилиндров были расположены в одной плоскости. И, наконец, третье условие, которому

должен удовлетворять каждый цилиндр двигателя после установки — это чтобы плоскость, проходящая через диаметр, перпендикулярный коленчатому валу, т. е. плоскость $B-B$ (фиг. 61), проходила через середину кривошипной шейки.

Для проверки наличия последних двух условий поступают следующим образом.

Так как направления $A-A$ и $B-B$ обозначены рисками на верхних фланцах цилиндров, то на последних укладывают длинную рейку (фиг. 61) и добиваются такого положения, чтобы кромка рейки проходила через риски $A-A$ всех цилиндров и чтобы отвесы, опущенные с двух концов линейки (точка a на фиг. 61), проходили через геометрическую ось вала. Последнее положение можно легко проверить, если отвесы можно опустить у обоих торцов вала, так как таковые центрированы, если же это невозможно, то, выбрав две щеки вала, ближайшие к торцам его, размечают на них центры вала следующим образом: покрывают щеки мелом, устанавливают неподвижный рейсмус таким образом, чтобы острое его могло



Фиг. 61.

описывать на щеке недалеко от центра вала окружность небольшого радиуса и, вращая вал, получают на щеке эту окружность, центр которой и будет центром вала, по которому не трудно произвести вышеуказанный промер. Для того чтобы установить цилиндры таким образом, чтобы при помощи этих промеров плоскость, проходящая через оси цилиндров, совпадала с осью вала, пользуются тем обстоятельством, что отверстия для шпилек, соединяющих цилиндры со станиной и станину с фундаментной плитой, как выше было указано, всегда должны быть несколько больше диаметра шпилек; за счет этих зазоров можно несколько передвинуть станину, закрепив гайками цилиндры и отпустив гайки станины или же, смотря по надобности, передвинуть цилиндры, отпустив гайки шпилек, соединяющих их со станиной, закрепив гайки, соединяющие последнюю с фундаментной плитой; передвижение цилиндров или станины производится осторожными ударами свинцовой кувалдой. Наконец, для проверки прохождения оси втулки цилиндра через середину кривошипной шейки поступают следующим образом. По осям цилиндров опускают отвесы, пользуясь железной перекладной и скобкой, которые были описаны для фиг. 60, с небольшими грузиками, доходящими до кривошипных щеek; между буртиками последних вбивают железную планку a , точно по середине которой наносят риски, по которым и судят,

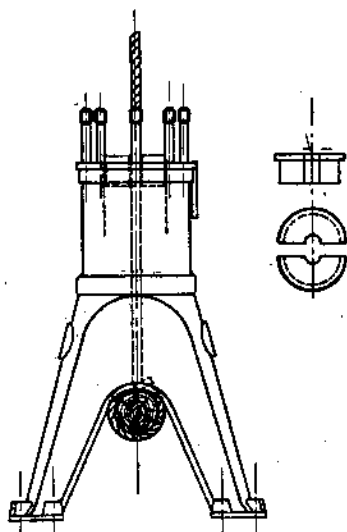
насколько правильно располагается над ними острие груза отвеса. В случае отклонения острия отвеса от этих рисок в ту или другую сторону ударами кувалды передвигают цилиндры до необходимого совпадения риски с острием отвеса.

Проверку совпадения осей цилиндров с осью коленчатого вала и прохождения осей цилиндров через середину кривошипной шейки необходимо производить одновременно.

После описанных проверок ставятся контрольные шпильки и плотно закрепляются гайки шпилек станины и цилиндров.

Установка так называемых А-образных станин и все приемы проверки совершенно аналогичны с приемами, применяемыми при установке коробчатых станин с той только разницей, что в этом случае вместо фланца цилиндра припиливают и пришабровывают опорные поверхности лап станин и фундаментной плиты. С особой осторожностью надо относиться к подъему А-образных станин, вследствие их неустойчивости. На фиг. 62 показан способ подъема краном А-образной станины, который состоит в том, что между лапами станины закладывается толстое бревно, к которому привязывается канат, пропускаемый через цилиндр к крюку крана; для того чтобы станина при подъеме не качалась, в верхней части цилиндра вбиваются деревянные полуокружности с отверстием посередине, через которое и пропускается канат.

После установки цилиндров производится установка и сборка площадки для обслуживания двигателя и лестницы к ней.



Фиг. 62.

10. Монтаж шатунов и поршней.

При сборке нового двигателя монтаж шатунов и поршней очень прост, так как при предварительной сборке на заводе все необходимые проверки уже сделаны. В этом случае проверяют лишь зазор между поршневым пальцем и вкладышем верхней головки шатуна, который должен равняться приблизительно 0,1 мм, так как при работе двигателя поршневой палец расширяется от нагревания и недостаточный зазор может повлечь заедание пальца. Поршень и канавки для колец должны быть промыты керосином; необходимо удостовериться в том, что поршневые кольца легко входят в канавки, а также проверить зазоры в стыке колец при вставлении их в цилиндр, которые для нижнего кольца должны быть равны приблизительно 1 мм, а для верхнего пальца — приблизительно 2 мм. Поршень в собранном с шатуном виде вставляют сверху в цилиндр, осторожно опускают верхний вкладыш мотылевого подшипника шатуна на шейку вала и надевают нижнюю часть мотылевого подшипника шатуна. Перед вставлением поршня в цилиндр как поршень с кольцами, так и цилиндр должны быть хорошо смазаны.

В случае же установки на новом месте уже работавшего двигателя, которому предварительно производится ремонт или при замене шатуна (например после аварии) или поршня, необходимо произвести некоторую проверку и промеры, чтобы убедиться в том, что шатун и поршень отвечают всем предъявляемым к ним требованиям.

Последние в отношении шатуна обычной конструкции заключаются в следующем: а) оси мотылевого (нижнего) и головного (верхнего) подшипников должны быть параллельны друг другу и перпендикулярны к плоскости, проходящей через долевую риску, всегда обозначаемую на заводе, б) расстояние между осями мотылевого и головного подшипника должно точно равняться расчетной заводской длине шатуна, в) вкладыши обоих подшипников должны быть хорошо пришаброваны к мотылевой шейке вала и к пальцу поршня, г) у вкладышей подшипников должны быть соответственно сшаброваны и спилены торцевые округления и самые торцы должны быть спилены настолько, чтобы зазоры у них с обеих сторон вместе не превышали 0,5 мм.

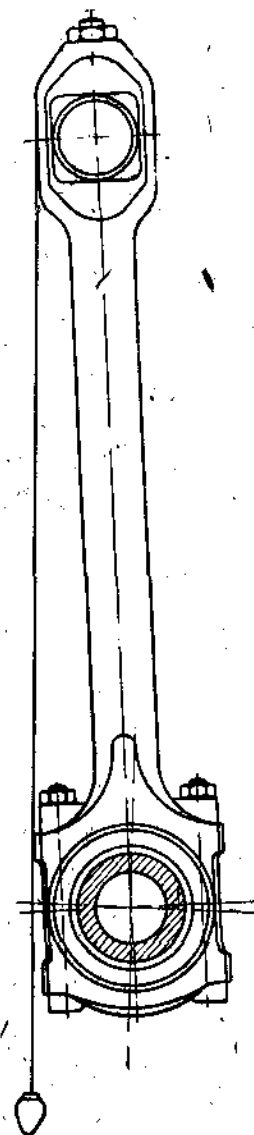
Прежде всего производят шабрение вкладышей мотылевого подшипника и проверку правильности, а в случае обнаружения неправильностей — устранение неточностей мотылевых шеек вала. Пришабривание мотылевой головки шатуна по мотылевым шейкам вала производится следующим образом.

Промыв керосином и очистив наждачной бумагой мотылевую шейку вала и смазав ее краской пришабривают вкладыши отдельно от шатуна, сшабривают и опиливают торцевые округления и торцы.

После такого предварительного пришабривания на смазанной краской мотылевой шейке собирают шатун, и мотылевый подшипник стягивают болтами до такой степени, чтобы его можно было вращать с некоторым затруднением; при этом необходимо соблюдать особую предосторожность, чтобы шатун не упал. После получения надлежащих результатов шабрения производят проверку перпендикулярности осей головного и мотылевого подшипников к долевой плоскости, отмечаемой заводом риской, которой и ориентируются при

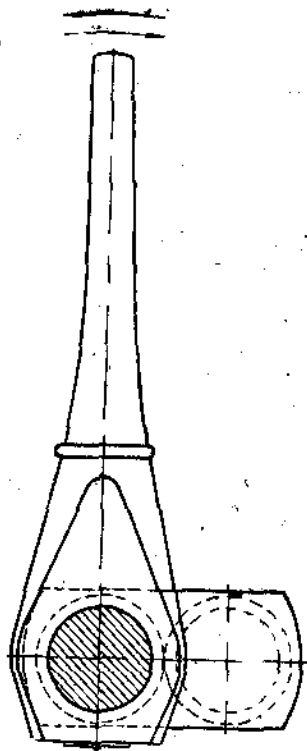
данной проверке! Для этого наклоняют немного шатун на себя и через головной подшипник опускают отвес из стальной тонкой проволоки (диаметром 0,2 мм) и груза, таким образом, чтобы вверху проволока проходила через риску, а внизу — возможно ближе к нижней головке шатуна, но не касаясь его (фиг. 63); тогда, став в долевой плоскости шатуна,

Фиг. 63.



смотрят, находится ли проволока против риски у нижней головки или нет. Это наблюдение производят в четырех положениях шатуна: в верхнем его положении, в нижнем и в двух средних при горизонтальных положениях щеки кривошипа с одной и с другой стороны. Обнаруженная таким образом косина выправляется шабрением вкладышей.

В новых двигателях параллельность оси мотылевой шейки и оси вала не может возбуждать сомнения, так как таковая проверяется при предварительной сборке на заводе, при установке же старых двигателей, уже работавших где-либо в другом месте, мотылевая шейка может не обладать этой параллельностью, или она может иметь какие-либо иные неточности, как, например, овальность шейки. Устранение неправильностей мотылевой шейки является работой весьма ответственной и наиболее надежно производится проверкой и легкой шлифовкой всех шеек на токарном станке, для чего вал приходится отправлять на завод, так как для такой проверки вала требуется большой токарный станок. Неправильность шейки обнаруживается различным отклонением шнура отвеса от плоскости долевой риски на шатуне при вышеуказанных четырех положениях. Эта проверка шнуром, вместе с применяемым довольно часто круглым уровнем, дает достаточно точные результаты проверки мотылевой шейки и выясняет ее неточности, устранение которых производится посредством опиливания, которое производится деревянным бруском, обернутым в крупнозернистую наждачную бумагу, а начисто деревянным хомутом с мелкозернистой наждачной бумагой, который показан на фиг. 64.

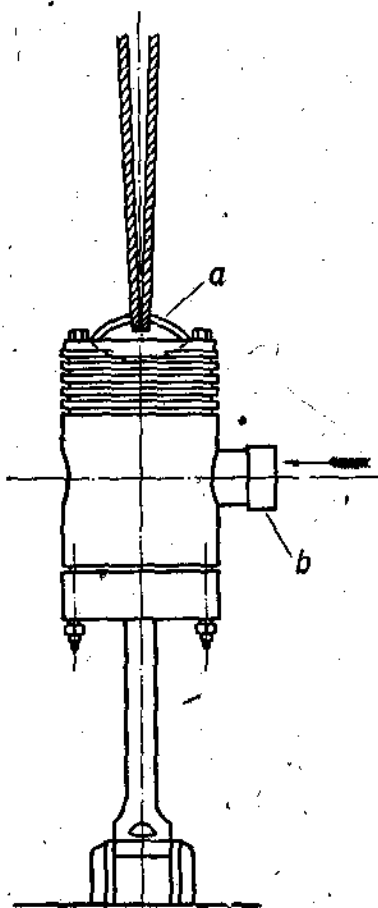


Фиг. 64.

После опиливания производится пришабривание вкладышей нижней головки шатуна по краске, причем краской намазывают вкладыши нижней головки и по показаниям краски производят дальнейшее опи-ливание до тех пор, пока не получатся необходимые результаты.

Для создания необходимого зазора между вкладышем нижней головки шатуна и мотылевой шейки под подкладку кладут несколько листов бумаги или медных листов толщиной 0,15 мм, чтобы после сильной затяжки болтов в вертикально поставленном шатуне едва прощупывалась качка нижнего подшипника; таковая определяется следующим образом: с каждой стороны мотылевого подшипника подводят лом, упирают конец его в фундаментную раму или какую-нибудь подставку и, действуя им, как рычагом, сообщают подшипнику несколько толчков; ощупывая во время толчков нижний подшипник шатуна, определяют величину зазора наощупь. Когда таким образом определится едва заметная качка, то прокладывают один слой бумаги в 0,15 мм и тем самым устанавливают необходимый зазор.

Головной (верхний) подшипник шатуна, так же как и мотылевый, проверяется и точно пригоняется в сборочной на заводе, а потому на месте установки не требует специальной проверки, если речь идет о новом двигателе. При установке старых двигателей или при замене шатуна и пальца у ранее установленного двигателя необходимо проверить шатун в отношении: а) параллельности оси поршневого пальца оси мотылевой шейки, б) правильности пришабровки вкладышей головного подшипника шатуна к поршневому пальцу. Проверка параллельности осей поршневого пальца и мотылевой шейки производится посредством промеров отвесом по рискам долевой плоскости шатуна таким же порядком, как и для мотылевого подшипника. Пришабривание производится предварительно отдельно к поршневому пальцу по краске; затем шатун ставят стоймя, надевают на него поршень (фиг. 65), вбивают палец во вкладыш и закрепляют стопорные винты пальца. В таком виде шатун с поршнем опускают в цилиндр и собирают мотылевый подшипник шатуна.



Фиг. 65.

Если дальнейшей проверки не требуется, то до опускания шатуна с поршнем, на последний надевают поршневые кольца, если же желательно еще проверить шатун, то его опускают в цилиндр без колец и производят следующие наблюдения: осмотром цилиндра устанавливают, к какой стороне цилиндра поршень больше прижимается, или же, ставя под поршнем лампу, определяют, с какой стороны поршня зазор больше, и на основании этого судят о той или иной косине поршня; указанные наблюдения лучше производить в четырех указанных положениях кривошипа. Монтаж поршня заключается, главным образом, в пригонке поршневых колец. Прежде всего необходимо проверить правильность высоты колец в отношении размеров канавок

для них на поршне; для этого вставляют кольца наружной окружностью в канавку на поршне и прокатывают кольца по окружности канавки; затем проверяют и, если окажется необходимость, опиляют зазор в стыках колец, который должен быть равен от $\frac{1}{250}$ до $\frac{1}{300}$ диаметра цилиндра, для чего каждое кольцо вдвигают в цилиндр и, установив правильно его в цилиндре, проверяют этот зазор специальным шаблоном.

Перед постановкой поршня на место его тщательно обмывают керосином, так же как и кольца и канавки для масла, смазывают поршень, канавки, а также и цилиндр цилиндрическим маслом и надевают поршневые

кольца. Для облегчения надевания поршневых колец пользуются металлическими пластинками, по которым проталкивают кольцо до его места; после этого пробуют от руки, хорошо ли пружинит каждое кольцо в своей канавке и не заедает ли какое-либо из них; в последнем случае или меняют кольца, переставляя их в разные канавки с расчетом найти более подходящую для данного кольца, или же, если это не помогает, производят опилование кольца и пришабривание его на плите по краске. Необходимо следить за тем, чтобы кольца при вставлении их в цилиндр не сломались и сломавшиеся кольца немедленно заменять, так как таковые могут повредить стенки цилиндра; кольца должны быть вставлены таким образом, чтобы зазоры замков не располагались друг над другом по одной вертикальной линии, а распределялись бы по всей окружности поршня. После всех вышеизложенных подготовительных работ поршень с шатуном осторожно опускают в цилиндр и закрепляют мотылевую головку шатуна.

11. Установка компрессии.

Для получения необходимого вполне определенного давления сжатия в цилиндре двигателя в верхней мертвой точке должно быть соблюдено указываемое заводом расстояние от верхней кромки цилиндровой втулки до горизонтальной кольцевой поверхности поршня в его верхнем положении; это расстояние, а следовательно, и длина шатуна, т. е. расстояние между осями поршневого пальца и мотылевой шейки, регулируется прокладкой, имеющейся в нижней или верхней головке шатуна. После вставления поршня с шатуном в цилиндр и укрепления нижней головки шатуна ставят поршень в крайнее верхнее положение и измеряют вышеуказанное расстояние, сравнивая его с соответствующим размером на заводском чертеже; в зависимости от результата измерения производят опилование и пришабривание прокладки, которая обычно имеет толщину 5—6 мм; в некоторых конструкциях имеется целый ряд очень тонких медных прокладок, соответствующим набором числа которых значительно легче установить требуемое расстояние, определяющее заданную заводом компрессию. Еще более удобно измерять указанное расстояние, которое обычно называют «высотой пространства сжатия» при помощи свинцового цилиндрика диаметром 25—30 мм, который при сборке двигателя кладется на горизонтальную кольцевую поверхность поршня, после чего устанавливается и закрепляется цилиндровая крышка; двигатель проворачивается через верхнюю мертвую точку и свинцовый цилиндрик сжимается до высоты пространства сжатия, т. е. определяет искомое расстояние. Применение последнего способа проверки величины компрессии особенно удобно в эксплуатационных условиях, когда требуется произвести такую проверку; в этом случае свинцовый цилиндрик можно заложить под цилиндровую крышку, между ней и поршнем, не снимая цилиндровой крышки, через отверстие одного из клапанов, вынув таковой из крышки. Обычно после установки двигателя и проверки правильности сжатия по индикаторной диаграмме, производят замер высоты пространства сжатия при помощи свинцового цилиндрика и сохраняют его, чтобы при каких-либо ремонтах двигателя иметь возможность по этому цилиндрику установить компрессию, требующуюся по заводским данным, т. е. ту, которая была установлена при монтаже двигателя.

Если это расстояние между крышкой и поршнем, соответствующее

необходимому давлению сжатия, неизвестно, что нередко имеет место на старых дизельных установках, или же вредное пространство цилиндра изменилось вследствие ли расточки цилиндра, каких-либо конструктивных изменений цилиндровой крышки и т. п., то обычно, измерив фактическое давление сжатия по индикаторной диаграмме, стараются опытным путем добиться требуемого давления сжатия, уменьшая или увеличивая, смотря по надобности, толщину прокладок в головке шатуна.

Однако необходимая толщина прокладки может быть вычислена на основании следующих соображений: при любой форме пространства сжатия, если подложить прокладку, толщиной x миллиметров, то это пространство уменьшится на такую часть объема, описываемого поршнем, какую часть x составляет от хода поршня H , т. е.

$$v'_c = v_c - v_h \cdot \frac{x}{H},$$

где v_h — объем, описываемый поршнем, v_c — объем пространства сжатия до добавления прокладки и v'_c — этот объем после добавления прокладки.

Так как степень сжатия

$$\varepsilon = \frac{v_h + v_c}{v_c},$$

то

$$\varepsilon v_c = v_h + v_c$$

и

$$\varepsilon v_c - v_c = v_h = v_c (\varepsilon - 1),$$

откуда

$$v_c = \frac{v_h}{\varepsilon - 1}.$$

Аналогично этому, если степень сжатия после добавления прокладки толщиной x , обозначим через ε' — будем иметь:

$$v'_c = \frac{v_h}{\varepsilon' - 1} = v_c - v_h \cdot \frac{x}{H}.$$

Подставляя в последнее выражение вышеприведенное значение для v_c , получим:

$$v'_c = \frac{v_h}{\varepsilon - 1} - v_h \cdot \frac{x}{H}$$

и

$$\frac{v_h}{\varepsilon' - 1} = \frac{v_h}{\varepsilon - 1} - v_h \cdot \frac{x}{H}$$

откуда

$$x = \frac{H}{\varepsilon - 1} - \frac{H}{\varepsilon' - 1} = H \left(\frac{1}{\varepsilon - 1} - \frac{1}{\varepsilon' - 1} \right). \quad (1)$$

Так как давление в конце сжатия

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^n, \quad (2)$$

¹ См. статью М. В. Щурова, Номограммы для определения необходимого изменения толщины прокладок при установке сжатия в двигателях Дизеля, «Тепло и сила», № 12, 1929.

где p_a — давление начала сжатия, то зная это последнее, выбирая показатель политропы n в зависимости от состояния двигателя и определяя давление сжатия p_c по индикаторной диаграмме, мы можем по формуле (2) определить степень сжатия ϵ . Если мы хотим довести давление сжатия до величины p_c' , то по той же формуле определим степень сжатия ϵ' , соответствующую этому давлению сжатия, после чего по формуле (1) найдем толщину прокладки x , которую надо подложить в шатун для того, чтобы получить требуемое давление сжатия p_c' .

Давление начала всасывания может быть принято равным: для четырехтактных тихоходных дизелей — $p_a = 0,95$ ат, для четырехтактных быстроходных — $p_a = 0,90$ ат и для двухтактных — $p_a = 1,05$ ат.

Показатель политропы n принимается равным: для новых дизелей, работающих под большой нагрузкой, при высокой температуре охлаждающей воды $n = 1,35$; для двигателя вполне исправного при средних условиях работы $n = 1,33$; для двигателя в удовлетворительном состоянии $n = 1,30$; и для двигателя в плохом состоянии $n = 1,275$.

Для каждого из вышеуказанных давлений начала сжатия и для каждого из значений показателя политропы n можно построить кривую зависимости p_c от ϵ и этими кривыми пользоваться вместо вычислений по вышеуказанным формулам.

Пример вычисления толщины прокладки. Предположим, что по индикаторной диаграмме четырехтактного тихоходного дизеля с ходом поршня, равным 720 мм, находящегося в вполне исправном состоянии, при средних условиях работы мы определили, что $p_a = 27,5$ ат, что недостаточно и необходимо довести давление сжатия до 31 ат. Какой толщины прокладку надо подложить в шатун?

Для данного двигателя, на основании вышеизложенного, будем иметь: $p_a = 0,95$ и $n = 1,33$. Тогда по формуле (2)

$$p_c = p_a \cdot \epsilon^n$$

будут иметь

$$27,5 = 0,95 \cdot \epsilon^{1,33},$$

откуда

$$\epsilon \approx 12,5.$$

При том давлении конца сжатия, которое мы хотим получить, т. е. при 31 ат, соответствующая ему степень сжатия ϵ' определится из аналогичного выражения: $31 = 0,95 \cdot \epsilon'^{1,33}$ и будет равно $\epsilon' = 13,7$.

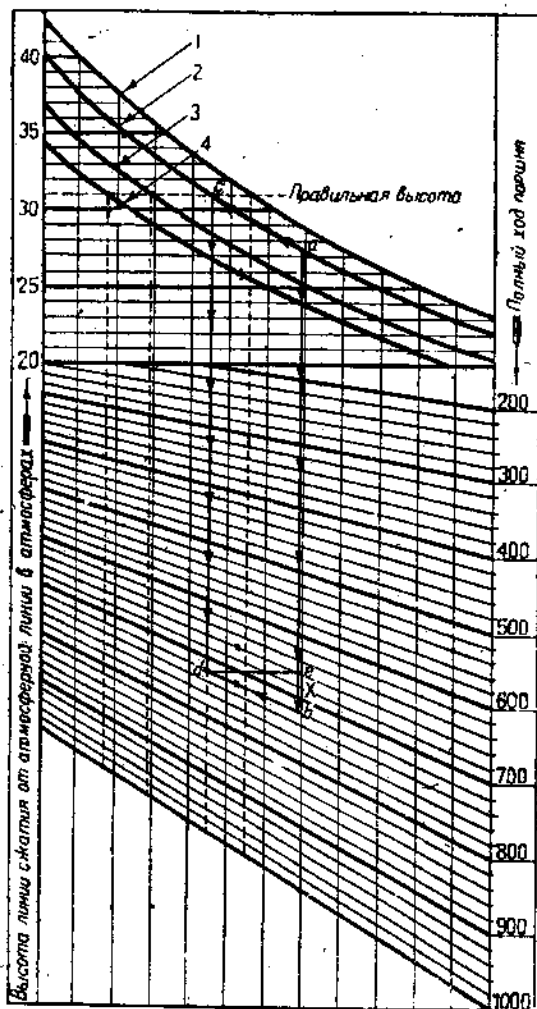
Тогда толщина прокладки, которую необходимо подложить в шатун, чтобы достичь давления сжатия в 31 ат, определится по формуле (1)

$$x = H \left(\frac{1}{\epsilon - 1} - \frac{1}{\epsilon' - 1} \right) = 720 \left(\frac{1}{12,5 - 1} - \frac{1}{13,7 - 1} \right) = 5,9 \text{ мм.}$$

Как зависимость между p_c и ϵ может быть выражена некоторой кривой, так и подсчет толщины прокладки по формуле (1) может быть выражен некоторой номограммой, соответствующим образом построенной. На фиг. 66, 67 и 68 даны такие номограммы для определения толщины прокладки тихоходного четырехтактного дизеля при $p_a = 0,95$ (фиг. 66), для быстроходного четырехтактного дизеля при $p_a = 0,90$ (фиг. 67) и для двухтактного дизеля при $p_a = 1,05$ (фиг. 68), причем в верхней части каждой номограммы нанесены четыре кривые для значений $n = 1,35$, $n = 1,33$, $n = 1,30$ и $n = 1,275$ — в зависимости от состояния дизеля.

Не останавливаясь на способе построения этих номограмм ¹, посмотрим, каким образом ими пользоваться для нахождения необходимой толщины прокладки вместо производства вышеуказанных вычислений.

Кривая 1—относится к новому дизелю в горячем состоянии, 2—к вполне исправному дизелю в средних условиях работы, 3—к значительно изношенному дизелю, 4—к дизелю в плохом состоянии.



Фиг. 66.

Возьмем тот же случай, для которого толщина прокладки определялась вычислением, т. е. двигатель с ходом поршня в 720 мм, для которого давление сжатия по индикаторной диаграмме определилось в 27,5 ат и последнее необходимо повысить до 31 ат. Для данного дизеля—четырехтактного, тихоходного, находящегося в исправном состоянии, при средних условиях работы пользуемся номограммой фиг. 66.

На этой номограмме берем по ординате высоту, соответствующую 27,5 ат, и проводим горизонтальную линию до пересечения ее с соответствующей кривой 2 (для вполне исправного дизеля) и из точки пересечения *a* проводим вертикальную линию до пересечения ее в точке *b* с наклонной линией номограммы, соответствующей ходу поршня в 720 мм; затем берем на ординате высоту, соответствующую 31 ат, проводим горизонтальную линию до пересечения с той же кривой в точке *c* и проводим из нее вертикальную линию до пересечения в точке *d* с той же наклонной

линией, соответствующей данному ходу поршня в 720 мм, и из последней точки проводим горизонтальную линию до пересечения с первой вертикальной линией в точке *e*; отрезок *be* = *x*, измеренный непосредственно на изображенной на фиг. 68 номограмме, будет представлять

¹ См. статью инж. Щурова.

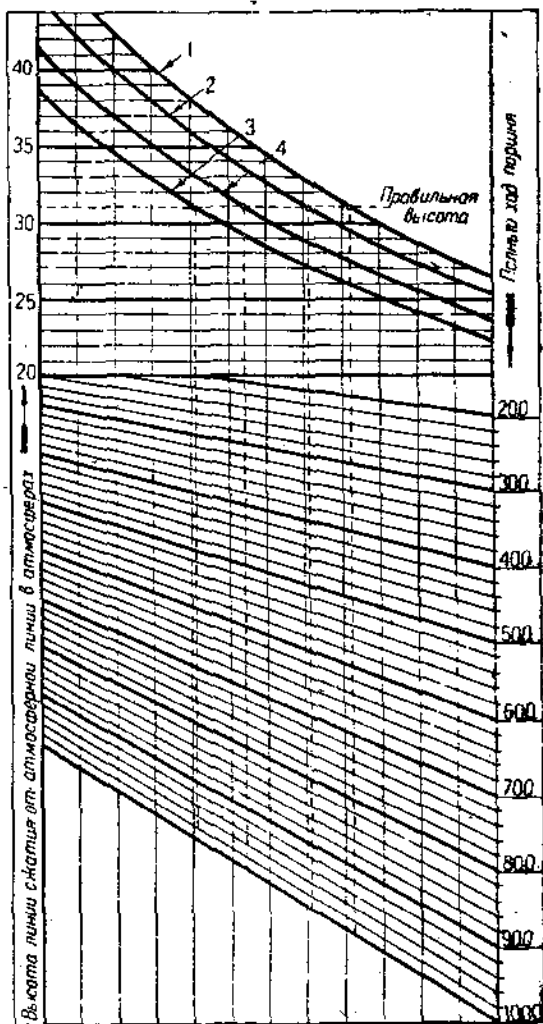
необходимую толщину прокладки в мм. В нашем случае $x = 5,8$, т. е. приблизительно той же величине, которая была найдена вышеизложенным вычислением.

Ошибка при определении толщины прокладки по приведенным номограммам выражается обычно в десятых долях мм и практического значения не имеет, так как нет надобности доводить давление сжатия до точно определенной величины.

Для практического применения вышеприведенных номограмм можно для данного дизеля вычертить упрощенную диаграмму с одной кривой, принимая во внимание его состояние, и с одной наклонной линией (лучом), соответствующей действительному ходу поршня двигателя.

12. Монтаж регуляторного и распределительного валов.

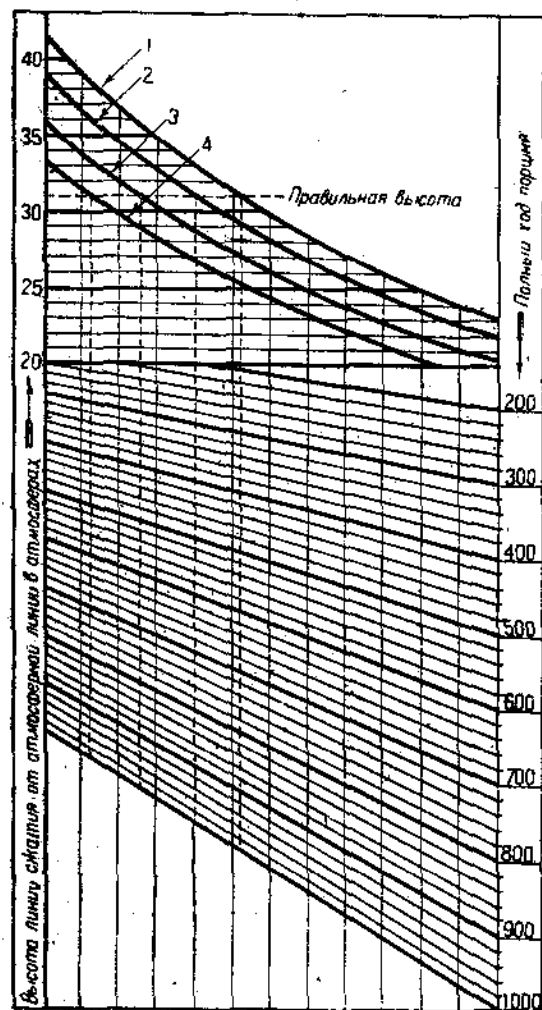
Передача движения от коленчатого вала к распределительным рычагам клапанов осуществляется вертикальным передаточным валом, на котором большею частью располагается и регулятор, почему он в этом случае получает наименование регуляторного, и горизонтальным распределительным валом, из коих сначала монтируется вертикальный, а затем горизонтальный; условия, которым должен удовлетворять монтаж этих валов, заключается в хорошей пришабровке подшипников, достижении полной вертикальности одного и горизонтальности другого вала и в правильном сцеплении сидящих на них шестерен. Сначала производят предварительное пришабривание подпятника, затем заканчивают пришабривание, поставив вал на место, выверяют его вертикальность и пришабровывают все остальные подшипники; затем производят предварительное пришабривание вкладышей подшипников горизонтального распределительного вала, проверяют горизонтальность



Фиг. 67.

его положения и правильное положение относительно осей симметрии двигателя и затем уже производят окончательное пришабривание на месте. При сборке новой машины на месте установки пришабривания вкладышей обычно не требуется, а ограничиваются лишь проверкой правильности расположения осей валов по отношению к осям симметрии

двигателя. В случае смены шестерен у работающего двигателя сначала необходимо осторожно слегка округлить края зубцов при помощи мелкой пилы. После посадки шестерни на вал желательно проверить вал на станке, чтобы убедиться, не бьют ли шестерня. после чего уже установить вал на двигатель. В случае установки регуляторного и распределительного валов после ремонта их, посадки новых шестерен и пр., необходимо проверить перпендикулярность их осей в случае винтовых шестерен (дизель) и пересекаемость осей в случае конических шестерен (газовый или калоризаторный двигатель), а также проверить расстояние между осями валов, что производится посредством линеек, отвесов и измерения необходимых расстояний. Шестерни должны быть установлены таким образом, чтобы зубья с одинаковыми, выбитыми на них знаками совпадали. Слабина в сцеплении шестерен допускается от 0,25 до 0,5 мм; в стыках между концами зубьев и выемкой зазор должен быть не меньше 3 мм.



Фиг. 68.

13. Установка цилиндрических крышек.

Не говоря уже о новом двигателе и при установке новых цилиндрических крышек на старом двигателе, таковые получаются в совершенно готовом виде, так что предварительные работы перед постановкой крышки на место состоят лишь в установке прокладок. Необходимо считать за правило — изготовление цилиндрических крышек на заводе, занимающемся

постройкой данного типа двигателей, так как попытка заказа их не на специальном заводе обычно оканчивается неудачей.

Перед постановкой цилиндровой крышки на цилиндр производят установку клапанов на прокладках, каковыми, в зависимости от конструкции, являются большею частью асбестовые, клингеритовые или медно-асбестовые кольца; в качестве набивки для иглы форсуночного клапана обычно в дизелях применяется стружка из белого металла, так называемая «стружка Баха», а у пускового клапана иногда применяется уплотнение стальными или чугунными самопружинящими кольцами.

Применяемая для набивки иглы форсуночного клапана «стружка Баха» представляет собою очень тонкую стружку шириной 2—2,5 мм, полученную путем снятия ее с болванки, отлитой из белого металла, на токарном станке. Хорошая стружка получается из белого металла следующего состава: сурьмы—5%, олова—10—20%, свинца—85—75%.

Эта стружка плотно набивается в сальник форсуночной иглы, причем по мере набивки пересыпается мелким графитом и затем затягивается гайкой сальника. Кроме проверки и установки прокладок и набивок при подготовке цилиндровой крышки для установки ее на двигатель необходимо произвести притирку всех клапанов, даже в том случае, если крышка получена с завода в собранном виде.

Затем укладывается асбестовая или клингеритовая прокладка самой крышки, для которой в дизелях на верхней плоскости фланца цилиндровой рубашки имеется концентрическая канавка прямоугольного сечения, в которую входит соответствующий выступ на нижней поверхности крышки; после этого крышка устанавливается на цилиндр и притягивается гайками постепенно и попарно, т. е. затягиваются поочередно гайки, лежащие друг против друга. Гайки затягиваются довольно сильно, но не чрезмерно, так как чрезмерная затяжка может повредить фланец втулки или вызвать трещины во фланце цилиндровой рубашки.

После пропуска двигателя, когда крышка и болты прогреются, гайки необходимо снова подтянуть, чтобы не получилось пробивания прокладки между крышкой и цилиндром.

14. Установка нефтяных насосов.

Перед установкой нефтяных насосов таковые должны быть тщательно промыты керосином, а клапаны должны быть притерты. При установке нового двигателя желательно, а при установке уже работавшего двигателя необходимо испробовать насос под давлением сжатым воздухом после его установки на двигатель; воздух подводится к нефтяному насосу и, вращая поворотным механизмом двигателя, проверяют моменты открытия и закрытия клапанов, каковые определяются шипением вырывающегося сжатого воздуха; одновременно производится и проверка плотности клапанов.

Уплотнение скалки нефтяного насоса достигается весьма точной пригонкой ее к цилиндру, а также посредством сальника, в котором применяется специальная набивка «экссельсиор», представляющая собою асбестовый прорезиненный шнур, который должен быть взят толщиной, равной зазору между скалкой насоса и стенкой гнезда сальника; в некоторых конструкциях сальника нет совершенно, а для усиления уплотнения устраивается длинная направляющая, к которой тщательно шлифуются скалка.

15. Установка нефтяного расходного бака, нефтяных фильтров напорного водяного бака и воздушных баллонов.

Обычно система нефтяных баков, расположенных в машинном помещении, состоит из расходного бака емкостью не менее как 10—12 час., а лучше на 24 часа работы двигателя, обслуживающего один двигатель или группу их и двух нефтяных фильтров для каждого двигателя, благодаря чему один из них может быть выключен во время работы двигателя для чистки. Расходные баки устанавливаются или на кронштейнах сверху машинного помещения, или во втором этаже машинного помещения (чердаке), если таковое имеется.

Фильтры устанавливаются на кронштейнах, укрепленных к стенам машинного помещения, или, если это предусмотрено конструкцией, на площадке двигателя; в нефтепроходе от фильтра к насосу следует избегать большого количества колен и изгибов, так как таковые затрудняют подвод нефти к насосу, а также потому, что в коленах может скопиться воздух и нарушить подачу нефти. Перед заполнением нефтью этого трубопровода, его необходимо промыть керосином и затем прокачать нефть насосом от руки до тех пор, пока из пробного краника на напорном нефтепроводе не будет выходить чистая нефть без воздушных пузырьков. Для удобства очистки нефтепровода на нижней точке каждого участка его должен быть поставлен спускной кран; не рекомендуется прокладывать нефтепроводы по стенам машинного помещения, так как это затрудняет их съемку и загрязняет стены.

Нефтяной расходный бак делается обычно цилиндрической формы с высотой, в два раза большей диаметра, каковая дешевле в изготовлении и расстройство в швах у таких баков происходит реже; бак должен быть изготовлен тщательно, чтобы не было течи, и должен быть установлен с таким расчетом по высоте, чтобы был обеспечен самотек нефти из бака в фильтры.

Напорный водяной бак всегда изготавливается средствами силовой станции, так как заводы, поставляющие двигатели, таковых не дают, и устанавливается или под потолком машинного помещения на кронштейнах или балках, или на чердаке над машинным помещением, если таковой имеется, или же в каком-либо имеющемся достаточно высоком помещении, или же, наконец, в специальной башне-пристройке.

Высота расположения водяного бака от крышки двигателя должна равняться 10 м и в крайнем случае 7—8 м. Объем водяного бака должен быть равен не менее чем получасовому расходу воды на охлаждение двигателя при максимальном расходе ее в летнее время и лишь в крайнем случае, когда этого требуют местные условия (недостаток места и т. п.), объем его может быть взят равным 15—20-минутному расходу воды; в последнем случае обязательно должен быть предусмотрен резервный насос, включенный таким образом в систему трубопроводов, на градирню и на напорный бак, чтобы его можно было включить вместо любого из работающих насосов в случае порчи одного из них.

Напорный бак изготавливается из резервуарного железа и делается обычно круглого сечения; он должен кроме напорной и отводящей труб иметь сливную трубу на случай переполнения бака и спускную трубу для спуска грязи; отводящая труба должна быть расположена

на расстоянии 100—150 мм от дна бака, чтобы в нее не попадала грязь, скопляющаяся на дне бака.

Воздушные баллоны компрессорных дизелей обычно связываются хомутами и устанавливаются в специально устраиваемый для них колодезь в полу машинного помещения такой глубины, чтобы выходящая над уровнем пола часть баллонов позволяла удобно управлять маховиками вентилей баллонов. При установке старого двигателя воздушные баллоны должны быть испытаны гидравлическим давлением; баллоны дизелей обычно испытываются водой на 120 ат; баллоны нового двигателя в таком испытании не нуждаются, так как таковое производится на заводе и завод вместе с баллонами дает специальную книгу записей испытаний для каждого баллона, в которую записываются все последующие контрольные гидравлические испытания, производимые технической инспекцией через определенные промежутки времени. При установке воздушных баллонов необходимо соблюдать возможные меры предосторожности, чтобы не повредить вентильных головок, так как повреждение их является опасным для окружающих.

Воздушные баллоны располагаются по отношению к двигателю таким образом, чтобы они не мешали обслуживанию его, чтобы управление ими было удобно и по возможности таким образом, чтобы при открывании вентилей пускового баллона машинист видел маховик двигателя, чтобы по его вращению мог судить о том, как двигатель пошел и когда переключить его на нефть.

16. Прокладка трубопроводов и прочие мелкие работы.

При прокладывании трубопроводов от нефтяного, водяного и масляного баков и фильтров и от воздушных баллонов необходимо следить за тем, чтобы к трубопроводу был обеспечен свободный доступ с гаечным ключом в целях удобства разборки его.

Если при изменении направления трубы таковое достигается не угольником или отводом, а изгибом, то труба должна быть изогнута таким образом, чтобы сечение ее в месте изгиба сохранялось, т. е. оставалось бы окружностью. Изгибание труб в горячем состоянии производится следующим образом: труба наполняется мелким сухим песком, плотно утрамбованным, и с обеих концов закрывается деревянными пробками, туго вбитыми; затем место изгиба нагревается и труба осторожно сгибается. Необходимо применять для этой цели хорошо высушенный песок, так как при влажном песке могут образоваться испарения, которые могут выбить пробки и причинить повреждения окружающим; трубы, подвергавшиеся изгибанию в горячем состоянии, должны быть тщательно очищены от нагара, так как таковой может попасть в форсуночный или пусковой клапан и повредить их. На месте установки заново производится прокладка трубопроводов вне габаритов двигателя, так как все трубопроводы в пределах габаритов двигателей пригоняются на заводе и на месте установки подвергаются лишь простой сборке.

Воздушный трубопровод высокого давления и топливный трубопровод большей частью соединяется посредством конусных соединений из красной меди без прокладок и прокладок из красной меди в виде колец.

В выхлопном трубопроводе в виде прокладок применяются асбестовые или клингеритовые кольца, вырезанные по размеру фланца, обычно осыпанные графитом; выхлопной трубопровод должен иметь

хотя бы один сальник, чтобы он мог свободно удлиняться при расширении, а глушитель желательно устанавливать на катках, чтобы он мог несколько перемещаться при удлинении выхлопного трубопровода от расширения. Масляный трубопровод не допускает прокладок из кожи, резины, асбеста или клингерита, так как эти материалы разъедаются маслом; поэтому в данном случае применяются прокладки из фибры и металлические соединения.

Различные мелкие части, как, например, кулачные шайбы, рычаги, балансиры и пр., при установке их на двигатель требуют, главным образом, работ, относящихся к сборке цапф, их втулок и подшипников, и особой сложности не представляют; при монтаже распределительных рычагов дизелей надо иметь в виду, что таковые должны быть установлены так, чтобы ролик рычага касался кулака лишь в период открытия клапана, остальное же время между ними должен быть зазор в 1—1,5 мм.

17. Регулировка двигателя; проверка распределительного механизма.

Как после сборки нового двигателя, так и после всякого капитального ремонта должна производиться проверка распределения, т. е. своевременности открытия и закрытия всех клапанов двигателя; предварение впуска и запаздывание закрытия для распределительного механизма двигателя данной конструкции и марки определяется заводскими данными, которые должны быть переданы монтером завода, устанавливающим двигатель, механику станции и записаны последним, чтобы после различных ремонтов, которым будет подвергаться двигатель, фазы распределения можно было бы установить правильно по данным завода (см. гл. VII, п. м).

18. Установка нескольких двигателей, работающих на один трансмиссионный вал; параллельная работа двигателей.

В некоторых случаях является необходимой и целесообразной параллельная работа двигателей как в случае приведения ими в движение электрогенераторов, так и в случае приведения в движение главного трансмиссионного вала, так как дает возможность избегать перегрузок или недогрузок отдельных двигателей.

Параллельная работа двигателей, приводящих в движение электрогенераторы, работающие на общие шины, применяется довольно давно, что же касается параллельной работы нескольких двигателей на один трансмиссионный вал, то таковой работы старались избегать, считая, что она едва ли может быть осуществлена с необходимой степенью надежности. Тем не менее, несколько довольно старых установок и значительное число более новых показало, что параллельная работа нескольких дизелей на один вал при условии принятия необходимых мер является вполне надежной, обладая в то же время следующими достоинствами по сравнению с раздельной работой двигателей: 1) возможность равномерной нагрузки двигателей до полной мощности в случаях, когда при раздельной работе один двигатель перегружается, а другой недогружается, и 2) простота и удобство передачи в случае, если по расположению машин орудий и станков передача от дополнительного устанавливаемого двигателя должна быть осуществлена прямо на главный вал трансмиссии или если устанавливается резервный двигатель при трансмиссионной передаче.

Для правильной и надежной работы нескольких двигателей на один трансмиссионный вал, как показывает практика и требуют теоретические соображения, должны быть соблюдены следующие условия:

1. Желательно чтобы двигатели были однотипными, одной конструкции, одного завода с одинаковым числом цилиндров; это правило, однако, не является обязательным и практика показывает, что двигатели не однотипные, при соблюдении других, более важных условий, работают вполне удовлетворительно.

2. Степень неравномерности хода всех спариваемых двигателей должна быть одинаковой и должна равняться от $\frac{1}{150}$ до $\frac{1}{300}$. Если степень неравномерности хода того или иного двигателя неизвестна, то приходится запрашивать о ее величине завод, построивший двигатель; если к имеющемуся двигателю ставится второй с иной степенью неравномерности, то таковая должна быть доведена до необходимой величины заменой маховика, причем в этом случае необходимо проверить вал на прочность, а вкладыши подшипников на удельное давление.

3. При передаче движения от двигателей на трансмиссионный вал посредством ремней или канатов одинаковое их число оборотов не обязательно, хотя и желательно, но в этом случае шкивы должны быть подобраны таким образом, чтобы на трансмиссионном валу обеспечивалось одинаковое число оборотов от каждого двигателя.

4. Предпочтительнее мягкая передача, т. е. ременная или канатная, чем непосредственное соединение вала двигателя с трансмиссионным валом посредством фрикционной муфты.

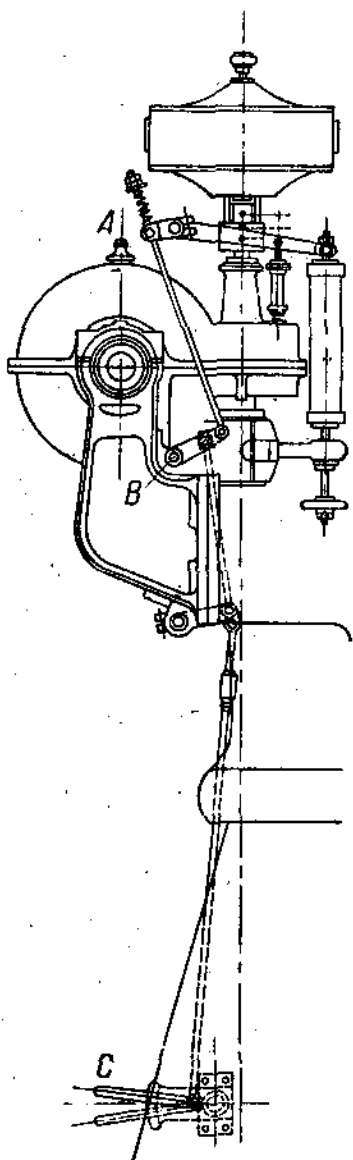
5. Регуляторы двигателей должны быть снабжены пружинными весами для изменения числа оборотов двигателей на ходу, так как при уменьшении числа оборотов, передаваемых на вал трансмиссии у одного двигателя, его начинает везти другой, и в этот момент требуется изменить число оборотов двигателей таким образом, чтобы на трансмиссионный вал передавалось одинаковое число оборотов с обоих двигателей. Пружинные веса должны приводиться в движение или вручную, посредством имеющегося у них маховичка, или посредством сервомотора, управляемого от распределительного щита станции.

6. Должно быть устроено ограничительно-выключательное приспособление, которое заключается в том, что регуляторный механизм от муфты регулятора до отсечного валика нефтяного насоса устанавливается таким образом, что при наиминимуме положении регуляторной муфты, соответствующему некоторому максимально допустимому среднему индикаторному давлению, увеличение подачи нефти прекращается. Установка эта производится следующим образом: задавшись максимально допустимым средним индикаторным давлением, например 7 кг/см^2 , нагружают двигатель, если это возможно, или же нажимают постепенно рукой муфту регулятора и, снимая индикаторные диаграммы, замечают то положение регуляторной муфты, при котором индикаторная диаграмма дает среднее индикаторное давление, равное 7 кг/см^2 ; тогда регуляторный и отсечной механизмы устанавливают таким образом, чтобы при повышении его сверх 7 кг/см^2 увеличение подачи нефти прекращалось во всех цилиндрах.

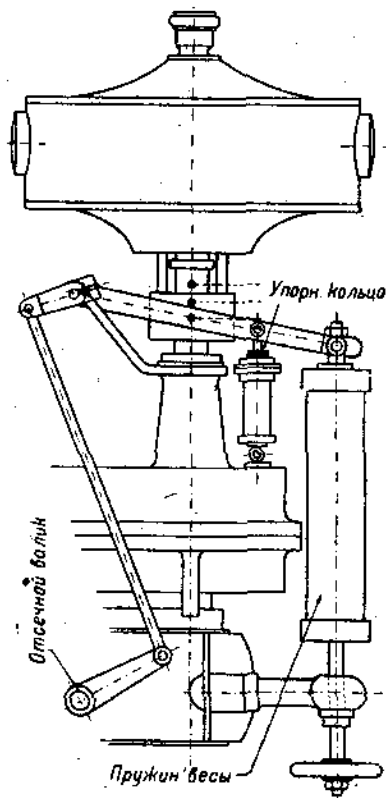
Тогда двигатель не может быть перегружен, так как в случае повышения нагрузки на него свыше установленного предела насос перестает увеличивать подачу топлива и двигатель затормаживается трансмиссией. В этом случае происходит следующее: при перегрузке двигателя он начи-

нает уменьшать число оборотов, вследствие чего муфта регулятора опускается и посредством регуляторного механизма и отсечного валика прекращает увеличение подачи нефти в цилиндры, число оборотов падает, вследствие этого часть нагрузки переходит на другой двигатель, после чего его обороты восстанавливаются и тем самым перегрузка безопасно ликвидируется.

На фиг. 69 изображен ограничительно-выключательный механизм Коломенского завода. Если произойдет случайная перегрузка одного из двигателей, то при понижении регуляторной муфты ниже положения, соответствующего максимальному среднему индикаторному давлению, регуляторная муфта перестает действовать на отсечные валики *В* нефтяных насосов и



Фиг. 69.



Фиг. 70.

при дальнейшем понижении муфты регулятора происходит лишь сжатие пружин ограничительного механизма *А*.

Тот же механизм позволяет, в случае надобности, выключить нефтяные насосы всех цилиндров посредством опускания вниз рычага *С*.

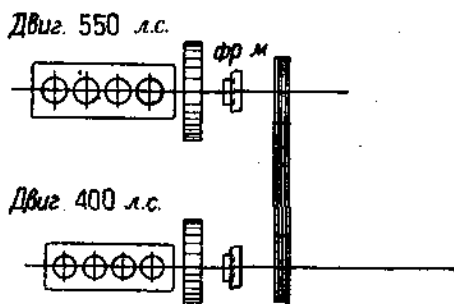
Если нет возможности устроить такой выключательный механизм, то на штоке катаракта регулятора устанавливают упорное кольцо (фиг. 70) и закрепляют его стопорным винтом в таком положении муфты регулятора, которое соответствует среднему индикаторному давлению в 7 кг/см^2 ; тогда, в случае перегрузки двигателя, муфта регулятора, будучи задержана этим упорным кольцом, не сможет опуститься ниже того положения, которое соответствует подаче нефтяным насосом количества нефти, создающего среднее индикаторное давление выше 7 кг/см^2 , а следовательно, исключена возможность перегрузки двигателя.

7. Необходимо, пользуясь индикаторными диаграммами, устранить все неисправности распределения, а также уравнивать нагрузку в цилиндрах; разница в среднем индикаторном давлении между отдельными цилиндрами должна быть не более $0,1 \text{ ат}$.

8. Обязательно наличие фрикционной муфты в машинном помещении, на валу двигателя, а не на трансмиссионном валу; это условие, которое необходимо соблюдать вообще при установках двигателей внутреннего сгорания, приобретает особо важное значение при параллельной работе двух или нескольких двигателей, так как таковая происходит при несколько необычных условиях, а следовательно, должны быть соблюдены все возможные меры, предохраняющие двигатель от перегрузки.

В качестве примеров параллельной работы дизелей на один трансмиссионный вал приведем несколько случаев таких установок, имеющих в мукомольной промышленности, где непосредственная передача движения от двигателя на главный вал трансмиссии нашла наибольшее распространение как наиболее соответствующая характеру работы мельничного предприятия.

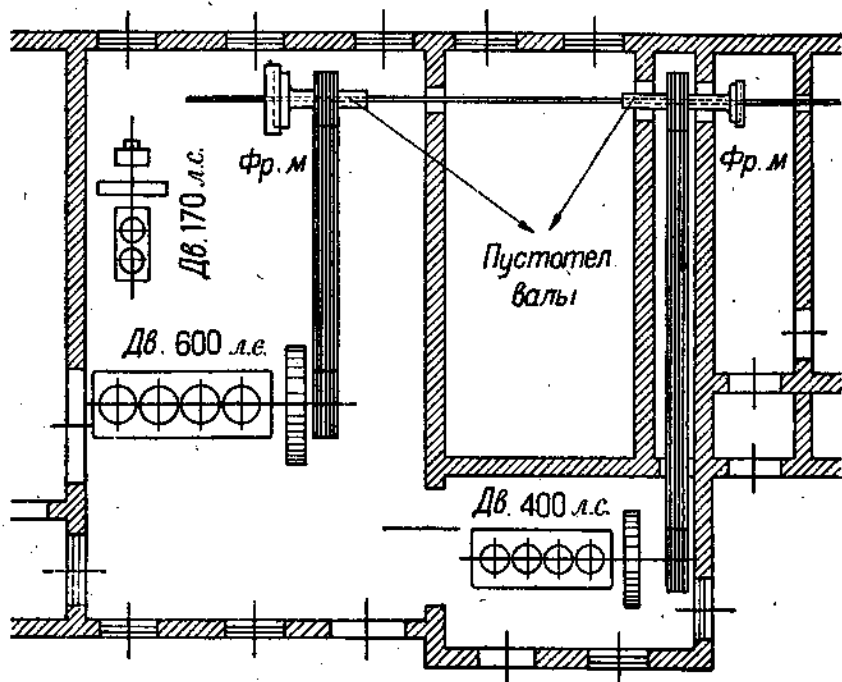
1. На фиг. 71 дана установка двух спаренных дизелей на Московской вальцевой мельнице; установка состоит из одного дизеля Коломенского завода, нормальной модели, четырехцилиндрового мощностью 550 л. с. при 170 об/мин. и одного дизеля Герлицкого завода мощностью 400 л. с. при 170 об/мин. Первоначально дизель в 400 л. с. был непосредственно соединен с трансмиссионным валом помощью фрикционной муфты, затем, при расширении мельницы, был установлен второй дизель Коломенского завода мощностью в 550 л. с. при 170 об/мин. , который посредством канатной передачи был соединен с главным валом трансмиссии, а дизель в 400 л. с. был соединен посредством ременной передачи с альтернатором трехфазного тока, от которого питались электроэнергией моторы, приводившие в движение часть трансмиссий предприятия; в то же время этот дизель служил резервом на случай выхода из строя дизеля в 550 л. с. , что благодаря существовавшей канатной передаче осуществлялось очень просто, причем в это время имевшиеся электромоторы питались током от МОГЭС.



Фиг. 71.

Через некоторое время альтернатор сгорел при происшедшей с ним аварии, и так как экономические подсчеты указывали на выгодность работы на токе МОГЭС, то альтернатор восстановлен не был, а решено было электромоторы питать всегда током МОГЭС, а дизель в 400 л. с. оставить в качестве резервного.

В 1926 г. во время реконструкции мельницы явилась необходимость в большей мощности и было решено работать двумя дизелями одновременно, что существовавшая передача позволяла сделать. Предварительно была проверена степень неравномерности обоих двигателей, каковая оказалась одинаковой, так же как и число оборотов двигателей, пру-



Фиг. 72.

жинные веса на обоих двигателях имелись, оставалось только сделать выключательный механизм и двигатели были пущены спаренными на параллельную работу, каковая работа происходила без каких-либо дефектов в их работе, дав возможность использовать полную мощность дизелей, так как при раздельной работе расположение машин и трансмиссий вызывало недогрузку одного и перегрузку другого двигателя.

Наконец, в 1929 г., в связи с выяснившейся возможностью после реконструкции мельницы увеличить ее производительность при том же производственном оборудовании, было решено включить параллельно с дизелем в 400 л. с. электромотор мощностью в 300 л. с., который, как видно из схемы фиг. 69, работает на тот же вал, с которым соединен дизель в 400 л. с. посредством ременной передачи, причем ведомый шкив расположен на пустотелом валу, который при помощи кулачной муфты соединяется с главным трансмиссионным валом. Практика показала,

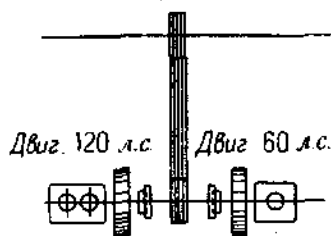
что работа спаренных таким образом двух дизелей и электромотора протекает вполне удовлетворительно.

2. На фиг. 72 изображена схема работы двух дизелей на один трансмиссионный вал, посредством канатных передач на Самарской мельнице. Первоначальная установка состояла из паровой машины мощностью в 600 л. с., затем ввиду увеличения производительности мельницы был установлен дизель Аугсбургского завода мощностью 400 л. с. при 175 об/мин, который работал параллельно с паровой машиной на один трансмиссионный вал, через пустотелый вал, соединенный с трансмиссионным посредством фрикционной муфты. Ввиду того что паровые котлы паросиловой установки пришли в негодность, а смена их обошлась бы едва ли дешевле и потребовала бы едва ли меньше времени, чем установка нового дизеля, а также ввиду значительной выгоды дизеля по сравнению с паровой машиной, было решено на месте паровой машины установить дизель, каковая установка и была осуществлена в 1926 г.; был установлен дизель Коломенского завода мощностью в 600 л. с. при 187 об/мин, четырехцилиндровый, четырехтактный, причем передача на трансмиссионный вал была осуществлена при помощи пустотелого вала и фрикционной муфты.

На этом двигателе был установлен маховик с маховым моментом $GD^2 = 99 \text{ т/м}^2$, каковой обеспечивал степень неравномерности $1/150$, каковая была и у дизеля в 400 л. с. Дизели были снабжены ограничительно — выключительным приспособлением, пружинными весами, а на первое время были установлены упорные кольца на штоках катарактов. В таком виде дизели работают до сих пор без каких-либо видимых дефектов как в самих двигателях, так и в передаче и фрикционных муфтах.

Во время работы этих двигателей были проделаны следующие опыты:

- 1) Путем подвигивания маховичка пружинных весов и, следовательно, изменения числа оборотов того или другого двигателя, удавалось снижать нагрузку с одного дизеля и переводить на другой.
- 2) При помощи тахометра, приставленного к торцу трансмиссионного вала, хотя и не с очень большой степенью точности можно было по стрелке тахометра судить о том, что вал вращается с равномерной угловой скоростью.
- 3) При установившейся работе дизелей была снята серия индикаторных диаграмм с возможно меньшими промежутками между ними, причем эти диаграммы указывали на отсутствие перегрузки того или другого двигателя, каждый из них был загружен почти полностью на свою нормальную мощность, в сумме доходя до 900—950 л. с.
- 4) Один двигатель выключался фрикционной муфтой, причем второй в этот момент сначала начал сбавлять обороты вследствие перегрузки, затем двигатель останавливался, будучи заторможен трансмиссией. Эта установка вполне надежно работает с 1926 г. до настоящего времени и также является примером хорошего выхода из положения, когда на один трансмиссионный вал надо передать движение от двух двигателей, вследствие невозможности по условиям расположения оборудования устройства раздельной работы двигателей.



Фиг. 73.

3. На фиг. 73 приведена схема работы двух дизелей, спаренных непосредственно валами на одной небольшой мельнице. Сначала были установлены два дизеля завода Нобеля — один в 120 л. с. — двухцилиндровый и другой в 60 л. с. — одноцилиндровый, оба при 175 об/мин. Однако, повидимому, вследствие того, что двигатели имели разную степень неравномерности, а также вследствие особо тяжелых условий работы при жестком соединении двигателей, работа их сопровождалась постоянными неисправностями, быстрым износом и поломкой фрикционных муфт, которые прекратились лишь после того, как вместо одноцилиндрового дизеля в 60 л. с. был установлен однотипный с первым двигатель двухцилиндровый в 120 л. с., с одинаковой с первым степенью неравномерности.

ГЛАВА VI.

УХОД ЗА ДВИГАТЕЛЯМИ.

1. Инструкция по уходу за двигателями дизеля.

Приготовление двигателя к пуску.

1. Механик или машинист, на обязанности которого лежит пуск двигателя в ход, должен прибыть в машинное помещение за 15—20 мин. до момента пуска, чтобы иметь время спокойно подготовить двигатель к пуску в точно определенное время.

2. Проверить все клапаны на легкий и свободный ход и быстрое закрытие вручную или при помощи рычага.

3. Проверить надежность крепления гаек, болтов нижних головок шатунов, рабочих цилиндров и компрессора, смазочного кольца шатуна, форсунки, коренных подшипников.

4. Проверить состояние нижнего конуса форсуночной иглы, который должен иметь светлую блестящую поверхность, и нижнего конуса корпуса форсунки, на котором с течением времени образуется цилиндрическая выработка, опасная тем, что в нее входит конус иглы, что создает условия для возможности торможения нефти. Отверстие сопловой плитки должно быть прочищено калиброванным шомполом, причем не должно допускаться увеличение диаметра отверстия сопловой плитки, так как таковое может повлечь взрыв нефти в форсунке при пуске двигателя. При установке иглы на место необходимо тщательно ее вытереть, смазать цилиндрическим маслом то место ее, которое работает в сальнике, и убедиться, что игла ходит свободно в сальнике.

П р и м е ч а н и е. Эта проверка конуса форсуночной иглы и корпуса форсунки производится не перед каждым пуском двигателя, а периодически, по мере надобности. Перед выемкой иглы необходимо спустить воздух из форсуночного трубопровода и поставить выхлопной клапан в открытое положение. Если двигатель находится в горячем состоянии, то выемку иглы можно делать не ранее чем через десять минут после остановки, не прекращая притока охлаждающей воды.

5. Открыв продувательные или декомпрессионные клапаны цилиндров, пробуксовать двигатель на полный оборот вала, чтобы убедиться в том, что ничто не препятствует свободному вращению двигателя, а за-

тем поставить двигатель на ход, т. е. в положение, соответствующее небольшому переходу (на 15—20°) поршня мертвой точки момента вспышки того цилиндра, который впервые наполняется сжатым воздухом. Буксовку после этого откинуть в сторону вала. Если на маховике и распределительном валу имеется отметка, соответствующая пусковому положению, установить двигатель по этой отметке.

6. В одноцилиндровом двигателе пусковая рукоятка должна быть в среднем (нейтральном) положении. В многоцилиндровом — в нейтральном положении должна быть рукоятка цилиндра двигателя, поставленного на пуск, остальные рукоятки должны быть в пусковом положении; у многоцилиндровых двигателей с общим приводом механизма переключения рукоятка должна быть в среднем положении.

7. Откидные рычаги, удерживающие всасывающие клапаны в открытом положении, где они имеются, выключить и индикаторные и продувочные краны и декомпрессионные клапаны закрыть.

8. Наполнить маслом моллерупы, лубрикаторы, масленки. Накачать масло вручную во все маслопроводы к цилиндрам. Установить все масленки на правильную подачу каплями; при нагнетательной смазке открыть краны на подводящем маслопроводе и кран маслоотвода из фундаментной плиты. Смазать ручной масленкой все шейки, шипы и шарниры, особенно механизм регулятора и шейки коренного вала и распределительные кулаки и ролики. Проверить наличие достаточного количества масла в коробках винтовых шестерен.

9. В двигателях с циркуляционной смазкой убедиться в том, что в сборнике масла есть достаточное количество его, прокачать масло ручным насосом и удостовериться, что оно подается по всем поверхностям, включенным в циркуляционную сеть.

10. Открыть все краны для нефти.

11. Включить нефтяные насосы. Прокачать вручную нефтяные насосы, открыв пробный краник и удалив из нефтепровода воздух, если таковой имеется.

12. Открыть краны для охлаждающей воды, установив их на количество воды, соответствующее нагрузке в начале работы двигателя.

13. Закрыть краны для спуска воды при холодильниках воздуха.

14. Проверить уровень нефти в расходном баке, наполнив его в случае надобности.

15. Проверить баллоны со сжатым воздухом. В пусковом баллоне должно быть не менее 45 ат и не более 55 ат, в форсуночном не менее 40 и не более 45 ат и в запасном 60—70 ат.

16. Открыть перепускной клапан баллона, распыливающего воздух.

17. Проверить, выключена ли фрикционная муфта или переведен ли главный ремень на холостой шкив, так как двигатель должен пускаться в ход не нагруженным.

18. Подать сигнал и предупредить производственный корпус о том, что двигатель сейчас будет пущен в ход.

II. Пуск в ход двигателя.

1. Открыть регулирующий дроссельный клапан компрессора и открыть оба вентиля рабочего баллона, ведущих к форсунке и компрессору.

2. На пусковом баллоне открыть клапан «пусковой».

3. Перевести пусковую рукоятку из нейтрального положения в пусковое, после чего двигатель начинает вращаться.

П р и м е ч а н и е. Преимущество такого порядка пуска заключается в том, что каждый раз проверяются на плотность пусковые клапаны.

4. После 6—7 оборотов двигателя на воздухе переставить рукоятку с пускового положения в рабочее (верхнее). Где не имеется общей пусковой рукоятки, первыми в рабочее положение переводятся цилиндры, не имеющие пусковых клапанов.

5. После получения вспышки клапан «пусковой» на пусковом воздушном баллоне закрыть и открыть полностью регулирующий всасывающий клапан компрессора.

6. Проверив правильность работы смазки и охлаждения, постепенно нагружать двигатель, но лишь после того, как в рабочем баллоне установится давление, соответствующее нагрузке.

7. Отрегулировать приток охлаждающей воды в соответствии с нагрузкой.

8. Удостовериться в том, что все цилиндры работают.

9. Если при пуске двигатель начинает вращаться до перевода рукоятки из нейтрального в пусковое положение, это означает, что пропускает один из пусковых клапанов. Тогда надо закрыть все запорные вентили у баллонов, выпустить воздух из рабочих цилиндров, перевести рукоятки в нейтральное положение, двигатель пробуксовать на пусковом положении и произвести пуск двигателя в обратном порядке, т. е. поставить рукоятки в пусковое положение и открыть главный клапан пускового баллона. В этом случае нефтяные насосы должны быть включены только после закрытия запорного вентиля пускового баллона.

10. Закрывать клапан пускового баллона надо не слишком затягивая его и ни в коем случае не затягивать маховичок толчками.

11. Если двигатель при пуске после включения нефтяных насосов не пошел, необходимо продуть цилиндры для удаления скопившейся нефти, так как таковая может явиться причиной преждевременной вспышки при повторном пуске сжатым воздухом.

12. При утечке воздуха или потере такового во время неудачного пуска двигателя в ход и невозможности получить сжатый воздух со стороны, пуск двигателя может быть произведен посредством жидкой углекислоты.

Ни в коем случае нельзя применять кислород для пуска двигателя, так как от этого происходят взрывы, сплошь и рядом имеющие своим последствием серьезные аварии двигателей и пожары. Для наполнения углекислотой пускового баллона, баллон с углекислотой устанавливают рядом с пусковым, отвинчивают его верхний колпак и соединяют с трубкой у пускового баллона; открывают вентили у пускового баллона и у баллона с углекислотой, и жидкая углекислота переходит в пусковой баллон в газообразном состоянии. Для более быстрого перехода углекислоты в пусковой баллон трубопровод можно подогреть теплыми тряпками, но не выше 30—40° Ц. Ни в коем случае не следует подогревать сам баллон с углекислотой, так как вследствие повышения давления может произойти разрыв баллона. Баллон с углекислотой должен сохраняться в прохладном месте при температуре не выше 25° Ц.

Хотя баллоны с кислородом бывают окрашены в голубой цвет, с углекислотой — в черный, однако, все же ввиду возможных ошибок баллон с углекислотой следует сначала проверить следующим образом: на тлеющие концы или лучину пускают небольшую струю из баллона, и если концы вспыхнут, то значит баллон наполнен кислородом; если же потухнут — то углекислотой.

13. Воспрещается пускать двигатель на бензине.

III. Уход за двигателем во время работы.

1. Наблюдать за правильной подачей смазки ко всем трущимся частям. Время от времени спускать в масляный фильтр масло, скопившееся в фундаментной плите; следить за подвижностью смазывающих колец в подшипниках, в особенности в первое время после пуска; ни одна масленка во время работы не должна опорожняться более чем на половину.

2. Спускать сконденсировавшуюся воду из форсуночного баллона и промежуточного холодильника через каждые полчаса.

3. Регулировать дроссель клапаном компрессора давления в форсуночном баллоне в зависимости от нагрузки: при повышении нагрузки давление увеличивать, а при понижении уменьшать. При чрезмерно высоком давлении форсуночного воздуха двигатель стучит, при слишком низком — дымит.

Давление форсуночного воздуха должно быть в пределах от 45 ат до предельного указанного заводом в зависимости от нагрузки, качества топлива и конструкции двигателя.

Средние величины давления форсуночного воздуха:

При холостом ходе	38—42 ат
„ нагрузке $\frac{1}{2}$	40—50 „
„ „ $\frac{3}{4}$	50—55 „
„ „ $\frac{1}{1}$	55—60 „
„ перегрузке	65—70 „

Давление в холодильнике низкого давления должно составлять приблизительно:

2 ат при давлении в форсунке баллона	45 ат
3 „ „ „ „ „ „	48—50 „
4 „ „ „ „ „ „	55—60 „
5 „ „ „ „ „ „	62—65 „
6 „ „ „ „ „ „	65—70 „

4. После установления давления в форсуночном баллоне соответственного нагрузке, посредством перепускных вентилей вновь заряжают пусковой баллон, доведя давление в нем до 50—55 ат.

5. Наблюдать за температурой исходящей охлаждающей воды всех охлаждаемых частей двигателя и трубопроводов по термометру или наощупь и следить за правильным непрерывным выходом ее. Температура исходящей охлаждающей воды должна быть 45—55° Ц, если же вода жесткая, то не выше 35—40° Ц. В случае упуска воды или повышения ее температуры свыше 70°, воспрещается сразу пускать большое количество холодной воды во избежание появления трещин в цилиндрических крышках или в цилиндрах; впускать холодную воду следует постепенно, если же двигатель сильно перегрелся (до 80° Ц), уменьшить

или выключить нагрузку и при малой нагрузке или холостом ходе дать двигателю остынуть, после чего снова нагрузить, в крайнем случае остановить двигатель.

6. Наблюдать за цветом исходящих газов, которые при правильном сгорании нефти должны быть бесцветны; если исходящие газы заметны, то это указывает на то, что двигатель не в порядке.

7. Через каждые полчаса необходимо осматривать и ощупывать все главные доступные части двигателя: подшипники, эксцентрики, а также нижние части цилиндрических втулок.

8. Время от времени опробовать рукой все охлаждаемые части двигателя и трубопровод исходящей воды. Следить за правильным непрерывным вытеканием воды в воронку; прерывистый выход свидетельствует о попадании в охлаждающие пространства сжатого воздуха вследствие трещины на воздушных змеевиках холодильника или трещины на цилиндрической крышке; полное прекращение выхода воды свидетельствует о засорении водяных каналов отпавшей накипью или илом, или появления воздушных пробок, или, наконец, парообразования вследствие перегрева воды.

9. Следить за тем, чтобы при кольцевой смазке кольца вращались, не останавливаясь, а при циркуляционной смазке — чтобы в маслопроводе было предписанное заводом давление, наблюдаемое по манометру.

10. В сборнике масла всегда должно находиться достаточное количество масла и уровень его никогда не должен опускаться ниже предельного.

11. Проверять правильность закрытия всех клапанов наощупь.

12. Во время работы двигателя воспрещается подтягивать сальник форсуночной иглы.

13. Наблюдать за нагрузкой двигателя по стрелке от муфты регулятора или по регистратору нагрузки, если таковой имеется, и в случае чрезмерного повышения нагрузки принимают меры к ее снижению, не допуская длительной перегрузки двигателя.

14. Держать двигатель в чистоте; обтирка двигателя должна производиться чистыми тряпками или «концами», а не паклей. Во время работы двигателя воспрещается производить обтирку всасывающих труб и чистку частей двигателя в опасных местах.

15. Очищать от грязи нефтяной фильтр.

16. Вести тщательное наблюдение за работой компрессора; показания манометра на промежуточных ступенях должны соответствовать указаниям завода и нагрузке двигателя, причем отклонения от них означают пропуск клапанов или засорение змеевиков холодильников, для осмотра и устранения дефектов которых двигатель должен быть остановлен.

IV. Остановка двигателя.

1. Разгрузить двигатель, так как остановка должна производиться только на холостом ходу (выключить фрикционную муфту или перевести ремень на холостой шкив).

2. Выключить подачу нефти посредством выключательного механизма нефтяного насоса.

3. Закрыть все краны для нефти и нефтяных фильтров и на нефтепроводе от фильтров к нефтяному насосу.

4. Закрыть регулирующий клапан компрессора.
5. Закрыть главный вентиль форсуночного баллона (к «форсунке»).
6. Включить рычаги, уничтожающие компрессию, и переставить пусковые рукоятки в среднее положение.
7. После остановки двигателя закрыть вентиль «от насоса» и открыть все продувательные краны на сепараторах и холодильниках.
8. Прекратить приток охлаждающей воды.
9. Прекратить подачу масла масленками.
10. Двигателю надо дать остановиться самому и ни в коем случае не затормаживать его буксовкой.
11. Осмотреть двигатель и проверить, не нагрелись ли где-либо подшипники.
12. Обтереть и очистить двигатель.
13. Исправить все замеченные как во время работы, так и после остановки двигателя неисправности и записать их в журнал работы двигателя.
14. Подать отработавшее масло на фильтр.
15. Спустить осевшую воду из нефтяного фильтра.
16. В зимнее время, если двигатель останавливается на продолжительный срок, спустить всю воду из охлаждающих полостей и из трубопроводов.
17. Если двигатель останавливается на продолжительное время, то перед остановкой усиленной подачей масла должны быть обильно смазаны все части и рабочие цилиндры; время от времени дизель должен быть пробуксован. Выхлопные клапаны в этом случае должны быть закрыты.
18. Если будет замечена утечка воздуха из воздушных баллонов, то двигатель должен быть пущен в ход и воздух подкачен до необходимого давления и при первой возможности причина утечки должна быть устранена.

V. Неисправности в работе дизелей.

а) Двигатель при пуске не идет в ход.

Причины:

1. Не включена буксовка или неправильно поставлены кривошпы.
2. Двигатель не идет, а поршни качаются вверх и вниз, не переходя через верхнюю мертвую точку вследствие того, что пропускает пусковой клапан или клапан застревает в направлении, или ролик рычага пускового клапана нажимает все время на кулачную шайбу; надо разобрать клапан, посмотреть, притереть. Пропуск пускового клапана характеризуется нагреванием трубы, подводящей воздух из пускового баллона к пусковому клапану.
3. Двигатель не дает вспышки вследствие:
 - а) отсутствия топлива в форсунке — надо открыть пробный краник и прокачать нефть вручную, пока она не покажется из краника; проверить, есть ли нефть в баке и открыты ли краны;
 - б) загрязнения и пропуска клапанов нефтяного насоса или попадания воздуха в насос — надо прокачать нефть вручную, пока не перестанут показываться пузырьки воздуха;
 - в) нефть слишком густа — надо нефть прогреть;

г) в нефть попала вода — надо сменить нефть;

д) краны на нефтепроводе не открыты;

е) нефтяной насос выключен;

ж) нефтяной насос не отрегулирован.

4. Недостаточность компрессии вследствие пропуска поршней или клапанов или трещин в поршне. Дать в цилиндр густого масла, если не поможет — надо сменить поршневые кольца, притереть или сменить запасным неплотный клапан, сменить головку поршня. Поршневые кольца пригорели — надо их осмотреть и очистить.

5. Двигатель и нефть очень холодны; нефть надо подогреть, двигатель несколько раз пустить воздухом для прогрева, строго следя за воздухом, чтобы его не израсходовать полностью.

6. Слишком низкое давление пускового воздуха, вследствие чего двигатель не может развить достаточного числа оборотов.

7. Недостаточное давление форсуночного воздуха.

8. Плунжер или клапаны нефтяного насоса пропускают.

9. Засорены щели всасывающей трубы — надо прочистить щели.

10. Пропуск форсунки пускового или выпускного клапана — надо притереть.

11. Утечка воздуха или просачивание воды в цилиндр вследствие образования трещины в цилиндрической крышке.

б) Двигатель останавливается.

Причины:

1. Чрезмерно большая нагрузка — надо разгрузить двигатель до нормальной мощности.

2. Заело рабочий поршень, поршень воздушного насоса или подшипник верхней головки шатуна вследствие недостаточной смазки и попадания мусора, или от перегрузки.

3. Израсходована вся нефть в расходном баке — надо пополнить бак.

4. В нефти много воды.

5. Выпускной клапан пропускает вследствие плохой притирки — надо притереть клапан или заменить запасным.

6. Клапаны не закрываются вследствие того, что от удлинения шпинделей клапанов от нагревания из-за недостаточных зазоров между роликами и кулачковыми шайбами ролики катятся по шайбам; надо увеличить зазоры.

в) Двигатель стучит.

Причины:

1. Давление форсуночного воздуха слишком велико — уменьшить давление воздуха.

2. Отверстие сопла форсунки слишком увеличилось от износа — сменить сопло.

3. Форсуночная игла не плотна или застревает — надо осмотреть и исправить иглу.

4. Выпускной клапан неплотен или застревает — надо очистить клапан, притереть или заменить запасным.

5. Излишняя слабина в коренных или мотылевых подшипниках, или в поршневом пальце; для определения места стука во все подшипники

поочередно вводится избыточное количество масла, и если стук прекращается, то это указывает, в каком подшипнике имеется чрезмерная слабина; подшипник надо разобрать и уменьшить слабину, если сильно разработалась баббитовая заливка, то ее надо перезалить.

6. Болты шатуна ослабли — подтянуть их.

7. Чрезмерно большие зазоры между роликами и кулачными шайбами — уменьшить зазоры.

8. Преждевременное открытие форсуночной иглы.

9. Преждевременные вспышки (см. п. 3).

10. Заедание поршня вследствие недостатка смазки или чрезмерной перегрузки.

11. Недостаточный зазор между головкой поршня и цилиндром, вследствие чего головка при нагревании заедает.

12. Слишком большой зазор между поршнем и цилиндром.

13. Перекос поршня вследствие отклонения от горизонтального положения верхнего и нижнего подшипников шатуна.

14. Слишком большой зазор в винтовых распределительных шестернях или они сильно разработались.

15. Коренной или распределительный вал имеет слишком большой боковой ход, вследствие износа упорного подшипника.

16. Коренной вал имеет трещину; маховик начинает бить.

г) Отходящие газы дымят.

Причины:

1. Перегрузка.

2. Форсуночное давление воздуха слишком низко для данной нагрузки.

3. Недостаточное давление сжатия (компрессия).

4. Плохое распыливание топлива вследствие неисправности форсунки.

5. Слишком густое топливо.

6. Запоздывание вспышки.

7. Форсуночная игла пропускает или заедает — притереть иглу и устранить торможение ее в сальниках и направлениях подтянуть слабую пружину, заменить запасной сломавшуюся пружину.

8. Недостаточный подъем иглы.

9. Засоренность сопловой пластинки или распылителя форсунки, — прочистить и промыть.

10. Неправильные зазоры между роликами и кулачными шайбами.

11. Неравномерное распределение нагрузки между цилиндрами; надо определить по индикаторной диаграмме, в каких цилиндрах большая нагрузка и в каких меньшая, и отрегулировать подачу нефти.

12. Неплотность во всасывающем, выхлопном или пусковом клапанах.

13. Недостаточное для полного сгорания количество засасываемого воздуха, вследствие засорения щелей во всасывающем трубопроводе.

14. Вследствие слишком большого сопротивления в выхлопном трубопроводе часть отходящих газов остается в цилиндре.

15. Неподходящий сорт нефти.

16. Недостаточность компрессии вследствие пропуска поршня, неплотности клапанов или очень большого вредного пространства.

д) Отходящие газы окрашены в белый цвет.

Причины:

1. В глушителе скопилась сконденсировавшаяся вода.
2. Вода проникает в цилиндр через трещину в цилиндровой крышке.
3. В нефти содержится вода.
4. Всасываемый в двигатель воздух слишком влажен.
5. В форсуночном баллоне скопилась сконденсировавшаяся вода, вследствие обрыва продувочной трубки.

е) Неравномерная работа двигателя.

Причины:

1. Заедание в регуляторе, в тягах регулятора или в отсечном механизме.
2. Поршень катаракта регулятора защемляется вследствие загрязнения.
3. Клапаны одного из нефтяных насосов пропускают.
4. Один из цилиндров имеет неправильное сжатие.
5. Неравномерное распределение топлива между цилиндрами.
6. Слишком высокое давление распыливающего воздуха.
7. Слишком большие отверстия в соплах.
8. Слишком большой зазор в шестернях винтовой передачи.
9. Наличие воды в нефти.
10. Неодновременность моментов вспышки в цилиндрах.
11. Слишком большое отверстие в поршне масляного катаракта регулятора или слишком жидкое масло.
12. Пропуск одной форсуночной иглы.

ж) Неисправности компрессора и воздушных баллонов.

1. Компрессор не подает достаточно воздуха.

Причины:

1. Холодильник или соединительный трубопровод загрязнились.
2. Клапаны компрессора пропускают вследствие загрязнения от обильной смазки поршня; пропуск всасывающего клапана низкого давления обнаруживается выбрасыванием из него воздуха при сжимающем ходе поршня, а высокого давления — нагреванием подводящей к нему трубки, которая нормально должна быть холодной.
3. Клапаны тормозятся в направлениях вследствие загрязнения.
4. Пружины клапанов сломаны.
5. Вредное пространство слишком велико (велик зазор между крышкой и поршнем).
6. Поршневые кольца не пружинят, так как их заело в канавках от засорения влажным или грязным воздухом и слишком обильной и недоброкачественной смазки; частое заедание колец указывает на редкую продувку холодильника от воды и грязи.
7. При нормальной работе компрессора давление в первой ступени должно быть не более 6—8 ат при совершенно открытом регулирующем клапане. Более высокое давление указывает на неисправность клапанов высокого давления или на слишком большое вредное пространство ци-

цилиндра высокого давления; слишком низкое давление при открытом регулирующем клапане указывает на неисправность клапанов низкого давления или большое вредное пространство в низком давлении.

II. Стуки в компрессоре.

Причины:

1. Слишком большой зазор в подшипниках шатуна.
2. Ослабление гаек шатунных болтов или крепления поршневого пальца компрессора.
3. Непараллельность осей шатунных подшипников и появление вследствие этого боковых усилий в шатуне или поршне.
4. Заедание поршня высокого давления вследствие загрязнения чрезмерно обильным или недоброкачественным маслом.
5. Заедание поршня вследствие недостатка смазки.
6. Загрязнение сгоревшим маслом воздухопроводов высокого давления.
7. Неплотность (трещина) в змеевиках холодильников; пропуск воздуха змеевиком обнаруживается пульсацией, прерывистым выходом исходящей охлаждающей воды в воронку.

III. Воздушные резервуары пропускают воздух.

Причины:

1. Неплотно закрыты вентили.
2. Неплотно седла вентилялей.

з) Преждевременные вспышки.

Причины:

1. Чрезмерная подача смазки, которая, испаряясь, образует взрывчатую смесь, воспламеняющуюся во время хода сжатия; надо уменьшить подачу смазки.
2. Пропуск форсуночной иглы, вследствие которого часть нефти попадает в цилиндр ранее открытия иглы и воспламеняется во время хода сжатия.
3. Преждевременная подача нефти вследствие неправильной установки камня на кулачной шайбе топливного клапана (форсунки) или вследствие отсутствия зазора между шайбой и роликом, вследствие чего выступ шайбы воздействует на ролик раньше времени.
4. чрезмерно большая подача нефти в цилиндры вследствие неправильной регулировки нефтяного насоса или распределителя топлива. В этом случае часть нефти, не сгорая за недостатком кислорода, остается на поршне и взрывается при следующем ходе сжатия.
5. Слишком большие отверстия в сопловых пластинках; надо поставить новые пластинки с нормальным отверстием.
6. После неудачных многократных пусков двигателя вследствие скопления на поршне значительного количества нефти от предыдущих пусков, которая может воспламениться во время хода сжатия одного из последующих пусков. Ввиду этого после нескольких неудачных пусков скопившаяся на поршне нефть должна быть удалена посредством продувки.

7. Преждевременная вспышка, происходящая во время хода сжатия, при уменьшающемся объеме цилиндра сразу повышает давление в цилиндре, которое к концу сжимающего хода поршня достигает чрезвычайно больших величин (до 100 и больше атмосфер); вследствие этого в момент открытия форсуночной иглы давление форсуночного воздуха преодолевается давлением в цилиндре, нефть, находящаяся в форсунке, воспламеняется и происходит взрыв форсунки, нередко передающийся в трубопровод, подводящий воздух, а иногда и в форсуночный баллон.

VI. Особенности обслуживания бескомпрессорных дизелей.

Хотя к бескомпрессорным дизелям почти полностью применимы правила обслуживания компрессорных дизелей, за исключением всего, относящегося к компрессору и распыливанию, однако в обслуживании их имеются некоторые особенности, вызываемые отличием от компрессорных дизелей способом распыливания и конструкцией форсунок; эти особенности обслуживания бескомпрессорных дизелей в основном заключаются в следующем:

а) Пуск в ход.

1. Необходимо осуществлять плавный, спокойный пуск в ход, так как в бескомпрессорном дизеле начало сгорания обычно сопровождается резким повышением давления; поэтому нельзя несколькими резкими вспышками доводить двигатель до нормального числа оборотов, а дать двигателю возможно большее число оборотов пусковым воздухом.

2. Во время подачи пускового воздуха в цилиндр не следует вводить топливо; нефтяные насосы могут быть включены только на тех цилиндрах, на которых нет пусковых клапанов.

3. Сначала насосы должны быть включены при положении рукоятки, соответствующем половинной подаче топлива; если такое положение конструкцией двигателя не предусмотрено, то насосы надо включать постепенно; если же при пуске первые вспышки получились очень резкими, то надо выключить насос и потом снова его осторожно включить.

4. Надежный пуск бескомпрессорного дизеля обеспечивается хорошей компрессией и правильным распыливанием нефти. Проверка правильности распыливания заключается в следующем: при закрытом перепускном клапане и положении приводного механизма, соответствующем нижней точке плунжера, прокачивают топливо через пробный кран, причем, при быстрой работе насоса топливо должно выходить толчками соответственно быстрым движениям рукоятки; если же топливо вытекает медленно, затухающей струей, то это указывает на присутствие воздуха в насосе; если топлива вытекает очень мало, то это свидетельствует о неплотности клапана или неправильной регулировке перепускного клапана.

б) Уход во время работы.

1. Особо тщательно следить за очисткой нефти, чистота которой приобретает особо важное значение в связи с весьма малым отверстием сопла.

2. Обращать особое внимание на состояние форсуночной иглы и сопловой пластинки.

3. При очистке форсунки все твердые коксовые образования должны удаляться только при помощи керосина и тряпок.

4. При прочистке отверстий в сопловой пластинке надо следить за тем, чтобы не повредить их и не увеличить их размеры.

5. При всяких, даже незначительных, повреждениях сопловой пластинки, таковая должна быть заменена новой, которая должна быть притерта к корпусу форсунки.

6. При неплотности плунжера нефтяного насоса плунжер и его направляющая втулка должны быть сменены.

7. Содержать днище поршня и камеру сгорания в полной чистоте.

VII. Чистка и текущий ремонт двигателя.

а) Чистка.

1. Щели всасывающих труб всегда должны быть чистыми.

2. Выхлопные клапаны и форсуночные иглы должны быть вынуты и прочищены не реже, чем после 300 час. работы, и, если надо — притерты. Отверстие сопловой плитки должно быть прочищено калиброванным латунным шомполом. Вставляя иглу на место, тщательно вытереть ее, смазать густым цилиндровым маслом то место ее, которое работает в сальнике, и убедиться, что игла легко ходит в сальнике.

3. Воздухоочистители необходимо чистить не реже, чем через 300 час. работы двигателя.

4. Все масленки должны быть очищены не реже чем после 1000 час. работы.

5. Все клапаны компрессора должны быть вынуты и очищены не реже чем после 150 час. работы.

П р и м е ч а н и е. Указанные сроки являются средними и могут увеличиваться или уменьшаться в зависимости от величины нагрузки, ухода, качества нефти и масла.

б) Текущий ремонт.

Для исправного действия двигателя один раз в год двигатель должен быть разобран для текущего ремонта, который в общем должен заключаться в следующих работах:

1. Тщательно осмотреть щеки кривошипов для выяснения появления трещин, проверить шейки вала на эллиптичность и, в случае надобности, удалить таковую.

2. Пригнать шатунные подшипники по валу, проверить правильность положения шатуна по отношению к валу и устранить перекосы, если таковые имеются.

3. Пригнать шатунные подшипники к пальцу поршня, проверить правильность положения шатуна по отношению к поршню и устранить перекосы, если они имеются.

4. Проверить целостность шпилек коренных подшипников.

5. Проверить крепление станин.

6. Очистить картер и отверстия в нем для стока масла.

7. Проверить крепление кривошипных противовесов.

8. В компрессорах пригнать подшипники и поршневые кольца, сменив сработанные, проверить и притереть клапаны и пружины, если надо, сменить пружины.

9. Очистить от грязи и наклипи все охлаждающие пространства.
10. Цилиндровую втулку и рабочий поршень очистить от нагара, промыть керосином и тщательно осмотреть.
11. Снять выработку цилиндровой втулки и зачистить поврежденные от заедания места как на поршне, так и на втулке, если такие места имеются.
12. Если головка поршня отъемная, подкрепить гайки, если они ослабли, или заменить головку, если таковая имеет трещины.
13. Снять, очистить и заменить сработанные поршневые кольца новыми, проверить канавки для колец, пригнать кольца по цилиндру.
14. Проверить поршневой палец на эллиптичность, и если таковая окажется — притшлифовать его.
15. Осмотреть пружины клапанов и неисправные заменить новыми.
16. Проверить и, если необходимо, притереть все клапаны.
17. Проверить нефтяные и масляные насосы, сменить набивку сальников и сработанные плунжеры.
18. Осмотреть и, если нужно, пригнать подшипники распределительного вала; проверить зазоры между кулачными шайбами и роликами.
19. Осмотреть винтовые шестерни и подпятники, зачистить следы заедания и установить необходимые зазоры.
20. Проверить все втулки и пальцы механизмов и уничтожить мертвые ходы, сменив все сработавшиеся пальцы и втулки.
21. Проверить все предохранители на установленное давление.
22. Убедиться, что в рабочий цилиндр и в цилиндр компрессора не проникает вода.
23. Тщательно осмотреть болты нижней и верхней (если они имеются) головок шатунов; если имеются хотя бы мельчайшие трещины или надрывы в материале, а также следы вытяжки болтов или их неплотности в гнездах, болты заменить новыми, изготовленными из высококачественного материала на дизелестроительных заводах.
24. Прочистить и промыть керосином все отверстия для подачи масла.
25. Очистить и промыть все трубопроводы: водяные, топливные, масляные и воздушные.
26. Очистить выхлопные трубы и глушители.
27. Проверить все манометры.
28. Проверить воздушные змеевики холодильников на полуторное давление и неисправные заменить запасными. Внутренняя очистка змеевиков от нагара и грязи производится содовым раствором или паром, если таковой имеется.
29. Проверить подачу масла насосами.
30. При сборке двигателя установить необходимое пространство сжатия рабочих цилиндров, чтобы компрессия была 30—33 ат, одинаковая во всех цилиндрах; высота пространства сжатия замеряется свинцовыми столбиками и по ним производится сборка двигателя.
31. При сборке компрессора проверить, чтобы вредное пространство над поршнем высокого давления соответствовало указанному заводом, построившим двигатель.
32. После сборки двигателя проверить опережение топливного клапана и отрегулировать нефтяные насосы так, чтобы подача топлива прекращалась несколько раньше полного поднятия регулятора.

33. Капитальный ремонт двигателя производится по мере необходимости в случае производства такового; вышеперечисленные работы характера текущего ремонта должны быть произведены одновременно с капитальным ремонтом.

34. Исправление и ремонт двигателя на ходу воспрещается.

35. Если на маховике нет отметки правильного пускового положения, необходимо сделать такую отметку, чтобы машинист, пускающий двигатель, при буксовке такового мог легко поставить двигатель правильно на ход.

VIII. Мероприятия, необходимые для предупреждения аварий дизелей.

1. Заменять болты нижней головки шатуна новыми через 40 000 час. работы, независимо от состояния болтов, причем болты должны быть изготовлены из специальной никелевой или хромоникелевой стали (с коэффициентом крепости от 50 до 70 кг/см²) на дизелестроительном заводе.

2. Через каждые три-пять лет поднимать коренной коленчатый вал; осмотреть и очистить подшипники, проверить вал и, если нужно, перезалить вкладыши подшипников.

3. Производить поднятие вала после нагрева коренных подшипников, какого-либо механического удара в цилиндре или чрезмерной преждевременной вспышки.

4. Перед пуском двигателя, в особенности после одного или нескольких неудачных пусков, продувать цилиндры двигателя для удаления нефти, которая может скопиться при неудачных пусках и вызвать предварительно вспышку, или воды, в случае образования трещин в цилиндровой крышке.

5. Как правило, заказывать шатунные болты и поршневые пальцы исключительно дизелестроительным заводам.

6. Компрессорные дизели должны быть снабжены предохранительными клапанами на следующих частях:

а) пружинными клапанами достаточного сечения — на каждой цилиндровой крышке рабочих цилиндров и цилиндров компрессора и на каждой распределительной головке форсуночного и пускового воздушных баллонов;

б) резиновыми предохранительными клапанами с большими отверстиями на водяных рубашках воздушных холодильников;

в) пластинчатыми предохранительными клапанами — на воздушных форсуночных трубах, по возможности, ближе к форсунке.

7. Стремиться к замене змеевиковых и петлеобразных воздушных холодильников холодильниками из прямолинейных труб с предохранительными клапанами.

8. Устраивать приспособления (упорные кольца) для ограничения подачи нефти нефтяными насосами при повышении нагрузки более чем на 10% сверх нормальной. При параллельной работе дизелей на один трансмиссионный вал такие приспособления обязательны.

9. Вменить в обязанность персоналу, обслуживающему двигатель, во избежание появления трещин как в цилиндровых крышках, так и в поршнях тщательно следить за качеством охлаждающей воды, принимая меры к уменьшению накипи: вести правильную регулировку температуры охлаждающей воды, не допуская резких изменений ее, и ни в коем случае не допускать перегрузок двигателей.

10. При непрерывной работе предприятия нормальным простоем для силовых станций с двигателями внутреннего сгорания, для производства мелкого текущего ремонта, считать 32 часа в месяц.

IX. Признаки, при появлении которых двигатель должен быть немедленно остановлен.

1. При появлении ненормальных стуков в машине.
2. При заедании поршня рабочего цилиндра или компрессора.
3. При ненормальном нагревании какого-либо подшипника.
4. При застревании форсуночной иглы.
5. При заедании какой-либо части передаточного регуляторного механизма или самого регулятора.
6. При появлении ненормальных колебаний маховика.
7. При развитии двигателя ненормально большого числа оборотов.
8. При пропуске пускового клапана.
9. При сильном пропуске всасывающего или выхлопного клапанов.
10. При падении давления вспрыскивающего воздуха ниже 40 ат и невозможности поднять его.
11. При повышении давления в воздухоочистительных сосудах сверх нормального.
12. При повышении температуры охлаждающей воды свыше 80° Ц.
13. При поломке какой-либо части двигателя.
14. При возникновении пожара в машинном помещении.

2. Инструкция по уходу за калоризаторным двигателем (низкого сжатия).

1. Подготовка двигателя к пуску.

1. Приготовить подогревательную лампу, наполнить ее керосином и разжечь.
2. Разогреть лампой калоризатор до темнокрасного каления, в течение 10—15 мин.
3. Проверить, выключена ли фрикционная муфта или переведен ли главный ремень на холостой шкив.
4. Наполнить нефтью расходный нефтяной бак.
5. Открыть все нефтяные вентили.
6. Провернув нефтяной насос несколько раз вручную, убедиться в исправном действии насоса и в отсутствии воздуха в нефтепроводе; для этого открывают пробный вентиль на нефтяной трубке около форсунки и наблюдают, выходит ли из него нефть с пузырьками воздуха или без них.
7. Проверяют форсунку на хорошее распыливание нефти, для чего вывинчивают ее из цилиндра, соединяют с трубкой, подводящей нефть, и, проворачивая нефтяной насос вручную, следят за тем, чтобы нефть вырывалась из форсунки в виде расходящегося конуса мельчайших пылинков.
8. Наполняют маслом все масленки, устанавливают правильную подачу его; смазывают все шейки коренного и распределительного вала и механизм регулятора, наливают масло во все отверстия для смазки и открывают краны от аппаратов для автоматической смазки поршня и шатуна, проверяют исправность смазочных колец коренных подшипников при кольцевой смазке.

9. Проверить, достаточно ли воды в циркуляционных баках, если таковые имеются, или в баке холодной воды, и, если надо, дополнить их. Во время разогревания калоризатора все вентили на трубопроводе охлаждающей воды должны быть закрыты и открываются только после пуска двигателя в ход.

10. В четырехтактном двигателе — проверить вручную все клапаны на легкий и свободный ход и быстрое закрывание.

11. Проверить надежность крепления гаек, болтов головок шатуна, коренных подшипников и пр.

12. После 10—15-минутного подогрева калоризатора открыть индикаторный и продувочный кран, прокачать вручную топливо в цилиндр и в случае появления дыма из крана — можно считать, что калоризатор готов к пуску.

13. Поставить выпускной клапан на полусжатие, посредством введения так называемого пускового кулака.

14. Открыть все масленки.

15. Подкачать вручную нефть двумя-тремя качаниями.

16. Открыв продувательные краны или декомпрессионные клапаны, пробуксовать двигатель на полный оборот вала, чтобы убедиться в том, что ничто не препятствует свободному вращению двигателя, а затем поставить двигатель на ход, т. е. в положение, соответствующее небольшому переходу поршня через мертвую точку момента вспышки. В этот момент (начало 3-го такта) все клапаны в четырехтактном двигателе должны быть закрыты.

II. Пуск в ход двигателя.

а) Пуск посредством сжатого воздуха.

(Пусковой клапан управляется от руки; четырехтактные и двухтактные двигатели.)

1. Открыть вентиль пускового баллона.

2. Быстрым движением руки открыть и сейчас же закрыть пусковой клапан, а затем закрыть и вентиль на пусковом баллоне. Если не получилось вспышки, то повторным открытием и закрытием пускового клапана производят новые толчки, следя за тем, чтобы в четырехтактных двигателях открытие пускового клапана происходило в начале 3-го, а не 1-го такта, так как в противном случае сжатый воздух выйдет через открытые клапаны.

3. После получения вспышки переводят кулачок выпускного клапана на полное сжатие.

(В четырехтактных двигателях пусковой клапан управляется от распределительного механизма.)

1. Открыть вентиль пускового баллона.

2. Переставить кулачок, управляющий открытием пускового клапана; тогда кулачок откроет пусковой клапан, поршень получит первый толчок и в дальнейшем распределение происходит автоматически.

3. После 5—6 оборотов двигателя на сжатом воздухе выключают пусковой кулачок и вводят рабочий кулачок.

4. После того, как образовалась вспышка, и двигатель пошел, необходимо кулачок выпускного клапана перевести на полное сжатие, пустить охлаждающую воду и включить все масленки.

5. Пуск двигателя жидкой углекислотой, в случае израсходования сжатого воздуха (см. инструкцию по уходу за двигателями дизеля, раздел II, п. 12).

б) Пуск в ручную (для двигателей мощностью до 20 л. с.).

1. Взяв маховик за спицы, быстро повернуть его в сторону, обратную нормальному направлению вращения, при этом сжатый в цилиндре воздух дает поршню толчок в направлении нормального вращения двигателя и облегчает дальнейшее вращение в этом направлении маховика, которое производится руками. Ни в коем случае нельзя становиться ногами на спицы маховика во избежание несчастия при быстрой перемене направления вращения, а вращать маховик только руками.

2. После образования вспышки кулачок выпускного клапана перевести на полное сжатие, пустить охлаждающую воду и открыть все масленки.

в) 1. После того как двигатель пошел и достаточно разгорелся, пустить охлаждающую воду, постепенно регулируя ее количество.

2. В зависимости от степени нагрева калоризатора погасить подогревательную лампу или оставить ее еще на некоторое время.

3. Проверив правильность работы смазки и охлаждения, постепенно нагружать двигатель.

III. Уход за двигателем во время работы.

1. Наблюдать за правильной подачей смазки ко всем трущимся частям; своевременно пополнять масленки.

2. Следить за наличием нефти в нефтяном баке.

3. Следить за температурой калоризатора; температура калоризатора регулируется степенью открытия заслонки на кожухе калоризатора, причем при слабой нагрузке эти заслонки должны быть закрыты, так как в противном случае калоризатор может охладиться и двигатель остановится. Нормально калоризатор должен иметь темновинный цвет.

4. В двигателях со впрыскиванием воды в цилиндр — регулировать подачу воды (обычно 10—15 капель в минуту), количество каковой в этих двигателях регулирует температуру калоризатора.

5. Наблюдать за температурой исходящей охлаждающей воды, не допуская таковую выше 45—55° Ц. В случае упуска воды или повышения ее температуры свыше 70° — воспрещается сразу пускать большое количество холодной воды во избежание появления трещин, а увеличивать постепенно количество воды. В случае чрезмерного перегрева двигателя до 80°, уменьшить или выключить нагрузку и при малой нагрузке или при холостом ходе дать двигателю остыть, после чего снова нагрузить; в крайнем случае остановить двигатель.

6. Наблюдать за цветом исходящих газов, которые при правильном сгорании топлива должны быть бесцветны; если исходящие газы дымят, то это указывает или на перегрузку двигателя, или на плохое качество нефти, или на неисправность форсунки.

7. Если двигатель снабжен пусковым аппаратом, озаботиться наполнением пускового баллона воздухом или отходящими газами: напол-

нение, отходящими газами производится во время возможно большей нагрузки двигателя, так как иначе в пусковом баллоне не получится достаточного давления.

8. Спускать сконившуюся в глушителе воду.

9. Держать двигатель в чистоте.

IV. Остановка двигателя.

1. Выключить фрикционную муфту или перевести ремень на холостой шкив.

2. Выключить нефтяной насос.

3. Открыть продувальный кран.

4. В четырехтактном двигателе перевести ролик выпускного клапана на полусжатие.

5. Прекратить подачу охлаждающей воды и подачу воды в цилиндр, если имеется капельница.

6. Прекратить подачу смазки, закрыв все масленки.

7. В четырехтактном двигателе повернуть маховик таким образом, чтобы все клапаны были закрыты, и закрыть продувальный кран во избежание проникновения влаги в цилиндр.

8. Осмотреть и обтереть двигатель и произвести исправление замеченных во время работы или после остановки неисправностей.

9. В зимнее время, если двигатель останавливается на продолжительное время, спустить всю воду из охлаждающих полостей и из трубопроводов.

10. Не следует останавливать двигатель, если калоризатор нагрет докрасна; необходимо, чтобы после выключения нагрузки двигатель поработал несколько минут вхолостую, пока не остынет калоризатор.

V. Неисправности в работе калоризаторного двигателя.

а) Двигатель при пуске не идет в ход.

Причины:

1. В нефтяном баке нет нефти или закрыт кран на нефтепроводе, или последний имеет течь.

2. Форсунка плохо распыливает нефть вследствие неплотности в сальнике нефтяного насоса, или неплотностей в нефтепроводе, через которые засасывается воздух, или вследствие разработки отверстия форсунки.

3. Засорение форсунки, нефтяного насоса или нефтепровода.

4. В калоризатор впрыснуто слишком много нефти, на что указывает выход густого дыма из выхлопной трубы или продувального крана; надо выключить нефтяной насос и провернуть несколько раз двигатель при открытом продувальном кране и горящей лампе.

5. Недостаточный нагрев калоризатора.

6. Проникновение воды в цилиндр из охлаждающего пространства при неплотности между крышкой и цилиндром. Надо сменить прокладку и проверить плотность шгуцера, подающего смазку в цилиндр.

7. Четырехтактный двигатель нельзя перевести через внутреннюю мертвую точку вследствие того, что выпускной ролик не переставлен на полусжатие.

8. Пропуск поршня вследствие загорания поршневых колец в гнездах или большой разработки цилиндра. Надо промыть кольца керосином или дать густую смазку.

П р и м е ч а н и е. Пропуск поршня определяется выбрасыванием продуктов сгорания через зазор между гильзой цилиндра и поршнем. Если промывка колец керосином и обильная густая смазка не помогают, двигатель требует расточки или смены цилиндровой гильзы.

б) Двигатель не развивает полной мощности.

Причины:

1. Пропуск поршня вследствие загорания поршневых колец в гнездах или большой разработки цилиндровой втулки.

2. Пропуск всасывающего или выхлопного клапана в четырехтактном двигателе вследствие нагара, разработки или заедания шпинделей; надо промыть клапан или шпиндель керосином и притереть клапан.

3. В двухтактных двигателях вследствие неплотностей в кривошипной камере при разработке коренных подшипников, надо пришабрить подшипники и исправить приспособления для уплотнения.

4. Плохое распыливание нефти вследствие разработки отверстия форсунки; если конструкция форсунки не позволяет уменьшить отверстие, надо сменить форсунку.

5. Чрезмерно большая подача нефти насосом, что определяется выходом темного дыма из выхлопной трубы.

6. В двухтактном двигателе — неплотность всасывающего клапана.

7. Нагар в калоризаторе или загрязнение насоса.

8. Чрезмерное охлаждение цилиндра; надо уменьшить подачу воды.

9. Повышение противодавления в цилиндре вследствие сужения выхлопного канала от загрязнения или вследствие слишком большой длины выхлопного трубопровода; очистить выхлопной трубопровод, увеличить его диаметр, укоротить его или устроить охлаждение выхлопной трубы.

10. Постепенное падение мощности двигателя вскоре после нагрузки указывает на то, что трубопровод, подводящий воздух к двигателю, проложен слишком близко от выхлопного трубопровода и нагревается от него, вследствие чего вес воздуха, засасываемого двигателем, уменьшается; надо изменить расположение трубопроводов, если же это невозможно, то изолировать трубопроводы или устроить охлаждение выхлопного трубопровода.

в) Двигатель работает неравномерно.

Причины:

1. Нечувствительность регулятора вследствие разработки рычагов или загрязнения регулятора затвердевшим маслом; надо промыть регулятор керосином и хорошо смазать его.

г) Двигатель останавливается.

Причины:

1. Перегрузка.

2. Загрязнение калоризатора нагаром.

3. Вследствие плохого качества смазки или недостаточности ее происходит сильный нагрев и заедание поршня, которое и является причиной остановки двигателя. Это же явление может происходить вследствие неправильного выбора места подачи смазки в цилиндр, которая должна подаваться между вторым и третьим поршневым кольцом, считая от доньшка поршня при внешнем мертвом положении его.

4. Сильный нагрев и заедание поршня вследствие недостаточного охлаждения цилиндра.

Последнее может быть следствием образования накли в рубашке цилиндра, засорения подводящего холодную воду трубопровода или недостаточного количества охлаждающей воды.

д) Стуки и удары в двигателе.

Причины:

1. Зазоры между вкладышами подшипников и цапфами велики. Поочередной подачей обильной смазки определяют место стука. Пришлабрит или переменить вкладыши, осторожно подтянуть болты.

2. Слишком слаб поршень в цилиндре, вследствие большой разработки цилиндра или поршня; надо расточить цилиндговую втулку и сменить поршень.

3. Новый поршень слишком велик по диаметру, вследствие чего при нагревании его во время работы получается стук, для устранения которого надо поршень пришлифовать.

4. Преждевременные вспышки; надо устранить причину последних.

5. Неуравновешенность движущихся масс вследствие отсутствия противовесов; надо установить правильно рассчитанные противовесы на коленчатом валу.

6. Ослабление шпонки маховика; тогда в период всасывания, сжатия и выхлопа, когда поршень находится под действием маховика, шпонка прилегает к одной стороне шпоночной канавки, а в период вспышки — к другой стороне, вследствие чего и получают удары.

е) Преждевременные вспышки.

Причины:

1. Слишком большое сжатие, вследствие чего температура смеси повышается и происходит самовозгорание ее в период сжатия: давление сжатия должно быть не выше 6—7 ат. Надо увеличить вредное пространство и тем самым уменьшить сжатие.

2. Образование нагара от перегоревшего масла, частицы которого, продолжая гореть в период всасывания, воспламеняют горючую смесь. Нагар скопляется в различных углах и каналах, если таковые имеются во внутреннем пространстве головки двигателя.

Надо применять хорошие сорта смазки, избегать чрезмерной подачи масла в цилиндр и устранить каналы в рабочем пространстве (например индикаторные), заполняя их соответствующими болтами.

3. Острые углы и выступы или части выступающей прокладки между цилиндром и головкой, раскаляясь, могут служить причиной преждевременных вспышек в период сжатия.

4. Чрезмерная подача смазки, которая, испаряясь, образует взрывчатую смесь, воспламеняющуюся во время хода сжатия; надо уменьшить подачу смазки.

5. Перегрев калоризатора вследствие недостаточного вспрскивания воды в цилиндр; надо увеличить подачу воды, вспрскиваемой в цилиндр, или снять кожух с калоризатора для охлаждения его.

6. Недостаточное охлаждение цилиндра двигателя вследствие малого количества воды, проходящей через охлаждающее пространство или наличия в нем накипи; надо увеличить подачу охлаждающей воды или удалить накипь.

ж) Двухтактный двигатель продолжает работать при выключенном нефтяном насосе.

После снятия нагрузки вследствие того, что в кривошипной камере скопилось слишком много масла, которое при вращении вала разбрызгивается головкой шатуна, — в камере образуется слабая рабочая смесь из распыленного масла и воздуха, достаточная для работы двигателя вхолостую, которая и засасывается в цилиндр; надо остановить двигатель, разгрузив его, и спустить масло из кривошипной камеры. Периодически спускать масло, не допуская большого скопления его в кривошипной камере.

з) Разнос двигателя.

Беспрерывно увеличивающееся число оборотов двигателя, так называемый разнос двигателя, происходит тогда, когда развиваемая им работа больше, чем нагрузка, что бывает следствием неисправности в передаточном механизме регулятора, неисправности действия самого регулятора или скопления слишком большого количества нефти в цилиндре вследствие чрезмерной подкачки ее перед пуском. Надо прекратить приток нефти, увеличить подачу впрыскиваемой в цилиндр воды, открыть пробный продувательный или индикаторный кран для уменьшения сжатия.

VI. Чистка и текущий ремонт калоризаторного двигателя.

Чистка.

1. Выемка и чистка поршня производится один раз в $1-1\frac{1}{2}$ мес.
2. Чистка калоризатора — 1 раз в неделю.
3. Чистка всасывающих и выхлопных клапанов — 1 раз в неделю, а притирка их по мере надобности.
4. Осмотр и чистка форсунки через 2—3 дня; разборка и промывка ее в керосине — 2 раза в месяц.

Примечание. Указанные сроки являются средними и могут увеличиваться или уменьшаться в зависимости от величины нагрузки, ухода, качества нефти и масла.

Текущий ремонт.

См. «Инструкцию по уходу за двигателями Дизеля», VII, Б, исключая работ, вызываемых особенностями конструкции дизелей.

3. Инструкция по уходу за газогенераторными двигателями.

А. ГЕНЕРАТОР.

1. Растопка газогенератора и подготовка к пуску в ход.

1. Проверить свободный доступ воды к испарителю.
2. Очистить колосниковую решетку, набросать древесных стружек, щепок и т. п., насыпать угля и зажечь при открытых топочных дверках.
3. При помощи имеющегося на вытяжной трубе двухходового клапана сообщить генератор с вытяжной трубой, чтобы образующийся дым мог выходить в нее и чтобы трубопровод, идущий к скрубберу, был закрыт.
4. После того как уголь разгорится, закрыть топочные дверцы, пустить в ход вентилятор и довести уголь до полного горения.
5. Загрузить топливо в шахту генератора. Для этого открывают крышку воронки генератора, загружают в нее топливо, закрывают крышку и нажатием на рычаг нижнего клапана воронки открывают его, вследствие чего топливо спускается в шахту. После освобождения рычага клапан под действием груза закрывается. Производя эти действия несколько раз подряд, заполняют шахту генератора топливом, причем в это время вентилятор должен работать.
6. Через 5—10 мин. после загрузки генератора попробовать газ, зажигая его у пробного крана. Если газ горит ровным светлым пламенем, то при помощи двухходового клапана разобщить генератор с вытяжной трубой, сообщив со скруббером, и пустить воду в душ скруббера.
7. Посредством продолжающего работать вентилятора прогнать газ через скруббер, сухой очиститель, газопроводы через цилиндр двигателя и открытый продувальный кран и зажиганием газа через пробный кран убедиться в отсутствии в газе воздуха, на что указывает ровное, сильное, желтого цвета пламя горящего у пробного крана газа.
8. Закрыть продувальный и пробный краны, остановить вентилятор, и генератор готов к работе.

II. Уход во время работы.

1. Запрещается открывать пробный и продувальный краны и зажигать пробное пламя во время работы двигателя.
2. Наблюдать за достаточной промывкой газа душем скруббера, назначение которого заключается в очистке газа от взвешенных частиц золы и пыли, а также в охлаждении газа.
3. Следить за тем, чтобы газопровод от скруббера к двигателю не нагревался и чтобы скруббер в верхней части всегда был холодным.
4. Держать загрузочную воронку генератора всегда заполненной топливом.
5. Производить равномерно загрузку генератора частыми небольшими порциями.
6. В двухзонном дровяном или торфяном генераторе регулировать подачу воздуха через окна второй зоны таким образом, чтобы ниже этой зоны опускался только уголь или кокс, так как если через эти окна будет подаваться недостаточно воздуха, то углеобразование или коксообразование будет несовершенно и смола вместе с углем будет попадать в нижнюю зону и дальше в газопровод.

7. Производить очистку генератора от шлака не менее двух раз в сутки и каждый раз, когда замечается неравномерный ход или падение мощности двигателя.

8. Неравномерный ход или падение мощности двигателя являются обычно следствием засорения в том или ином звене газогенераторной установки. Поэтому для определения места засорения в таких случаях следует измерить вакуумметром разрежение в различных местах установки, присоединяя его к пробным кранам.

Нормальный вакуум: в генераторе — 50 мм, в испарителе 20 мм, в скруббере — 30 мм, в сухом очистителе — 40 мм. Следовательно, за генератором вакуумметр должен показывать 50 мм, за испарителем $50 + 20 = 70$ мм, за скруббером $70 + 30 = 100$ мм и за сухим очистителем около $100 + 40 = 140$ мм.

Значительное превышение показаний вакуумметра в одном из этих мест указывает на засорение.

9. Следить за подачей воды в испаритель.

10. Регулировать подачу пара из испарителя в генератор. Чрезмерное количество пара, а следовательно, и водорода в газе характеризуется неравномерной работой двигателя, преждевременными вспышками и выстрелами во всасывающей трубе.

11. Ежедневно опорожнять и очищать имеющиеся конденсационные и спускные горшки.

12. Очистка скруббера или заполнение его свежим коксом производится после обнаружения большой разницы разрежения в подводящей газ трубе и в выводящей газ из скруббера в сухой очиститель.

13. Сухой очиститель должен очищаться и заполняться свежими тонкими древесными стружками или крупными древесными опилками через каждые $1\frac{1}{2}$ —2 мес. Через те же промежутки времени должны заменяться железные стружки и известь, которые в некотором количестве кладутся в сухой очиститель в случае содержания в топливе серы для уничтожения серных паров.

14. Следить за достаточной вентиляцией в генеративном помещении.

III. Остановка газогенератора.

1. При помощи двухходового клапана закрыть доступ газа к скрубберу и открыть вытяжную трубу. Невыполнение этого условия может повлечь взрыв скопившегося в генераторе газа.

2. Прекратить доступ воды в скруббер. Подача воды в испаритель не должна прекращаться до тех пор, пока в генераторе есть огонь.

3. Если генератор останавливается на непродолжительное время, то открывают топочную дверку, чтобы топливо продолжало гореть, и после продувки всей системы генератор снова может быть включен в работу.

4. Доступ в газопровод, скруббер и очиститель допускается лишь при совершенно погасшем генераторе и после того, как таковые будут провентилированы.

Б. ДВИГАТЕЛЬ.

1. Приготовление к пуску в ход.

1. Проверить, выключена ли фрикционная муфта или переведен ли главный ремень на холостой ход.

2. Наполнить маслом все масленки, установить правильную подачу его; смазать все шейки коренного и распределительного вала и механизм регулятора; налить масла во все отверстия для смазки и открыть краны от аппаратов для автоматической смазки поршня и шатуна, проверить исправность смазочных колец коренных подшипников при кольцевой смазке.

3. Проверить, достаточно ли воды в циркуляционных баках, если таковые имеются, или в баке холодной воды, и, если надо, дополнить их.

4. Проверить вручную все клапаны на свободный ход и быстрое закрывание.

5. Проверить надежность крепления гаек болтов головок шатуна, коренных подшипников и пр.

6. Проверить качество газа зажиганием его у пробного крана.

7. Проверить исправность магнето.

8. Установить выпускной клапан на полусжатие посредством постановки ролика рычага выпускного клапана под декомпрессионный кулак.

9. Открыть все масленки.

10. Открыв продувальные краны или декомпрессионные клапаны, пробуксовать двигатель на полный оборот вала, чтобы убедиться в том, что ничто не препятствует свободному вращению двигателя, а затем поставить двигатель на ход, т. е. в положение, соответствующее небольшому переходу поршня через мертвую точку момента вспышки. В этот момент (начало 3-го такта) все клапаны должны быть закрыты.

11. Поднимая рычаг регулятора, поставить его в пусковое положение.

12. Поставить рычаг зажигания в положение запаздывания вспышки соответственно медленному ходу двигателя во время пуска.

13. Открыть газовые краны у газогенератора и у двигателя до положения указателя «газ».

II. Пуск в ход двигателя.

а) Пуск посредством сжатого воздуха.

Пусковой клапан управляется от руки.

1. Открыть вентиль пускового баллона.

2. Быстрым движением руки открыть и сейчас же закрыть пусковой клапан. Если не получилось вспышки, то повторным открытием и закрытием пускового клапана производят новые толчки, следя за тем, чтобы открытие пускового клапана происходило в начале 3-го, а не 1-го такта, так как в противном случае сжатый воздух выйдет через открытые клапаны.

3. После получения вспышки закрыть вентиль пускового баллона.

4. Перевести кулачок выпускного клапана на полное сжатие.

5. Переставить рычаг зажигания на опережение.

6. Пустить охлаждающую воду и открыть все масленки.

7. Проверив правильность работы смазки и охлаждения, постепенно нагружать двигатель.

Пусковой клапан управляется от распределительного механизма.

1. Открыть вентиль пускового баллона.
2. Переставить кулачок, управляющий открытием пускового клапана; тогда кулачок откроет пусковой клапан, поршень получит первый толчок и в дальнейшем распределение происходит автоматически.
3. После 5—6 оборотов двигателя на сжатом воздухе выключить пусковой кулачок и ввести рабочий кулачок.
4. После получения вспышки закрыть вентиль пускового баллона.
5. Перевести кулачок выпускного клапана на полное сжатие.
6. Переставить рычаг зажигания на опережение.
7. Пустить охлаждающую воду и открыть все масленки.
8. Проверив правильность работы смазки и охлаждения постепенно нагружать двигатель.
9. Пуск двигателя жидкой углекислотой в случае израсходования сжатого воздуха — см. «Инструкцию по уходу за двигателями Дизеля» (раздел II, п. 12).

б) Пуск вручную.

См. «Инструкцию по уходу за калоризаторными двигателями», II, 6. стр. 160.

в) Уход за двигателем во время работы.

1. Наблюдать за правильной подачей смазки ко всем трущимся частям; своевременно пополнять масленки. Ежедневно смазывать магнето двумя-тремя каплями масла.
2. Наблюдать за температурой исходящей охлаждающей воды, не допуская таковую выше 45—55° Ц. В случае упуска воды или повышения ее температуры свыше 70° воспрещается сразу пускать большое количество холодной воды, во избежание появления трещин, а увеличивать подачу воды постепенно. В случае чрезмерного перегрева двигателя (до 80°), уменьшить или выключить нагрузку и при малой нагрузке или при холостом ходе дать остынуть, после чего снова нагрузить двигатель, в крайнем случае остановить двигатель.
3. Наблюдать за цветом исходящих газов, которые при правильном сгорании должны быть бесцветны; если исходящие газы дымят, то это указывает или на перегрузку двигателя, или на неправильность распределения.
4. Если двигатель снабжен пусковым аппаратом — озаботиться наполнением пускового баллона воздухом.
5. Спускать скопившуюся в глушителе воду через каждые 2—3 часа.
6. Через каждые полчаса осматривать и ощупывать все главные доступные части двигателя: подшипники, эксцентрики, а также нижние части цилиндрических втулок.
7. Проверять правильность закрытия всех клапанов наощупь.
8. Регулировать состав рабочей смеси посредством открытия газового и воздушного клапанов в зависимости от нагрузки и качества газа; степень открытия клапанов достигается опытом.
9. Держать двигатель в чистоте.

IV. Остановка двигателя.

1. выключить нагрузку и дать двигателю поработать 10—15 мин. вхолостую.
2. Закрыть газовый кран двигателя.
3. Прекратить приток охлаждающей воды.
4. Прекратить подачу масла.
5. После остановки двигателя, проворачивая его вручную, привести двигатель в положение пуска, так как тогда все клапаны закрыты, пружины разгружены и двигатель предохраняется от попадания влаги в цилиндр.

V. Неисправности в работе двигателя.

а) Двигатель при пуске не идет в ход.

Причины:

1. Не действует электрический запал вследствие:
 - а) Заедания шпинделя прерывателя, от сгущенного масла и сажи, надо впустить немного керосина через смазочное отверстие.
 - б) Неисправности магнетто, не дающего электрического тока.
 - в) Плохого контакта между запальным шпинделем и прерывателем, покрывающихся слоем нагара или сажи; надо очистить наждачной бумагой запальный шпиндель и прерыватель.
 - г) Плохого контакта между зажимом запального шпинделя и проводником; надо очистить зажим и конец провода.
 - д) Плохой изоляции между запальным шпинделем и коробкой запальника.
 - е) Разрыва проводника или ослабления зажимов.
 - ж) Ослабления или поломки пружины, прижимающей прерыватель.
- з) Проникновения воды из охлаждающего пространства при неплотности между крышкой и цилиндром, или же от оседания влаги при остывании цилиндра; надо сменить прокладку между крышкой и цилиндром и досуха вытереть запальник.
- и) Слишком большой влажности газа, уносящего влагу из скруббера; надо уменьшить подачу воды в душ скруббера.

2. Двигатель нельзя перевести через внутреннюю мертвую точку, вследствие того, что ролики выпускного клапана не переставлены на полусжатие.

3. Пропуск поршня вследствие загорания поршневых колец в гнездах или большой разработки цилиндра; надо промыть кольца керосином или дать густую смазку.

Примечание. Пропуск поршня определяется выбрасыванием продуктов сгорания через зазор между гильзой цилиндра и поршнем. Если промывка колец керосином и обильная, густая смазка не помогают, — двигатель требует расточки или смены цилиндровой гильзы.

4. Не получается вспышка вследствие слишком бедной газовой смеси, так как газовый клапан недостаточно открыт или воздушный клапан слишком открыт.

5. Двигатель всасывает недостаточно газа или вследствие засорения газопровода или зашлакования колосниковой решетки генератора; надо прочистить трубопровод или колосниковую решетку.

6. Вследствие неплотности выпускного клапана, когда часть смеси в период сжатия выходит в выхлопную трубу; надо притереть выпускной клапан или смазать керосином его шпindel, если последний застревает в направляющих.

7. Поломка или ослабление пружины выхлопного клапана, вследствие чего при ходе всасывания клапан открывается и кроме смеси в цилиндр засасывается воздух из выхлопной трубы; заряд становится слабым и неспособным образовать вспышку; надо подтянуть пружину или заменить ее новой.

б) Двигатель не развивает полной мощности.

Причины:

1. Пропуск поршня вследствие загорания поршневых колец или большой разработки цилиндровой втулки.

2. Пропуск всасывающего или выхлопного клапана вследствие нагара, разработки или заедания шпинделей; надо промыть клапан или шпindel керосином или притереть клапан.

3. Чрезмерное охлаждение цилиндра; надо уменьшить подачу воды.

4. Повышение противодавления в цилиндре вследствие сужения выхлопного клапана от загрязнения или вследствие слишком большой длины выхлопного трубопровода; надо очистить его, укоротить или устроить охлаждение выхлопной трубы.

5. Запаздывание вспышки вследствие неправильной установки момента появления искры.

6. Генератор не вырабатывает достаточно газа или газ слишком беден; надо отрегулировать работу генератора.

7. Постепенное падение мощности двигателя вскоре после нагрузки указывает на то, что трубопровод, подводящий воздух или газ к двигателю, расположен слишком близко от выхлопного трубопровода и нагревается от него, вследствие чего вес смеси, всасываемой двигателем, уменьшается; надо изменить расположение трубопроводов, если же это невозможно, то изолировать трубопроводы или устроить охлаждение выхлопного трубопровода.

в) Двигатель работает неравномерно.

Причины:

1. Нечувствительность регулятора вследствие разработки рычагов и загрязнения затвердевшим маслом; надо промыть регулятор керосином и хорошо смазать его.

г) Двигатель останавливается.

Причины:

1. Перегрузка; надо уменьшить нагрузку.

2. Отсутствие вспышки вследствие неисправности запальника.

3. Вследствие плохого качества смазки или недостаточности ее происходит сильный нагрев и заедание поршня, который и является причиной остановки двигателя.

Это же явление может происходить вследствие неправильного выбора места подачи смазки в цилиндр, которая должна подаваться между вторым и третьим поршневыми кольцами, считая от доньшка поршня при внешнем мертвом положении его.

4. Сильный нагрев и заедание поршня вследствие недостаточного охлаждения цилиндра.

Последнее может быть следствием образования накипи в рубашке цилиндра, засорения подводящего холодную воду трубопровода или недостаточного количества охлаждающей воды.

5. Вследствие скопления большого количества осадков на дне сифона сливная труба из скруббера закупоривается, вода в скруббере поднимается до газопровода и, закупоривая его, прекращает доступ газа из генератора в скруббер; надо периодически очищать сифон от грязи.

6. Вследствие заполнения водой выхлопной трубы, когда имеется неплотность в соединении цилиндра с головкой и если выхлопная труба имеет подъем к глушителю, вследствие чего таковая наполняется водой; надо сменить прокладку между цилиндром и головкой и установить глушитель таким образом, чтобы выхлопная труба имела наклон к нему.

д) Стуки и удары в двигателе.

(См. «Инструкцию по уходу за калоризаторными двигателями» V, д, стр. 163).

е) Преждевременные вспышки и взрывы.

Причины:

1. Слишком большое сжатие, вследствие которого температура смеси повышается и происходит самовозгорание ее в период сжатия; давление сжатия должно быть не выше 10 атм. Надо увеличить вредное пространство и тем самым уменьшить сжатие.

2. Неправильная установка прерывателя запальника, вследствие чего получается слишком ранний момент вспышки; надо отрегулировать запальник на своевременный момент вспышки.

3. Образование нагара от перегоревшего масла, частицы которого, продолжая гореть в период всасывания, воспламеняют горячую смесь. Нагар скопляется в различных углах и каналах, если таковые имеются во внутреннем пространстве головки двигателя.

Надо применять хорошие сорта смазки, избегать чрезмерной подачи масла в цилиндр и устранять каналы в рабочем пространстве (например индикаторный), заполняя их соответствующими болтами.

4. Острые углы, выступы, слишком тонкий запальный шпindel или рычаг прерывателя, части выступающей прокладки между цилиндром и головкой, раскаляясь, могут служить причиной преждевременных вспышек как в период сжатия, так и в период всасывания; в последнем случае взрыв распространяется в воздушную трубу и в смешивающий клапан.

5. Чрезмерная подача смазки, которая, испаряясь, образует взрывчатую смесь, воспламеняющуюся во время хода сжатия; надо уменьшить подачу смазки.

6. При регулировке качеством смеси при малых нагрузках получается бедная смесь, медленно сгорающая до периода выхлопа, остатки которой в период всасывания воспламеняют свежую смесь, взрыв которой распространяется во всасывающую трубу; надо уменьшить приток воздуха или увеличить приток газа и переставить запальник на более позднюю вспышку.

7. По причине, указанной в п. 6, может образоваться настолько бедная смесь, что она совсем не воспламеняется, а будет скопляться в глушителе, где вследствие высокой температуры стенок глушителя она может воспламениться, отчего произойдет взрыв в глушителе; надо пере-
ставить запальник на более поздний момент вспышки или уменьшить подачу воздуха в цилиндр.

8. Взрыв может произойти также в выхлопной трубе, если вследствие неплотности выпускного клапана часть смеси в период сжатия выходит в выхлопную трубу.

VI. Чистка и текущий ремонт.

а) Ч и с т к а .

(См. «Инструкцию по уходу за газогенераторными двигателями, А. Генератор, II. «Уход во время работы» стр. 165.)

1. Чистка запального приспособления производится по мере надобности, но не реже одного раза в неделю.

2. Чистка поршня и клапанов, скруббера и газопроводов — в зависимости от качества топлива и чистоты газа; в остальном см. «Инструкцию по уходу за дизелями», VII, а, стр. 155.

При чистке скруббера — опоражнивают его от кокса, внутреннюю поверхность очищают металлическими щетками, окрашивают ее суриком и снова загружают скруббер свежим коксом.

4. При вскрывании скруббера или сухого очистителя вентиляция помещения должна быть усилена открыванием окон и дверей.

б) Текущий ремонт.

(См. «Инструкцию по уходу за двигателями Дизеля», VII, б, стр. 155, исключая работ, вызываемых особенностями конструкции дизелей.)

Ремонт генератора производится по мере надобности в зависимости от качества топлива, ухода и конструкции.

4. Общие правила ухода за двигателями всех систем

1. Общие сведения.

1. Приводимые инструкции по уходу за двигателями являются дополнением к инструкциям и правилам ухода завода, строившего данный двигатель, которые должны всегда иметься у механика.

2. Помещение машинного отделения должно содержаться в чистоте и должно быть обеспечено достаточным количеством света и хорошей вентиляцией.

3. Фундамент двигателя, во избежание разъедания его маслом, должен быть всячески оберегаем от загрязнения таковым.

4. Температура помещения во время стоянки двигателя должна быть не ниже $+4^{\circ}\text{C}$, когда в нем не производятся ремонтные работы, и не менее $+10^{\circ}\text{C}$ в случае производства таковых. В зимнее время, при невозможности поддерживать температуру в $+4^{\circ}\text{C}$ из всех охлаждающих пространств и трубопровода вода должна быть спущена, если двигатель останавливается дольше, чем на 4 часа. Если приходится пускать дизель при температуре машинного помещения ниже 12°C ,

в особенности после длительной стоянки двигателя, то следует до пуска в ход заполнить все водные рубашки цилиндров и крышек горячей водой, нефтяные насосы и трубки заполнить подогретой нефтью и ко всем смазываемым частям дать подогретое масло; переводить двигатель с пускового положения на рабочее не ранее, чем через 6 оборотов двигателя на воздухе.

5. В машинное помещение вход посторонним лицам, даже работающим в других цехах данного предприятия, безусловно воспрещается.

6. Для каждого двигателя должен вестись «машинный формуляр», в который должны вноситься следующие данные:

а) основные данные машины: номер двигателя, номера цилиндров, год выпуска, основные размеры цилиндров (диаметр и ход поршня), число оборотов, размеры компрессора;

б) основные монтажные регулировочные и эксплуатационные данные: фазы распределения, зазоры в механизме распределения, нормальный подъем клапанов и форсуночных игл, нормальный диаметр сопловой пластинки, зазор пространства сжатия, фазы подачи нефтяных насосов: нормальные сроки осмотра и ремонта деталей.

7. Для каждого двигателя должен вестись «машинный» журнал по форме, в который все записи заносятся дежурным машинистом.

8. Для каждого двигателя должен вестись альбом индикаторных диаграмм, снимаемых во все время регулировки и работы двигателя. На каждой индикаторной диаграмме должны быть указаны следующие данные:

1) Год, месяц, число и час снятия диаграммы.

2) Марка и номер, какого завода двигатель, год постройки и нормальная мощность.

3) Номер цилиндра, с которого снята диаграмма.

4) Диаметр цилиндра и ход поршня двигателя.

5) Число оборотов во время снятия диаграммы.

6) Масштаб пружины индикатора.

7) Среднее индикаторное давление.

8) Индикаторная мощность данного цилиндра.

9) Давление форсуночного воздуха.

9. Для каждого двигателя должен вестись журнал «капитального ремонта», в котором должны указываться следующие данные:

1) Характер ремонта по отдельным частям двигателя.

2) Количество рабочей силы каждой квалификации.

3) Количество основных и вспомогательных материалов и

4) Стоимость ремонта каждой части двигателя.

10. Безусловно воспрещается курение табака в помещении машинного отделения.

11. Уход за двигателями может поручаться только сведущим и опытным лицам соответствующей квалификации, прошедшим соответствующие курсы или сдавшим испытание на право обслуживания двигателей внутреннего сгорания и отличающимся внимательностью, трезвостью и аккуратностью. Должно быть обращено внимание на повышение квалификации обслуживающего двигателя персонала во время работы на предприятии.

12. При необходимости отлучиться от двигателя во время его работы дежурный машинист должен быть замещен другим лицом, хорошо знакомым с уходом за двигателями.

II. Топливо.

1. В качестве топлива должно применяться только такое топливо, для которого двигатель построен. При смолистых сортах топлива сетчатые распылители форсунок дизелей лучше заменять щелевыми.

2. Перед поступлением в двигатель жидкое топливо должно пройти через фильтр.

3. Нефтяные баки и фильтры должны своевременно освобождаться от отстоявшейся воды и грязи, а нефте- и маслопроводы промываться керосином один раз в год.

4. Подогрев нефти разрешается в двигателях, имеющих специальные для этой цели подогреватели. Подогрев открытым пламенем воспрещается.

5. Наполнение нефтяных баков должно производиться при дневном освещении или при условии применения исключительно ламп безопасной конструкции.

III. Смазка.

В качестве смазки для двигателей следует применять:

а) Для дизеля.

а) Для цилиндров — моторное масло марки М для приработавшихся двигателей, или Т — для неприработавшихся новых, или сильно изношенных.

б) Для компрессоров — компрессорное или моторное Т.

в) Для циркуляционной смазки — моторное М.

г) Для шестерен и форсуночных игл — густое цилиндрическое масло (вискозин).

д) Для прочих деталей — машинное марки Л или Т.

б) Для двигателей низкого сжатия.

а) Для цилиндров — моторное Л для приработавшихся двигателей и Т — для непроработавшихся, новых или сильно изношенных,

б) для прочих деталей — соответственно Л или Т.

2. Отработанное и профильтрованное масло может применяться для смазки коренных и мотылевых подшипников и прочих наружных механизмов. Цилиндры двигателя и компрессора, а также поршневой палец должны смазываться только свежим маслом.

3. Смазка цилиндров компрессора должна быть отрегулирована таким образом, чтобы она поступала в минимально необходимом количестве.

4. В коренных подшипниках с кольцевой смазкой полная замена масла и промывка подшипников должна производиться не реже, чем через 1500 час. работы.

5. При циркуляционной смазке два-три раза в месяц часть масла должна быть удалена из циркуляционной системы и заменена свежим; кроме того, приходится некоторое количество масла добавлять ежедневно в зависимости от плотности подшипников и количества разбрызгиваемого масла.

6. Один раз в год сборник масла, все масленки, трубопроводы и насосы должны быть промыты керосином.

7. В двухтактных двигателях необходимо не менее одного раза в день спускать из кривошипной камеры накопившееся в ней отработавшее масло.

8. На каждой силовой станции должен быть фильтр для масла.

IV. Охлаждение двигателя.

1. Для охлаждения двигателя должна применяться чистая вода. В случае наличия в воде большого количества ила, песка и пр. должен быть устроен водоотстойник или механический фильтр, а в случае большой жесткости воды — химический водоочиститель.

2. Градирия, водяной бак, все трубопроводы системы охлаждения и охлаждающие пространства должны очищаться от ила, песка и грязи не менее одного раза в год. В случае образования накипи в охлаждающих рубашках, таковая должна быть удалена раствором соляной кислоты в пропорции — одна часть кислоты на три части воды (1 : 3) с последующей промывкой чистой водой; если двигатель после травления накипи соляной кислотой предназначен к стоянке, то охлаждающие пространства должны быть промыты содовым раствором в пропорции — 0,5 кг соды на 1 ведро воды.

При заливке охлаждающих полостей раствором соляной кислоты необходимо оставлять открытыми люки для выхода газов, но не подходить к ним с огнем во избежание взрыва, так как от действия соляной кислоты на железо образуется водород.

3. Очистку охлаждающих рубашек компрессора и промежуточного холодильника необходимо производить не менее двух раз в год.

V. Хранение сжатого воздуха.

1. Воздушные баллоны должны подвергаться осмотру и испытанию, согласно правилам органов Охраны труда. Все осмотры и испытания должны записываться в особую для каждого баллона книгу.

2. Воздушные баллоны не должны устанавливаться вблизи печей и нагревательных приборов. Манометры должны ежегодно сдаваться на проверку пробирной палате и запломбировываться; на манометрах должна быть нанесена красная черта, указывающая предел давления воздуха.

3. Очистку форсуночного баллона должна производиться один раз в год, а окраска его внутренней поверхности свинцовым суриком — один раз в два-три года. Очистка пускового и запасного баллонов должна производиться один раз в три года, а окраска — по мере надобности. При этом надо следить за тем, чтобы как воздушная, так и продувательная трубки были в полной исправности.

4. При очистке форсуночного баллона направляющая и нарезная часть шпинделя должны быть очищены и смазаны, сработавшиеся конусы заменены новыми так же, как и набивка сальников.

Эти же работы с пусковым и запасным баллонами производятся поочередно во время работы двигателя, чтобы каждый из них мог быть сейчас же наполнен сжатым воздухом, причем перед разработкой вентилей необходимо выпустить из баллонов воздух, доведя давление в них до атмосферного.

5. Вентили баллонов должны быть зажаты умеренно.

VI. Нагрузка.

1. Перегрузка двигателя выше нормальной мощности, на которую он построен, не допускается.
2. Двигатели Дизеля должны обычно работать при недогрузке на 5% против нормальной мощности.

VII. Индицирование двигателей.

1. После разборки и сборки двигателя индицирование и регулировка двигателя обязательны.
2. Для проверки правильности распределения и нагрузки между цилиндрами в многоцилиндровых двигателях индицирование производить:

а) у машин, имеющих отдельную насосную скалку для каждого цилиндра — 1 раз через 200 час. работы (приблизительно),

б) у машин, имеющих одну насосную скалку для нескольких цилиндров с распределителем — 1 раз через 100 час. работы (приблизительно).

Все неисправности, обнаруженные по индикаторным диаграммам, должны быть устранены при первой возможности.

VIII. Хранение инструмента и запасных частей и наличие последних.

1. Гаечные и прочие ключи должны висеть на виду на особой доске, а другие инструменты находиться в шкафу недалеко от двигателя.

2. Запасные части должны быть смазаны густой смазкой или окрашены и должны храниться в сухом месте.

3. Части, требующие частого осмотра, чистки и ремонта, как-то: выхлопные клапаны, форсуночные иглы форсунки, клапаны компрессора, запальники и т. п., необходимо иметь в запасе комплектами в полной готовности, пригнанными и притертыми для возможности быстрой замены.

4. На каждой силовой станции с двигателями внутреннего сгорания должны быть следующие запасные части:

а) для каждого цилиндра: 1 цилиндровая крышка, 1 поршневая головка, 1 комплект поршневых колец, 1 форсуночная игла с комплектом набивки, 1 шпindelь всасывающего клапана с пружиной, 1 выпускной клапан с пружиной и корпусом (1 корпус на 2 цилиндра), 1 ролик форсунки, 2 форсуночных кольца, 2 форсуночных сетки, 2 сопла, 1 форсунка с пятью соплами для бескомпрессорных двигателей.

б) Для каждого нефтяного насоса: 1 комплект клапанов, 1 скалка с направляющей втулкой и пружиной, 2 комплекта набивки «Эксцельсиор».

в) Для каждого цилиндра компрессора: 1 комплект всасывающих клапанов высокого и низкого давления с запасными пружинами, 1 комплект нагнетательных клапанов высокого и низкого давления с запасными пружинами, по 2 поршневых кольца к поршням высокого и низкого давления, 1 комплект прокладок и набивок, по 1 эмевику высокого и низкого давления.

г) Для каждого двигателя: 1 комплект набивок для вентилей воздушных баллонов; по 1 комплекту вкладышей нижней и верхней головок шатуна.

д) Кроме того, в необходимых количествах должны быть следующие запасные материалы: асбестовый картон толщиной 1 мм, асбестовый шнур диаметром 2 мм, резина пластинчатая толщиной 3 мм, кожа толщиной 2 мм, свинец листовой толщиной 2 мм, фибра листовая, баббит для подшипников, пенька, сурик, графит, наждак и толченное стекло.

Капитальный ремонт двигателя и всех вспомогательных механизмов и аппаратов производится по мере надобности.

ГЛАВА VII.

НЕИСПРАВНОСТИ, ПОЛОМКИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ И ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИМИ АВАРИИ; ИХ ПРИЧИНЫ, ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ИСПРАВЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЧАСТЕЙ.

В инструкциях по уходу за двигателями мы перечислили все неисправности двигателей и кратко указали на их причины и способы их устранения. Здесь мы остановимся более подробно на рассмотрении наиболее серьезных неисправностей двигателей, как тех, которые влекут за собой расстройство правильной работы двигателя, увеличение расхода топлива или уменьшение мощности, так и таких, которые являются непосредственной причиной поломок и повреждений двигателей, нередко вызывая серьезные аварии.

Как неисправно ти двигателей, влияющие только на экономичность и мощность двигателей, так и повреждения и поломки частей двигателей, а также и аварии надо рассматривать как результат несоблюдения вышеприведенных правил по уходу за двигателями и невыполнения текущих ремонтов. Часто сравнительно небольшая неисправность, во-время незамеченная и неустраненная, вызывает образование более серьезной болезни двигателя, которая при определенных обстоятельствах может привести к аварии всей машины; поэтому уход за двигателями внутреннего сгорания должен быть поставлен на должную высоту.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся поломки и повреждения главных, наиболее ответственных частей двигателя, а также те наиболее серьезные неисправности, которые являются следствием несоблюдения вышеприведенных правил по уходу за двигателями.

а) Коренной коленчатый вал.

Коренной коленчатый вал является самой серьезной и ответственной частью двигателя, воспринимающей рабочие и инерционные усилия кривошипно-шатунного механизма. В виду этого как на его конструкцию, так и на правильный монтаж должно быть обращено исключительное внимание, так как поломка коленчатого вала выводит двигатель из строя на весьма значительный промежуток времени, вызывая продолжительные простои предприятия; кроме того, коренной вал является наиболее дорогой частью двигателя вследствие того, что должен быть изготовлен из материала самого высокого качества, а также вследствие сложности и точности обработки.

Случаи поломок валов довольно часты и происходят по следующим причинам:

1. Недоброкачество материала, из которого вал изготовлен; усталость металла.

Будучи наиболее ответственной и нагруженной частью двигателя, коренной вал должен быть изготовлен из высококачественного материала, в качестве которого Г. Гюльднер рекомендует мартеновскую литейную сталь с временным сопротивлением в 45 кг/мм^2 при удлинении 22 — 25 % или тигельную сталь с временным сопротивлением 50 кг/мм^2 и удлинением 20 %.

Усталость металла, конечно, может служить причиной поломки вала, так как исследования в этом направлении показали, что с течением времени под влиянием действующих усилий, в особенности усилий, изменяющихся от нуля до максимума, металл перекристаллизовывается и теряет свои качества прочности и эластичности; однако большей частью такая перекристаллизация металла является лишь добавочной причиной поломки вала вместе с какой-либо другой посторонней причиной.

2. Неправильность конструкции или обработки вала; эта неправильность заключается в слишком малом радиусе скруглений в месте перехода шейки к щеке вала, в то время как эти места подвержены наибольшему напряжению не только от рабочих усилий в машине, но и добавочным напряжениям сдвига при преждевременных вспышках, гидравлических или механических ударах в цилиндре. Это обстоятельство диктует необходимость при конструировании и обработке коленчатых валов особо тщательно придерживаться общего правила конструирования частей машин, заключающегося в том, что все части, несущие нагрузку, должны иметь достаточно плавные переходы от одного сечения к другому.

По мнению Г. Гюльднера резкие переходы от одного сечения к другому без достаточно плавных скруглений настолько вредно отражаются на прочности вала, что даже увеличенные размеры частей не гарантируют достаточной прочности. По исследованиям проф. Феппеля даже в том случае, когда радиус закругления в месте перехода от шейки к щеке вала составляет $0,1$ радиуса вала $\frac{d}{2}$, т. е. довольно велик, напряжение сдвига в месте перехода может превзойти двойное напряжение на окружности самой шейки.

Это обстоятельство необходимо учитывать при заказе нового вала по чертежу, снятому со старого вала, так как очень часто радиусом скруглений не уделяется достаточно внимания и таковые не снимаются с натуры, а вычерчиваются на-глаз и, следовательно, при изготовлении нового вала не могут быть выдержаны такими, какими их задал конструктор завода, строившего двигатель; правда, заводы, изготовляющие валы, обычно требуют указаний этих радиусов.

3. Осадка одного (или нескольких) вкладышей коренных подшипников или неправильный монтаж вала.

Если в результате неправильного монтажа или же вследствие выплывания одного из вкладышей та или иная шейка оказывается на весу, т. е. не лежит на вкладыше, то вал в этом месте испытывает во все время работы двигателя изгиб то в одну, то в другую сторону; это явление может продолжаться сравнительно долго, но в результате вал сломается. Осадка вкладыша подшипника происходит обычно вследствие расплавления баббита вкладыша, который вытекает и вал оказывается на весу;

расплавление подшипника может произойти вследствие недостаточности или плохого качества смазки, вследствие недостаточной слабину, оставленной при сборке для масла, вследствие того, что смазочное кольцо перестает вращаться или масло слишком сгустилось, или же под кольцо попало какое-либо постороннее тело.

4. Осадка фундамента вследствие ненадежного основания (грунта), или вследствие неправильной кладки его, или изготовления из плохого материала. В случае соединения вала двигателя посредством фрикционной муфты с валом, на котором находится передаточный шкив, поломка вала может произойти вследствие осадки фундаментов под выносным подшипником за маховиком или подшипником конца вала под шкивом, если таковые выполнены в виде отдельных тумб, не связанных с общим массивом фундамента; эти подшипники должны иметь общий фундамент с фундаментом двигателя, т. е. фундамент двигателя и фундаменты всех наружных подшипников должны представлять один массив, расположенный на общей фундаментной плите (бетонной или бутовой).

5. Сильный удар вследствие преждевременной вспышки; гидравлический или механический удар.

Преждевременные вспышки происходят по причинам, указанным в инструкциях по уходу за двигателями, и подробно будут рассмотрены ниже; гидравлические удары происходят вследствие попадания воды в цилиндр по объему, большему, чем объем камеры сгорания, а механические удары — вследствие отрыва головки поршня или тарелки клапана, которая может попасть между поршнем и цилиндровой крышкой.

Такие удары могут быть причиной поломки вала сами по себе или же могут произвести осадку одного из вкладышей коренных подшипников, вследствие которой, как указывалось выше, может произойти поломка вала как результат весьма большого числа изгибов вала в этом месте в ту или другую сторону.

6. Мгновенное застопоривание двигателя; таковое застопоривание может произойти или вследствие сильного заедания рабочего поршня или вследствие заклинивания шатуна между картером и кривошипной шейкой, что бывает при обрыве болтов нижней головки шатуна, и выпадения шатуна с поршнем в картер. В этих случаях вал мгновенно застопоривается, а так как маховик вследствие большой своей массы стремится по инерции повернуть его, то получается скручивание и поломка вала.

Так как поломки коленчатых валов большею частью происходят от осадки вкладышей подшипников, когда не все валовые шейки лежат на вкладышах, что в свою очередь происходит вследствие расплавления подшипников, преждевременных вспышек, гидравлических и механических ударов, то для предохранения валов от поломок необходимо принимать следующие предупредительные меры: после каждой сильной преждевременной вспышки, сопровождавшейся теми или иными повреждениями, после гидравлического или механического внутри цилиндра двигателя удара необходимо поднять вал, перезалить баббитом вкладыш расплавленного подшипника и проверить положение вала по коренным подшипникам, тщательно пришабрав шейки вала по подшипникам. Недопустимо ограничиваться выбиванием вкладыша коренного подшипника, у которого расплавлен баббит, как это довольно часто практикуется, зачисткой баббита и обратной постановкой вкладыша, так как при этом

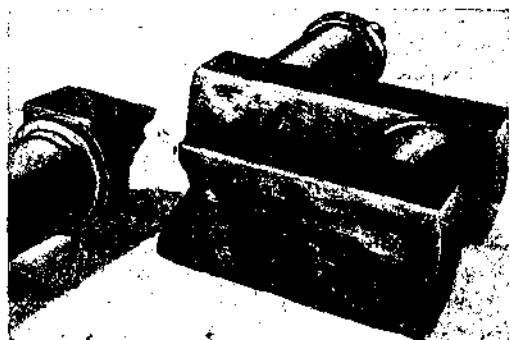
приеме не только не может быть уверенности в том, что вкладыш не получил осадку, но наоборот, можно с полной уверенностью сказать, что шейка вала, соответствующая расплавленному подшипнику, не будет лежать на вкладыше подшипника, и, следовательно, вал рано или поздно сломается.

Кроме поднятия вала в подобных случаях необходимо проверить его на скручивание, в особенности, если произошло мгновенное застопоривание двигателя, хотя бы и без видимых повреждений вала.

Подъем коленчатого вала для пришибровки вкладышей коренных подшипников по шейкам вала необходимо производить время от времени вне зависимости от каких-либо ударов или расплавления подшипников, причем срок, через который необходимо производить такую подъемку вала и проверку его, может колебаться от 3 до 5 лет, в зависимости от

качества баббита и смазочного масла, а также от нагрузки, с которой двигатель работает.

Подъемка и проверка вала может быть произведена без снятия станин или картера двигателя и вместе с перезаливкой некоторых вкладышей подшипников может быть произведена в течение 20 — 35 дней в зависимости от мощности двигателя при трехсменной работе и наличии всех необходимых для подъемки вала приспособлений; однако такая проверка должна про-



Фиг. 74.

изводиться с большой тщательностью и высококвалифицированным персоналом.

После более значительных аварий, отразившихся на коленчатом валу, в особенности, если предварительная проверка на месте посредством уровня и рейсмуса указывает на некоторый изгиб или скручивание вала, а также при наличии более или менее значительной овальности шатунных кривошипных шеек вал желательно отправить на завод для проверки его на станке и отшлифовки кривошипных шеек для снятия эллипса.

Наиболее часто происходит поломка кривошипной шейки вала, главным образом, первого от маховика, как передающего наибольший вращающий момент.

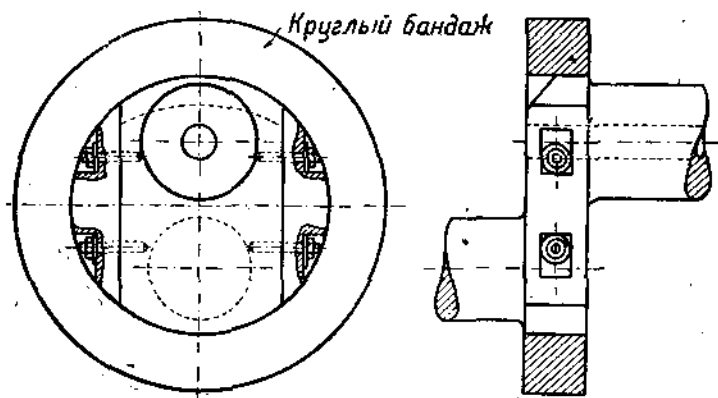
На фиг. 74 изображен сломавшийся по щеке вал, причем излом имеет своим началом переход от шейки к щеке вала; этот случай приводит Г. Гюльднер в своей известной книге.

Такой излом вала подвергается наиболее простому и надежному исправлению посредством надевания на щеку хомута. Хомут изготавливается или кованым сварным или, еще лучше, из литой стали шириной по ширине шейки и толщиной в зависимости от мощности двигателя и расстояния от наружной кромки шейки при ее нижнем положении до поверхности фундаментной рамы (картера). На фиг. 75 изображен хомут с размерами, которым была стянута щека коленчатого вала дизеля мощностью

хомута со всех сторон, так как некоторые из них (одна или две) могут быть скругленными.

В виду этого для достижения равномерного натяжения хомута прибегают к кольцеобразной форме его, предложенной автором и изображенной на фиг. 77. Как видно из последней, к щеке с двух сторон прикрепляются болтами два стальных сегмента, вследствие чего щека получает вид круга, наружная поверхность которого обрабатывается на станке, а затем на него надевается в горячем состоянии кольцеобразный хомут, который равномерно по всем направлениям схватывает щеку вала вместе с сегментами. Такая конструкция хомута должна быть признана более надежной, однако она требует проточки щеки с сегментами на станке, что почти всегда связано с отправкой вала на завод.

Гораздо сложнее и рискованнее ремонт вала в случае образования трещины или полного разрыва шейки кривошипа. В этих случаях вал



Фиг. 77.

может быть исправлен путем высверловки концов шейки из щеки и вставки новой шейки с надеванием хомутов на обе щеки, но лишь для двигателей мощностью 50 — 60 л. с. в цилиндре.

В небольших двигателях в виде крайней меры применяют следующий способ исправления вала при образовании трещины в кривошипной шейке. Шейку отрезают вместе с частью обеих щек и, изготовив точно такую же часть из материала, по возможности однородного с валом, укрепляют ее на валу вместо отрезанной части посредством двух хомутов, надетых на обе щеки вала, причем новую часть соединяют с валом еще при помощи шпилек.

Видоизменением этого способа является исправление вала следующим образом: через обе щеки вала и кривошипную шейку просверливают отверстие диаметром 50 — 100 мм в зависимости от диаметра шейки, изготовляют стержень из хорошей стали диаметром несколько больше диаметра отверстия и, разогрев шейку, и тем самым увеличив диаметр отверстия, вставляют стержень, который после остывания шейки окажется плотно ею охваченным. Известны случаи, когда валы после такого исправления работали по несколько лет.

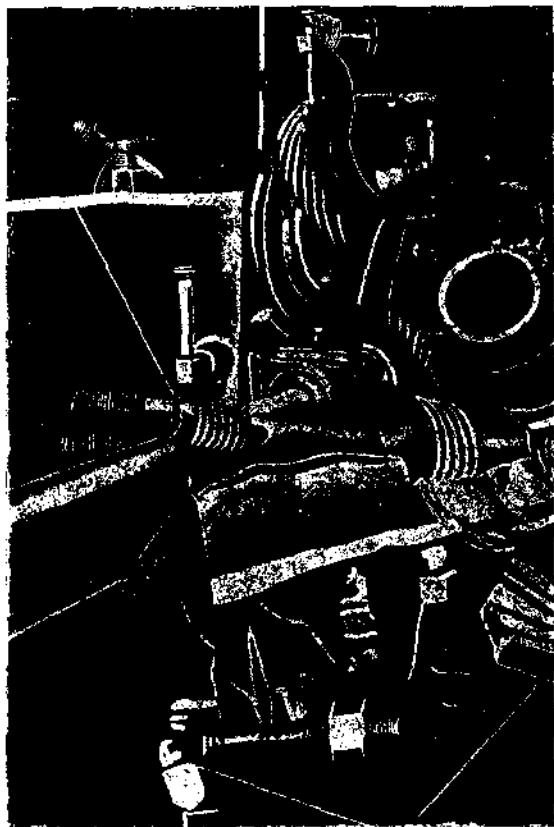
Однако необходимо заметить, что исправление коленчатого вала одним из вышеуказанных способов является не вполне надежным (хотя

иногда и оправдывает себя) и допустимо лишь в виде крайней меры. Вместе с подобным ремонтом вала необходимо немедленно заказать новый коленчатый вал, так как на работу всякого исправленного вала надо смотреть как на временную. Что касается применения сварки для ремонта валов, то таковая, вообще говоря, мало применима, во-первых, потому, что вследствие значительной толщины вала металла его очень трудно проварить, а, во-вторых, вследствие того, что при всякой сварке очень трудно, а, вернее, невозможно сохранить правильность геометрической оси вала. Известны случаи более или менее удачной сварки вала при помощи термита, но необходимо оговориться, что таковая может дать положительный результат лишь при выполнении ее исключительно опытным мастером, располагающим всеми необходимыми приспособлениями; кроме того, термитная сварка требует наплавления на шов некоторого добавочного количества металла в месте сварки, так как таковое получается значительно пористым и недостаточно прочным. Поэтому возможна термитная сварка только шеек вала, а не шеек.

Термит представляет собою смесь порошка окиси железа и алюминия, которая воспламеняется особым запалом из перекиси бария и алюминия при температуре около 1500°C ; при этом происходит химическая реакция восстановления окиси железа алюминием с выделением огромного количества тепла, повышающего температуру до 3000°C ; железо, освободившееся из окиси, плавится и соединяет свариваемые части, а окись алюминия всплывает в виде шлака.

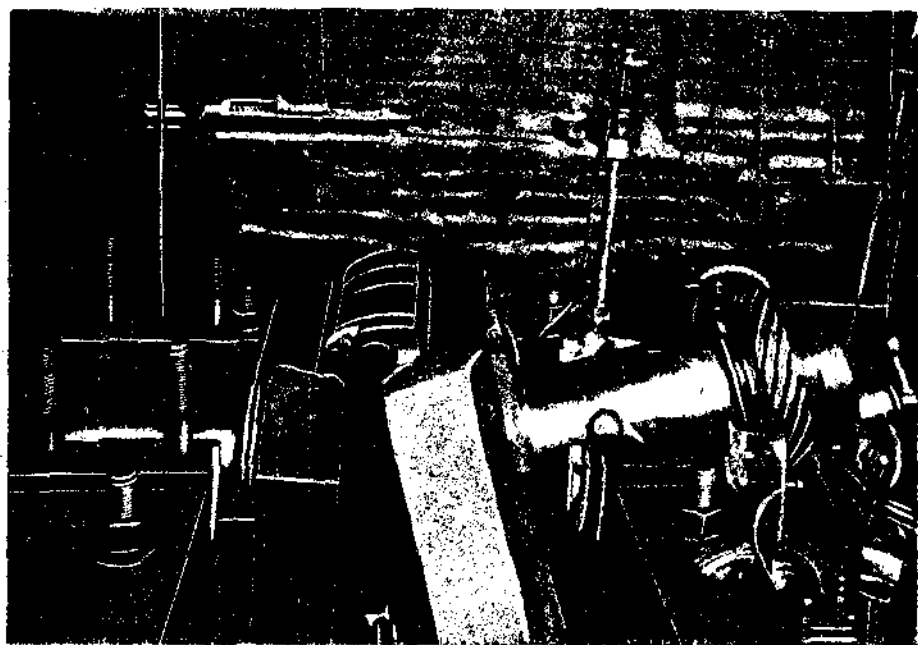
Применяемый иногда способ соединения шейки или щеки, получивших трещину, посредством болтов, пропущенных через отверстия, высверленные в их теле, надо признать совершенно ненадежным и недопустимым для применения.

К каким серьезным авариям всего двигателя приводит поломка коренного вала, видно из нижеописанного случая поломки вала двига-



Фиг. 78

теля системы Литцейнмейера постройки завода Бр. Бромлей в 1912 г., мощностью в 60 л.с. при 180 об./мин., работавшего на одной крупорушке. Авария произошла в 4 ч. 30 м. утра 2 июня 1931 г.; дежурный машинист за несколько минут до аварии смазывал компрессор, плохо подававший воздух, и услышал треск, как ему показалось, в зубьях распределительной шестерни; так как случай появления подобного треска имел уже место раньше, в результате которого были сломаны два зуба шестерни, то машинист немедленно начал выключать нефть и закрывать воздух с целью остановить двигатель. В это время послышалось несколько сильных стуков, а затем сильный удар, после которого маховик остановился.



Фиг. 79.

При осмотре двигателя оказалось, что таковой получил следующие повреждения:

- 1) сломана щека коленчатого вала со стороны маховика, противовес которой оторван,
- 2) разорвана станина двигателя,
- 3) сорвана крышка наружного рамового подшипника,
- 4) согнут шатун компрессора и выбит край поршня,
- 5) согнут в двух плоскостях шатун рабочего поршня,
- 6) кривошипная головка шатуна получила несколько забоин от расклинивания во время аварии частью щеки коленчатого вала,
- 7) станина двигателя сдвинута на фундаменте в сторону маховика у вала до 25 мм и несколько относительно продольной оси машины; вследствие смещения станины в сторону маховика произошел сдвиг выносного подшипника.

Характер излома щеки указывает, что до 80% площади излома относится к старой трещине, имевшейся до аварии, и лишь 20% — к излому, происшедшему во время аварии.

На фотографии фиг. 78 изображен общий вид аварийных частей двигателя кроме сломавшейся щеки, а на фиг. 79 — вал двигателя со сломавшейся щекой и оторванным противовесом.

б) Станины, цилиндровые рубашки и втулки.

Повреждения станин двигателей в виде различного рода трещин происходят от тех или иных ударов или взрывов, которые влекут за собою аварию двигателя, одним из результатов которой и являются эти трещины. Скрепление станин, получивших трещину, производится посредством устройства различного рода железных накладок на болтах или хомутах, форма которых может быть весьма разнообразной в зависимости от формы поврежденной части и характера трещины; в виду этого, а также принимая во внимание, что подобный способ починки частей двигателя несколько не отличается от исправления посредством накладок и хомутов вообще всяких машин, мы не будем останавливаться на нем, а перейдем к рассмотрению повреждений цилиндрических рубашек и втулок (гильз) двигателей и способов их исправлений, которые являются более характерными.

Повреждения цилиндрических рубашек (станин) выражаются, главным образом, в термических трещинах на фланце рубашки или на цилиндрической части ее. Трещины образуются от следующих причин:

1. Вследствие образования большого количества накипи от осаждающихся из охлаждающей воды химических солей и механических примесей; накипь, представляя собою плохой проводник тепла, препятствует передаче тепла от стенок цилиндра воде, вследствие чего происходит сильное неравномерное нагревание станины, причем охлаждающаяся вода выходит с очень низкой температурой.

2. Вследствие размораживания цилиндрической рубашки, т. е. разрыва ее при замерзании оставленной в ней во время мороза водой.

3. Вследствие слишком сильной затяжки шпилек цилиндрической крышки; в этом случае трещина начинается у отверстия для шпильки во фланце цилиндрической рубашки и иногда распространяется через фланец на цилиндрическую часть рубашки.

4. Вследствие упуска охлаждающей воды и последующего впуска большого количества холодной воды; в этом случае цилиндрическая рубашка и втулка сильно нагреваются и быстрый выпуск холодной воды вызывает трещины вследствие быстрого и неравномерного сжатия металла.

5. Как последствия различного рода ударов в двигателе, а также аварийных разрушений.

Наибольшее количество повреждений цилиндрических рубашек и втулок (гильз) происходит вследствие образования большого слоя накипи в охлаждающих полостях, причем последняя скопляется, главным образом, в верхней части охлаждающего пространства в месте соединения фланца втулки с фланцем цилиндрической рубашки, так как в этом месте, ближайшем к камере сгорания, имеют место наибольшие температуры; наоборот, в нижней части охлаждающей полости в месте соприкосновения нижней части втулки цилиндра с соответствующей частью станины

собираются, главным образом, механические частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в охлаждающей воде (грязь, ил, песок).

Вследствие образования толстого слоя накипи у фланца в этом месте получается сильное нагревание цилиндра, который нагревает и рубашку, и в этих случаях трещина получается большей частью во фланце цилиндрической рубашки. То же явление происходит и при осаждении значительного слоя накипи на остальной цилиндрической части втулки, причем кроме образования трещин во втулке таковая может быть причиной заедания поршня, так как масло на стенках перегретой цилиндрической втулки сгорает, пригорает к стенкам цилиндра, что вызывает заедание поршня; вследствие сильного нагревания поршневого пальца, таковой, расширяясь, также может быть причиной заедания. В целях предупреждения подобных явлений необходимо следить за тем, чтобы в охлаждающих полостях не образовывалось большого количества накипи или путем предварительного смягчения воды в химических водоумягчителях или своевременной очисткой охлаждающих полостей.

Обычно считают, что вода требует предварительного химического умягчения, начиная с 12° нем. жесткости; для этой цели применяются различные химические водоумягчители (обычно содово-известковые) тех же конструкций, что и в парокотельных установках или же цеолитовые водоумягчители, обладающие значительными преимуществами перед первыми.

При загрязнении воды значительным количеством грязи, ила, песка и пр. таковая предварительно должна пропускаться через водоотстойники или механические фильтры.

Вся водяная система двигателя, как-то: бассейн под градирней, водонапорный бак, бассейн для горячей воды и трубопроводы охлаждающей системы должны очищаться от грязи, песка и ила не менее одного раза в год в зависимости от загрязненности воды.

Очистка от накипи охлаждающих полостей производится следующими способами.

Из рубашки спускают воду и наполняют ее раствором соляной кислоты в пропорции 1 : 3 или 1 : 4, т. е. 1 часть кислоты и 3 — 4 части воды; этот раствор оставляют в рубашке от 12 до 24 час. в зависимости от толщины слоя накипи и от ее твердости. При действии соляной кислоты на накипь выделяется довольно большое количество газов, а потому после заливки раствором рубашки необходимо оставлять открытым какое-либо отверстие для выхода газов и не подходить к нему с огнем, так как при действии соляной кислоты на металл выделяется водород, который может создать взрыв. Для усиления действия соляной кислоты на накипь желательно, если это представляется возможным, наполнять рубашку горячей водой или впускать в них пар, если таковой имеется поблизости. Растворенная кислотой накипь удаляется промывкой водой, и если двигатель после травления накипи должен некоторое время стоять, то для нейтрализации остатков кислоты полости рубашки надо промыть содовым раствором (0,5 кг соды на 1 ведро воды); если же двигатель немедленно должен быть пущен в работу, то промывка содовым раствором не обязательна, так как рубашка хорошо промоется охлаждающей водой во время работы двигателя.

Если вследствие того, что накипь своевременно не удалялась, образовался настолько толстый и прочный слой ее, что протравлением кис-

лотой ее удалить не удастся, то приходится для очистки накипи вынимать цилиндровую втулку. Вообще говоря, рекомендуется с целью полной очистки от накипи и грязи рубашечных полостей вынимать цилиндровые втулки не менее чем один раз в три года. Такая выемка цилиндровой втулки бывает необходима также в тех случаях, когда требуется расточить втулку, а выполнить эту работу на месте не представляется возможным.

Расточка втулки необходима в случае значительной разработки ее и образования овала в направлении плоскости движения шатуна; результатом такой разработки втулки является пропуск поршнем воздуха при сжатии, а следовательно, недостаточная компрессия и пропуск газов во время сгорания. Все это влечет за собою уменьшение мощности двигателя, нарушение процесса сгорания и увеличение расхода топлива двигателем.

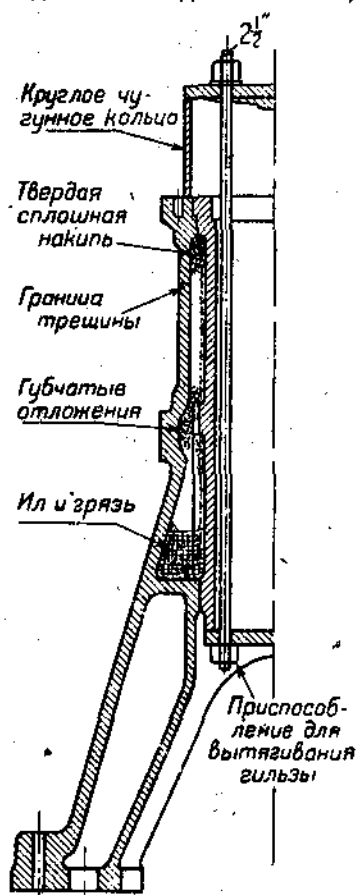
Поэтому в этих случаях необходимо или расточить цилиндровую втулку и изготовить новый поршень или же заменить втулку новой, обработав ее под старый поршень, если он еще достаточно хорош, при-шлифовав его по окончательному размеру новой втулки. Если расточка втулки на месте затруднительна вследствие ли отсутствия расточного приспособления или отсутствия персонала, соответствующей для такой ответственной работы квалификации, то втулки приходится вынимать для отправки их на завод для расточки. Однако, вообще говоря, предпочтительнее в таких случаях заменять втулку новой, изготовленной на дизелестроительном заводе, по следующим причинам: в случае расточки втулки диаметр ее, а следовательно, и диаметр поршня несколько увеличиваются, а при этом увеличивается и мощность данного цилиндра, что вызывает неравномерную нагрузку вала и других частей двигателя; эта опасность, конечно, не будет иметь места в том случае, когда производится более или менее равномерная расточка втулок всех цилиндров; кроме того, стоимость изготовления новых втулок, при возможности сохранения старых поршней с выемкой старых и постановкой новой, не будет выше (если не ниже) расточки втулки и изготовления нового поршня; наконец, преимуществом замены втулки новой является обязательная выемка старой втулки, а следовательно, возможность хорошей очистки охлаждающей полости, в чем очень часто имеется необходимость, сплошь и рядом недостаточно учитываемая.

Выемка цилиндровой втулки производится следующим образом.

Прежде всего протравливают способом, указанным выше, имеющуюся в охлаждаемом пространстве накипь раствором соляной кислоты и пробуют вынуть ее специальным приспособлением для выемки втулок, которое должно иметься при каждом двигателе и которое лучше всего требовать от завода, строившего двигатель вместе с последним. Если такого приспособления нет, то его можно изготовить своими средствами. Как видно из фиг. 80, на которой это приспособление изображено, в установленном на цилиндре виде, оно состоит из длинного болта диаметром 40 — 50 мм, который внизу проходит через какую-либо железную балочку или круг, упирающийся в нижний конец втулки, а вверх через вторую балочку или круг, расположенный на подставке, лежащей на фланцах цилиндровой рубашки, которая иногда выполняется в виде чугунового кольца; если завинчивать имеющуюся на верхнем конце болта гайку, то втулка будет выжиматься вверх.

Если первая попытка не увенчалась успехом, то почти наверное выходу втулки препятствует значительное образование накипи в верхней части охлаждающего пространства у фланца цилиндрической рубашки, которая соединяет втулку с цилиндрической рубашкой. Тогда можно прибегнуть к следующим приемам освобождения втулки.

Всю станину двигателя снимают с фундаментной рамы, ставят на подложенные доски на пол, вниз цилиндром, и заливают охлаждающую



Фиг. 80.

полость раствором соляной кислоты на высоту 100—150 мм с расчетом, чтобы раствор заполнил как раз то место охлаждающего пространства, где накопилось наибольшее количество накипи; когда эта накипь достаточно растворится, ее промывают водой и заливают охлаждающую рубашку керосином, так как последний, обладая большой способностью проникать во все самые незначительные щели, наличие которых всегда можно предполагать или в еще остающейся накипи или в местах соединения втулки с цилиндрической рубашкой, — способствует отделению одной от другой. После этого снова пробуют вынуть втулку вышеописанным приспособлением, и если это опять не удастся, то поступают следующим образом. В охлаждающее пространство цилиндра наливают горячей воды температурой 50—60° или прогревают наливную холодную воду паром, если таковой имеется, а в цилиндрическую втулку наливают холодной воды, а еще лучше, наполняют ее снегом или льдом, если таковой имеется; тогда втулка сокращается, а цилиндрическая рубашка несколько расширяется, и они отделяются одна от другой. Если и это не помогает, то последний способ можно, так сказать, усилить тем, что на фланец цилиндрической рубашки накладывают куски горячего железа, нагревая ее таким образом, или же, как крайняя мера, может быть допущено нагревание фланца цилиндрической рубашки древесным углем, который

кладется в пристроенное вокруг фланца кольцеобразное корыто; это создает более сильное нагревание и расширение фланца при сокращении втулки под влиянием холодной воды, снега или льда. Однако последний способ нагревания фланца цилиндрической рубашки необходимо производить, соблюдая тщательную предосторожность, так как при чрезмерном нагревании фланца в нем могут образоваться трещины. Если втулка не вынималась несколько лет, что иногда приходится наблюдать, то она настолько сильно закипает, что все вышеизложенные способы могут оказаться недействительными; в этих случаях, правда весьма редких, приходится разрубать втулку зубилом по образующей, после чего вынуть ее не

представляет затруднений, но втулка, конечно, приходит в негодное состояние.

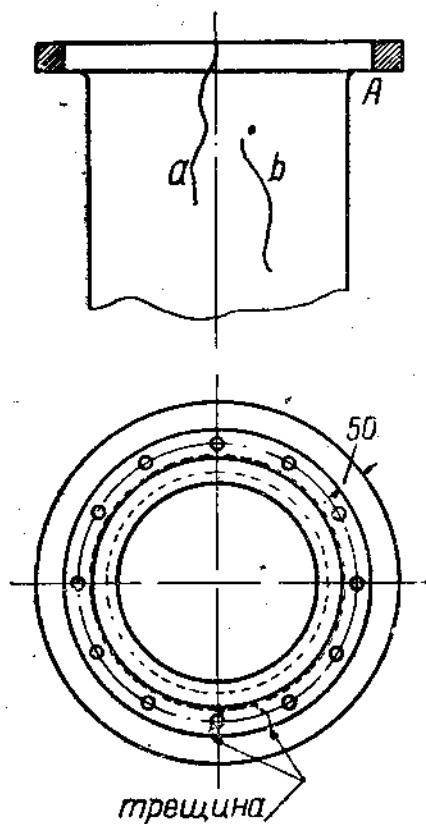
Для того чтобы втулку правильно поставить на прежнее место, необходимо на верхней плоскости ее и фланца цилиндровой рубашки сделать соответственные риски; такие же риски целесообразно сделать также на цилиндровой рубашке и цилиндрической поверхности фланца втулки в тот момент, когда ее фланец еще не полностью выйдет из цилиндровой рубашки. Эти отметки гарантируют правильную постановку втулки при сборке. После выемки втулки должны быть тщательно очищены от накипи, ила и грязи как внутренняя поверхность цилиндровой рубашки, так и наружная поверхность втулки, если таковая снова подлежит постановке на место. Если накипь своевременно не удаляется способами, указанными выше, то результатом этого являются трещины как в цилиндровой рубашке, так и во втулке. Появление трещин в цилиндровых рубашках и втулках двигателей от замерзания воды, оставленной в морозное время в охлаждающем пространстве, является, так сказать, естественным следствием небрежного ухода за ними. Как указано в инструкциях по уходу за двигателями, температура в машинном помещении в то время, когда двигатель не работает, не должна опускаться ниже $+4^{\circ}\text{C}$, если в нем не производятся работы по ремонту двигателя, и — ниже $+10^{\circ}\text{C}$ в случае производства таковых; первая температура, $+4^{\circ}\text{C}$, принимается как критическая, ниже которой, как известно, вода начинает расширяться а следовательно, появляется опасность разрыва, в особенности, если при закрытых вентилях на напорном и отводящем трубопроводах вода не имеет выхода; вторая соответствует той минимальной температуре, при которой по правилам охраны труда допустимы ремонтные работы, так как при температуре ниже 10°C производительность труда рабочего начинает падать.

Если в зимнее время двигатель останавливается сравнительно не надолго, то температура машинного помещения должна поддерживаться выше $+4^{\circ}\text{C}$ временными переносными печами, если же это почему-либо невозможно или двигатель останавливается на продолжительное время, то из всех водяных пространств его и трубопроводов должна выпускаться вода.

Нередко трещины образуются у отверстий для шпилек, которыми цилиндровая крышка привертывается к станине вследствие слишком сильной затяжки гаек; часто персонал, производящий сборку двигателя после ремонта, желая достигнуть надежной плотности соединения крышки со станиной, закрепляет гайки при помощи свинцового или даже железного молота, что необходимо производить с большой осторожностью, так как слишком сильные удары молота могут вызвать трещину у отверстия для шпильки; лучше производить затяжку гаек без молота, а при помощи трубы, надетой на гаечный ключ, так как в этом случае рабочие, нажимая на такой рычаг, руками чувствуют, когда гайка завинчена до отказа, в то время как при завинчивании гайки из-под молотка этого момента учесть невозможно, и легко ее перетянуть. Иногда эти трещины на горизонтальной плоскости фланца цилиндровой рубашки (станины) остаются незамеченными и при появлении термических перенапряжений развиваются в более крупные трещины, распространяющиеся на цилиндрическую часть рубашки цилиндра.

Как было указано выше, трещины вследствие термических перена-

пряжений металла часто образуются при значительной накипи в охлаждающих пространствах. Но при некоторых неблагоприятных условиях термические перенапряжения металла могут иметь место и при отсутствии чрезмерного количества накипи. Этими неблагоприятными условиями является резкое изменение температуры в охлаждающих пространствах, происходящее по следующей причине: при упусках охлаждающей воды, имеющих место иногда вследствие плохого ухода за двигателем, цилиндровая рубашка и втулка сильно нагреваются, и так как по той же причине плохого ухода часто вместо того, чтобы разгрузить двигатель и дать ему постепенно остыть пускают в охлаждающие пространства большое количество холодной воды, то вследствие резкого изменения температуры, образуются трещины в цилиндровой рубашке или во втулке. Для предупреждения подобных явлений необходимо инструктировать обслуживающий двигатель персонал в том смысле, что при повышении температуры исходящей охлаждающей воды (которая нормально должна находиться в пределах $45-55^{\circ}\text{C}$) свыше 70°C ни в коем случае нельзя пускать сразу большое количество воды, а лишь постепенно, если же двигатель нагрелся до 80°C , то необходимо уменьшить или выключить нагрузку и при малой нагрузке или холостом ходе дать двигателю остыть или же, наконец, в крайнем случае, остановить двигатель.

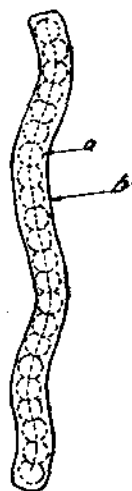


Фиг. 81.

Наконец, трещины в цилиндровых рубашках и втулках могут появляться вследствие гидравлических или механических ударов в двигателе или взрывов, иначе говоря, как одно из последствий тех или иных аварий с двигателем, когда вообще возможны повреждения и разрушения

любых частей двигателя. Наиболее характерными трещинами в цилиндровой рубашке являются трещины, идущие по горизонтальной поверхности верхнего фланца, большей частью через отверстие для шпилек цилиндровой крышки и спускающейся от фланца вниз на цилиндрическую часть цилиндровой рубашки (фиг. 81, а) или же образующиеся на самой цилиндрической части цилиндровой рубашки (фиг. 81, б). В случае образования трещины на фланце цилиндровой рубашки, в целях предупреждения дальнейшего распространения таковой, а также для прекращения просачивания воды через трещину, что обычно имеет место в таких случаях, — единственным рациональным способом исправления ее является надевание кольцевого хомута а на фланец цилиндровой рубаш-

ки (фиг. 81); хомут изготавливается железным кованым высотой по высоте фланца и толщиной 40 — 50 мм, причем внутренний диаметр хомута должен быть на 2 — 3 мм меньше наружного диаметра фланца, каковое уменьшение диаметра может быть подсчитано по коэффициенту линейного расширения. Хомут нагревается до темнокрасного каления, расширяется до диаметра, несколько большего, чем диаметр фланца, и довольно свободно надевается на него; при остывании хомут плотно обхватывает фланец, причем усилие, с которым произойдет натяжение хомута, очевидно, зависит от того, насколько удачно выбрано уменьшение внутреннего диаметра хомута. При надевании хомута необходимо следить за тем, чтобы он не перекосялся по отношению к фланцу; ни в коем случае не следует охлаждать хомут водой с целью ускорения всей операции его насадки на фланец; может быть допущено охлаждение тряпками, намоченными в масле, лишь после того, как хомут настолько остыл, что плотно сел на фланец. Перед постановкой хомута по линии трещины на горизонтальной поверхности фланца вырубается канавка трапециoidalного сечения, в которую вбивается соответствующей формы пластинка красной меди и расчеканивается после остывания хомута. Что касается заделки трещин на цилиндрической поверхности рубашки, то таковая производится следующим образом. Прежде всего засверливаются отверстия диаметром 7 — 8 мм на концах трещин с целью недопущения дальнейшего распространения трещины, затем по линии трещины засверливаются такого же диаметра отверстия, в которые ввертываются шурупы из красной меди, причем засверливание отверстий производится таким образом, чтобы каждый из ввернутых шурупов частично входил в тело соседнего (фиг. 82); сначала засверливаются отверстия через одно, в них нарезается резьба и ввертываются шурупы (на фиг. 82 показаны пунктиром *a*), а затем засверливаются отверстия для промежуточных шурупов. Ввернутые шурупы обрезаются таким образом, чтобы они возвышались над поверхностью рубашки на 3 — 4 мм, расклепываются и расчеканиваются таким образом, чтобы весь ряд шурупов представлял собою несколько возвышающуюся медную ленту (*b*); таким же точно образом производится исправление трещин, образующихся по середине цилиндрической поверхности рубашки.



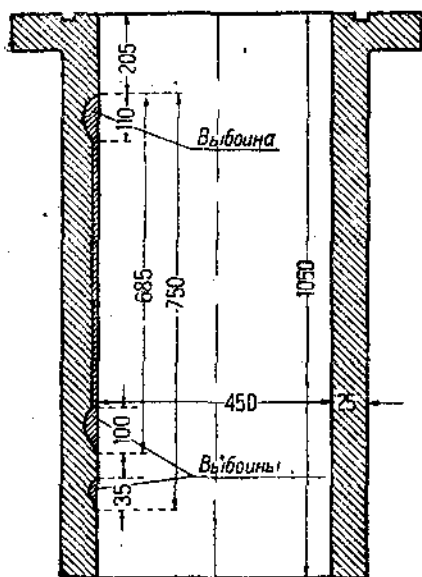
Фиг. 82.

Ввиду того, что температура рубашки не бывает очень высокой, а давление охлаждающей воды обычно не превосходит 1 — 1,5 ат, описанный способ зачеканки трещин медными шурупами дает вполне удовлетворительные результаты, хотя иногда наблюдается дальнейшее распространение трещины, несмотря на засверловку ее концов.

Исправление лопнувших цилиндрических рубашек посредством ацетиленово-кислородной или электрической сварки хотя и вполне допустимо с точки зрения последующей работы, так как таковые не подвергаются действию больших давлений или температур, однако, вследствие того, что цилиндрические рубашки представляют собою крупную чугунную отливку, то сама сварка становится весьма затруднительной, так как, во-первых, при производстве таковой очень легко может повести и перекосять рубашку в том или ином месте, а, во-вторых, перед заваркой ее

необходимо хорошо разогреть, разогревание же всей рубашки очень сложно, а при А-образной станине и прямо невозможно; местное же разогревание очень легко может вызвать трещины в других местах рубашки. Поэтому вышеописанные способы механических исправлений лопнувших рубашек надо признать единственно целесообразными.

Что касается исправлений цилиндрических втулок (гильз) при появлении трещин в них, то ремонт таковых, конечно, никакими способами недопустим и при образовании таковых втулку приходится заменять новой. Ремонт цилиндрической втулки возможен лишь при естественной разработке ее, как это было указано выше, посредством расточки, а также при шлифовке наждачной бумагой на месте в случае задирання цилиндра поршнем.



Фиг. 83.

К числу работ по ремонту цилиндрической втулки относится снятие так называемого «заработка»; так как при ходе поршня вверх он несколько не доходит до конца втулки на часть высоты камеры сжатия, то в то время, как вся поверхность втулки, по которой ходит поршень, срабатывается, верхняя часть ее, до которой поршень не доходит, сохраняет свой первоначальный диаметр, вследствие чего с течением времени в верхней части втулки образуется кольцообразный выступ, мешающий выемке поршня, если он доходит до некоторой значительной величины. Этот выступ механики называют «заработком» и снятие заработка заключается в том, что образовавшийся выступ спиливают или сшабривают вручную. Образованием такого «заработка», разработкой и задирами

втулки, а также довольно редко встречающимися трещинами, ограничиваются неисправности цилиндрических втулок, если не считать особо исключительных случаев. Ниже мы приведем одну из таких исключительно редких неисправностей цилиндрической втулки из личной практики.

В дизеле Коломенского завода мощностью 300 л. с. при 365 об/мин. постройки 1913 г. появились довольно большие стуки в третьем цилиндре, которые с течением времени увеличивались. Когда после остановки двигателя на ремонт были сняты цилиндрические крышки, то на внутренней поверхности втулки были обнаружены три весьма значительных яйцеобразных выбоины, а по вертикальной линии их расположения шел сплошной задир, причем расположение выбоин соответствовало положению болтов, прикрепляющих головку поршня к телу его, в верхней и нижней мертвой точках. На фиг. 83 изображена схематически втулка с выбоинами и задиром, которые имели следующие размеры:

- 1) длину 110 мм, ширину (наибольшую) 40 мм и глубину 11 мм;
- 2) длину 100 мм, ширину 38 мм и глубину 6 мм;

3) длину 35 мм, ширину 27 мм и глубину 3 мм.

Такие же выбоины, но несколько меньших размеров, были обнаружены и в первом цилиндре, в котором, кроме того, оказалась трещина в цилиндровой втулке по окружности длиной около 600 мм.

При осмотре поршня оказалось, что произошло отвинчивание гайки, прикреплявшей поршневую головку к телу поршня, причем были сломаны и края выемки для гайки; освободившаяся гайка производила задиры цилиндра, а в момент перемены направления движения поршня в верхней и нижней мертвых точках происходили удары гайки о поверхность цилиндра, каковые и создали указанные выбоины. Хотя мы уже указывали, что ремонт внутренней поверхности втулки, как правило, недопустим, но в виду необходимости работы предприятия было решено произвести ремонт ее следующим образом: места выбоин были вырублены для придания им более правильной формы, в вырубленные места были вставлены чугунные вставки, укрепленные шурупами, и обработаны под поверхность втулки; хотя столь примитивное исправление не может быть, вообще говоря, рекомендовано, однако двигатель с таким способом исправленными цилиндрами проработал около года, пока втулки не были заменены новыми.

в) Цилиндровые крышки.

Цилиндровая крышка двигателя является деталью, работающей в наиболее неблагоприятных условиях вследствие высоких давлений и температур, которым она подвергается, а также вследствие чрезвычайного неравномерного распределения металла в различных сечениях крышки, что обуславливается ее назначением как детали, в которой сосредоточены все распределительные органы машины — клапаны (в особенности в четырехтактном двигателе).

Эти неблагоприятные условия, в которых цилиндрические крышки работают, вызывают необходимость особо внимательного отношения к ним как в смысле своевременной очистки от накали внутренних охлаждающих полостей, так и в смысле правильной затяжки гаек крышечных шпилек, правильной установки прокладок, недопущения перегрузки и пр.

Повреждения цилиндрических крышек выражаются в образовании трещин в них, являющихся большей частью следствием несоблюдения вышеуказанных правил для создания нормальных условий работы крышки, частично же зависящих от качества материала, из которого крышка изготовлена, и ее естественного износа. Причины появления трещин в цилиндрических крышках следующие:

1. Образование толстого слоя накали на внутренних охлаждающих стенках крышки, вследствие которого ухудшается охлаждение стенок крышки, так как накали является проводником тепла, а следовательно, происходит местное чрезмерное нагревание стенок.

Для предупреждения этого явления для каждой установки должны быть практически выработаны сроки очистки крышек от накали в зависимости от качества охлаждающей воды; сроки эти обычно колеблются от 6 до 2 мес., исходя из того правила, что не должно допускаться образование накали толще 2 мм. Очистка накали сначала производится механически путем отбивания и соскабливания ее через имеющиеся для этой

цели люки, если же таким путем не удастся удалить накипь, то прибегают к химическому способу растворения накипи соляной кислотой, как это было описано для охлаждающих пространств цилиндра; для этого крышка снимается с цилиндра, устанавливается снаружи машинного помещения самым большим отверстием вверх и заливается раствором соляной кислоты; если допущено образование большого слоя накипи или накипь обладает особой твердостью, то приходится наполнять крышку соляной кислотой несколько раз, причем окончание процесса растворения накипи характеризуется прекращением шипения кислоты с образованием пузырьков газа. После этого внутренние пространства крышки должны быть очищены скребками для снятия со стенок окончательно нерастворившейся, но в значительной степени размягченной накипи, а затем последние должны быть основательно промыты водой и содовым раствором как для удаления растворившейся накипи, так и для нейтрализации остатков кислоты. Для предупреждения значительных отложений накипи, наслоение которой увеличивается осаждением из воды взвешенных частиц при остановке двигателя, перед пуском двигателя в ход надо на некоторый промежуток времени полностью открыть вентиль на трубопроводе, подающем воду из напорного бака, благодаря чему сильная струя воды уносит осевшую на доннышке крышки грязь; однако, если есть опасение чрезмерно охладить водой цилиндр (в зимнее время), то от подобной промывки крышки приходится воздержаться, чтобы не затруднить пуск в ход двигателя.

Кроме того, при охлаждении жесткой водой температуру исходящей охлаждающей воды следует держать не выше 35—40° Ц, так как накипь отлагается тем интенсивнее, чем выше температура воды.

2. При неправильной циркуляции воды или недостаточности ее; если воды недостаточно, то крышки работают при очень высокой температуре их стенок; неправильная циркуляция воды в охлаждающих пространствах крышек обусловливается образованием так называемых «воздушных мешков», вследствие чего в этих местах образуется пар, температура данного места повышается, что и влечет за собою образование трещины; воздушные мешки образуются в глухих местах крышки, в которых невозможна свободная циркуляция воды.

3. Перегрузка двигателя — в этом случае в верхней части цилиндра выделяется большее количество тепла, нижнее доннышко крышки сильно нагревается и разница в температуре последнего и других частей крышки более холодных увеличивается, что влечет за собою термическое перенапряжение материала днища крышки, вызывающее трещины. Весьма значительное количество крышек преждевременно выходят из строя вследствие появления трещин из-за перегрузки, а потому как из соображений увеличения срока службы цилиндровых крышек, так и других частей двигателя необходимо избегать перегрузок двигателей, которые, вообще говоря, противны самой природе двигателей внутреннего сгорания.

4. Упуск охлаждающей воды. Известно, как вредно отражаются на прочности чугуна резкие изменения температуры. В случае упуска охлаждающей воды, т. е. недостаточной подачи ее вследствие той или иной неисправности трубопроводов или баков или недостатка воды в последнем, вследствие невнимательного обслуживания, — тем-

пература стенок крышки повышается, и если в этот момент пустить в охлаждающую систему большое количество холодной воды, что часто имеет место, в особенности при обслуживании двигателей малоопытными машинистами, то вследствие быстрого охлаждения внутренних стенок крышки от неравномерного охлаждения появляются трещины в стенках крышки. Поэтому, как выше было указано в инструкциях по уходу за двигателями, температура исходящей охлаждающей воды должна быть в пределах $45 - 55^{\circ} \text{C}$, если же таковая повысилась до 70°C , то увеличивать количество холодной воды надо постепенно, при повышении же ее до 80°C , необходимо уменьшить или выключить нагрузку и при малой нагрузке или холостом ходе дать двигателю остыть и в крайнем случае остановить двигатель.

5. Естественный износ вследствие своеобразной весьма неблагоприятной для прочности конструкции крышки, так как неравномерное распределение металла в теле крышки вызывает остаточные внутренние напряжения в нем еще во время отливки, которые значительно увеличиваются вследствие неравномерного нагревания крышки, которое имеет место во все время работы двигателя. Так как днище цилиндровой крышки работает в условиях наибольших температур и давлений по сравнению с остальными частями крышки, то в нем большею частью и появляются трещины как результат всех вышеуказанных причин и, главным образом, в наиболее слабом месте, подверженном наибольшей разнице температур — между выхлопным клапаном и форсункой.

Появление трещин в этих местах даже при вполне нормальных условиях работы и хорошем материале вызывается следующими причинами. Вследствие высокой температуры в камере сгорания, — в днище крышки, обращенном к ней, появляется стремление к расширению, в особенности в местах, неблагоприятных для хорошего охлаждения, каковыми являются стенки между всасывающими и выхлопными клапанами и форсункой. Этому стремлению к расширению препятствует значительно более холодный обод крышки с фланцем, которым охвачены внутренние, более горячие, части днища крышки, вследствие чего появляются значительные сжимающие усилия по направлению к центру днища. В местах же выемок для стаканов всасывающего и выпускного клапанов сопротивление расширению отсутствует, и здесь температурные расширения происходят беспрепятственно, вследствие чего в стенках между всасывающим и выпускным клапанами и форсункой появляются значительные растягивающие усилия, которые и вызывают появление трещин в этих местах.

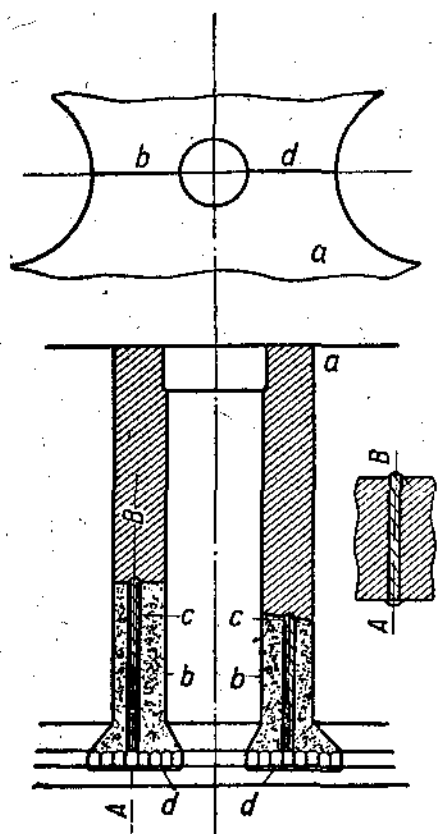
Хотя, как правило, каждый двигатель, а в особенности дизель, должен иметь запасные цилиндровые крышки, однако это далеко не всегда имеет место, а так как изготовление новой крышки требует значительного времени, в особенности для двигателя заграничного происхождения, для которого приходится снимать чертежи с крышки и изготовлять модели, что влечет значительные простои производства, то сплошь и рядом приходится прибегать к ремонту крышек, в которых образовались трещины. Ниже приведены более или менее надежные способы исправления лопнувших крышек; работа на них допустима в качестве временного выхода из положения до замены поврежденной крышки новой.

Как уже упоминалось выше, трещины образуются большей частью на нижнем днище крышки между выхлопным клапаном и форсункой

и реже между всасывающим клапаном и форсункой. После образования трещины не следует считать крышку выбывшей из строя; с первоначально образовавшейся трещиной крышка может работать довольно продолжительное время, однако в это время она требует неослабного наблюдения за собой для того, чтобы уследить, когда трещина увеличится настолько, что охлаждающая вода может попадать через нее в цилиндр, или когда при образовании трещины у одного из клапанов через нее проникают газы.

Наличие трещины в днище цилиндрической крышки или на одной из внутренних стенок ее представляет опасность не столько в работе двигателя, когда пропуск воды крышкой характеризуется белым цветом выхлопных газов, вследствие выхода паров воды, попавшей в цилиндр, а в гораздо большей мере во время пуска двигателя. Если двигатель работает с остановками (например на электростанции), то во время его стоянки, которое может продолжаться 8—10 час., в цилиндр через трещину может попасть значительное количество воды, и если объем ее оказывается больше объема камеры сжатия, то при пуске двигателя неминуем гидравлический удар, вследствие того что поршень не сможет перейти через верхнюю мертвую точку, и так как вода несжимаема, то под влиянием инерции маховика или усилий, которые получает вал в этот момент от других цилиндров, произойдет или изгиб шатуна или поломка цилиндрической крышки; ниже, при рассмотрении вопроса о гидравлических ударах, мы приведем случаи аварии по

вышеупомянутой причине и меры предупреждения подобных аварий. При появлении трещин в цилиндрических крышках весьма заманчивой представляется их заварка автогенно-кислородным или электрическим путем, к которым довольно часто и прибегают. Однако практика показала, что ни один способ сварки крышки не достигает своей цели, так как, во-первых, чрезвычайно трудно заварить чугунную деталь со столь неравномерным распределением металла как крышка, вследствие которого очень легко покоробить ее; таковую может, как говорят, повести. Если даже сварка крышки и произведена удачно, то почти всегда после весьма непродолжительной работы места сварки расходятся и трещина снова появляется. Поэтому попытки заварить трещины в крышке надо признать безнадежными и единственным способом, на качество которого можно надеяться, является механическое исправление цилиндрической крышки.

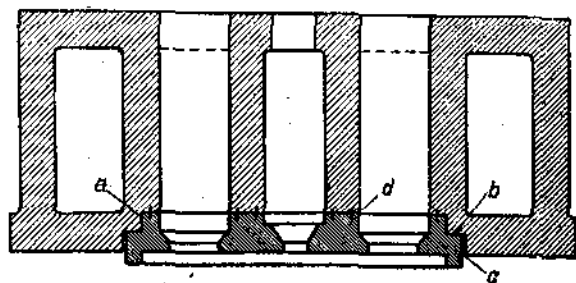


Фиг. 84.

вышеупомянутой причине и меры предупреждения подобных аварий. При появлении трещин в цилиндрических крышках весьма заманчивой представляется их заварка автогенно-кислородным или электрическим путем, к которым довольно часто и прибегают. Однако практика показала, что ни один способ сварки крышки не достигает своей цели, так как, во-первых, чрезвычайно трудно заварить чугунную деталь со столь неравномерным распределением металла как крышка, вследствие которого очень легко покоробить ее; таковую может, как говорят, повести. Если даже сварка крышки и произведена удачно, то почти всегда после весьма непродолжительной работы места сварки расходятся и трещина снова появляется. Поэтому попытки заварить трещины в крышке надо признать безнадежными и единственным способом, на качество которого можно надеяться, является механическое исправление цилиндрической крышки.

Наиболее легким способом исправления цилиндрических крышек является заделка трещин при помощи ввинчивания в насверленные и нарезанные по линии трещины отверстия шурупов (или как их часто называют «ввертыши»), тем же способом, как это было описано по отношению к трещинам на цилиндрических рубашках; отверстия для шурупов высверливаются таким образом, чтобы один шуруп заходил на другой, и затем весь ряд шурупов расчеканивается, образуя непрерывное возвышение по линии трещины; шурупы делаются из железа или меди диаметром 6 — 7 мм. На фиг. 84 представлен чертеж такого исправления крышки *a* при помощи шурупов *d* в плане и разрезе, причем на разрезе показан способ уплотнения для предупреждения проникания воды в выхлопной или всасывающий клапан в случае образования трещины *b* в крышке, имеющей охлаждающие полости между этими клапанами. Такое уплотнение заключается в том, что по середине промежутка между форсункой и всасывающим или выхлопным клапаном на величину несколько большую, чем глубина трещины, высверливается отверстие

диаметром 4 — 5 мм, в которое плотно вбиваются куски медной проволоки *c* соответствующего диаметра длиной около 10 мм. Однако подобное исправление крышки не является особо прочным и обычно расстраивается через довольно непродолжительный промежуток времени и может быть оправдан лишь в том случае, когда необходимо в минимально возможный срок исправить крышку с целью проработать на ней некоторое время до получения новой и замены ею поврежденной, если такая возможность представляется. Иногда удается исправить крышку вставкой уплотнительного кольца, если трещина появляется у какого-нибудь клапана, или расточкой гнезд для клапанов и вставкой втулки.



Фиг. 85.

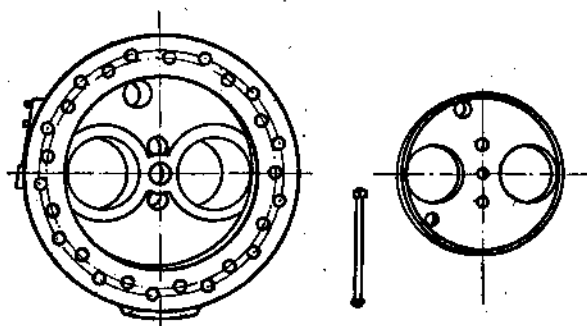
Единственно рациональным способом исправления цилиндрической крышки при появлении трещин на нижнем днище ее является замена днища новым. В этом случае старое днище с трещинами вырезается на станке, изготавливается новое днище из высококачественного чугуна или, еще лучше, стали, с уступом (фиг. 85), который своей цилиндрической частью *a* плотно входит в соответствующую кольцеобразную выемку в крышке, причем эти поверхности тщательно притираются так же, как и кольцевой уступ *b*; в месте соприкосновения большего диаметра днища с крышкой оставляется некоторый зазор для возможности расширения при нагревании; для лучшего уплотнения вокруг отверстий для клапанов как в теле крышки, так и в верхней горизонтальной поверхности днища протачиваются кольцеобразные углубления, в которые закладываются соответствующего диаметра медные кольца *d*. Перед окончательной обточкой днище необходимо отжечь, а стаканы клапанов притереть к новому днищу.

Единственно рациональным способом исправления цилиндрической крышки при появлении трещин на нижнем днище ее является замена днища новым. В этом случае старое днище с трещинами вырезается на станке, изготавливается новое днище из высококачественного чугуна или, еще лучше, стали, с уступом (фиг. 85), который своей цилиндрической частью *a* плотно входит в соответствующую кольцеобразную выемку в крышке, причем эти поверхности тщательно притираются так же, как и кольцевой уступ *b*; в месте соприкосновения большего диаметра днища с крышкой оставляется некоторый зазор для возможности расширения при нагревании; для лучшего уплотнения вокруг отверстий для клапанов как в теле крышки, так и в верхней горизонтальной поверхности днища протачиваются кольцеобразные углубления, в которые закладываются соответствующего диаметра медные кольца *d*. Перед окончательной обточкой днище необходимо отжечь, а стаканы клапанов притереть к новому днищу.

На фиг. 86 изображена цилиндровая крышка с вырезанным дном и рядом новое вставное днище, которое притягивается к корпусу крышки двумя болтами, расположенными с двух сторон отверстия для форсунки, причем для этой цели может быть использован фланец корпуса форсунки; болты, которыми он прижимается к крышке, продолжают сквозь всю крышку и служат для притягивания вставного днища. Для предохранения от проникания воды из водяной рубашки крышки головки этих болтов притираются к днищу и под них кладутся отожженные медные шайбы.

Таким образом, исправленные крышки, если только исправление это выполнено с достаточной тщательностью и применен материал лучшего качества, работают без каких-либо неисправностей довольно продолжительное время, в некоторых случаях до $1\frac{1}{2}$ лет и больше.

К неисправностям цилиндровой крышки надо отнести также так называемое продувание крышки, т. е. пропуск газов прокладки между



Фиг. 86.

крышкой и цилиндром. Это продувание является следствием образования в цилиндре чрезмерно больших давлений при: а) преждевременной вспышке или очень сильной вспышке при чрезмерно большом количестве нефти в цилиндре, б) пуске двигателя под нагрузкой, в) пуске двигателя посредством сжатого воздуха чрезмерно высокого давления.

Кроме того, продувание газов между крышкой и цилиндром может быть следствием: а) удлинения крышечных шпилек вследствие продолжительной перегрузки двигателя и плохого охлаждения крышки и б) плохого качества прокладки.

Наиболее пригодной прокладкой для уплотнения крышки с цилиндром является медное кольцо, которое обычно делается из медной проволоки диаметром 2 мм, или же специальные медные кольца с коническими канавками, образующими на их поверхности 2 — 3 ряда концентрических граней. Прокладки из материалов, поддающихся действию высокой температуры, как-то: картон, клингерит, пеньковый шнур и пр., не пригодны.

Как мы видели, имеется довольно много причин, обуславливающих появление трещин в цилиндрических крышках и не только от неправильного обслуживания двигателя, но и от так сказать естественных причин, кроющихся в самой конструкции крышки, а следовательно, и двигателя. В виду этого необходимо признать, что наличие запасных цилиндрических крышек для каждого работающего двигателя является безусловной необходимостью, обеспечивающей наименьшие простои предприятия, а это последнее обстоятельство с избытком окупает те расходы, которые вызываются приобретением запасных крышек.

г) Поршни.

Поршень двигателя подвергается весьма большим температурным напряжениям, так как температура над ним колеблется от 300 до 1800° и значительным давлением газов, так же резко меняющимся и достигающим до 40 а и в некоторых случаях даже выше, например, при пуске двигателя, в особенности же при преждевременных вспышках; кроме того, поршень имеет внутренние напряжения, остающиеся после остывания литья.

Указанные причины обуславливают появление трещин после более или менее продолжительной работы, которые появляются в днище поршня, подвергающегося действию наибольших давлений и температур (обычно в радиальных направлениях); поэтому большинство конструкций предусматривает возможность замены верхней части поршня при появлении трещин путем устройства съемной головки, которая связывается с телом поршня болтами. Естественно, что в значительно большей мере образование трещин имеет место в неохлаждаемых водой поршнях, в которых подвергается охлаждению только открытая часть его, внутренние же части и наиболее нагревающееся днище головки может охлаждаться лишь за счет передачи тепла через стенки цилиндра; поэтому накипь в рубашке цилиндра влияет на прочность днища поршня, так как таковое сильно перегревается при плохой передаче тепла через стенки цилиндра при наличии значительных отложений накипи. В виду этого в двигателях большой мощности при мощности каждого цилиндра свыше 100 л. с. и диаметра свыше 500 мм устраивается водяное охлаждение поршня, каковое, надо заметить, почти во всех конструкциях является слабым местом вследствие довольно частых расстройств механизма охлаждения.

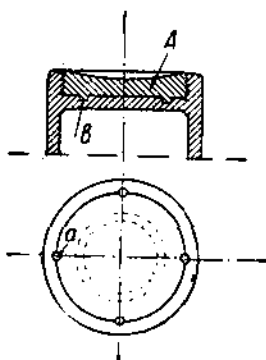
Во время работы двигателя при горячем поршне трещины обнаруживаются пропуском газов или искр лишь тогда, когда они достигли значительных размеров, если же трещины еще не очень велики, то при горячем поршне вследствие расширения металла они затягиваются.

Если имеются неглубокие трещины, за которыми необходимо вести наблюдение, то для проверки, являются ли они сквозными, поступают так: перед пуском двигателя проворачивают его таким образом, чтобы поршень перешел верхнюю мертвую точку и остановился тогда, когда открывается пусковой клапан; открывая немного вентиль на пусковом баллоне по шипению выходящего воздуха, судят о том, стали ли трещины сквозными или нет, так как в холодном состоянии поршня трещины расходятся сильнее, чем при разогретом. Если двигатель разобран, то убедиться в том, что трещины проходят насквозь, можно наливая на днище поршня керосин; последний, обладая большой способностью проникновения через самые тонкие трещины, просачиваясь через них, исчезает с днища поршня, что указывает на наличие сквозных трещин.

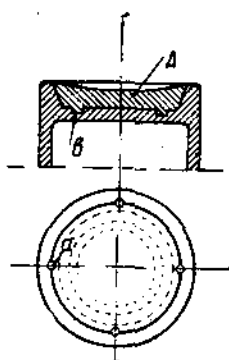
Если поршень имеет масляное охлаждение, то после остановки двигателя необходимо хорошо охладить его, поддерживая некоторое время циркуляцию масла при помощи насоса, так как в противном случае на внутренней поверхности днища поршня образуется масляная кора, которая может уменьшить охлаждающее действие почти вдвое. Исправление днища поршня при образовании на нем трещин может быть произведено следующими способами.

Если трещины не очень велики, то таковые могут быть заглушены медными шурупами, ввинченными в тело днища таким же образом, как это указано для исправления цилиндрических крышек, причем с таким исправлением поршень может работать довольно продолжительное время.

Более радикальным исправлением является вставка нового днища; как показано на фиг. 87, в головке поршня вытачивается на станке выемка такого диаметра, чтобы были удалены все места, захваченные трещинами, глубиной в центральной части в 35—45 мм, которая должна быть ограничена условием, чтобы оставалось тело старого днища толщиной 15—20 мм; на нижней поверхности этой выемки вытачивается кольцеобразная канавка размерами 8—12 мм, в которую входит соответствующий кольцевой выступ на вставном днище; вертикальные цилиндрические поверхности выемки имеют винтовую нарезку, в которую днище ввинчивается имеющейся на ее цилиндрической поверхности нарезкой. Для предохра-



Фиг. 87.



Фиг. 88.

ния вставного днища от отворачивания на верхней поверхности поршневой головки, в месте соприкосновения днища с телом головки ввертываются 6—8 шт. шурупов. На фиг. 88 изображено подобное же вставное днище, имеющее вертикальную поверхность, обработанную на конус без нарезки; укрепление доньшка производится также посредством шурупов. Доньшки изготавливаются по возможности из специального сырого мелкозернистого чугуна, содержащего около 3% углерода, из которых 0,5—0,6% в связанном состоянии, остальные в виде свободного графита. При изготовлении вставного днища из чугуна такого качества, хорошо противостоящего как высоким температурам, так и давлениям, вставное днище может работать довольно продолжительное время, порядка полугода и больше, и после появления на нем трещин может быть снова сменено.

К вышеописанному исправлению головки поршня приходится прибегать лишь в том случае, когда нет запасной поршневой головки, которая, как правило, должна быть в запасе для каждого поршня. К еще более неприятным неисправностям поршня, очень часто чреватым довольно серьезными последствиями, относится заедание поршня в цилиндре или вследствие недостаточной смазки, что вызывает очень большое трение между поршнем и цилиндром или вследствие применения плохого масла

или, наконец, вследствие перегрузки двигателя. В последнем случае при сжигании в цилиндре большого количества топлива в нем развивается очень высокая температура, которую не выдерживает смазочное масло, оно сгорает, вследствие чего поршень начинает работать сухим, трение о стенки цилиндра увеличивается, что еще больше повышает температуру поршня; последний вследствие этого расширяется и заедает. Заедание обычно наблюдается в плоскости движения шатуна; если таковое имеет место в диаметрально противоположной плоскости, то это указывает на то, что произошло нагревание поршневого пальца, которое передается поршню, или же палец, сам расширяясь, начинает задевать за цилиндр. Стуки в цилиндре, производимые поршнем, получаются при значительной разработке цилиндровой втулки или поршня и происходят вследствие того, что при переходе через верхнюю мертвую точку поршень меняет свое положение, т. е. после того, как он был прижат к одной стороне цилиндра, вследствие перемены хода — прижимается к другой стороне ее. Кроме этой причины поршень начинает стучать при заеданиях, а также вследствие так называемого явления роста поршня; последнее происходит в тех случаях, когда после продолжительной работы поршня, в особенности при высокой температуре, он деформируется, вследствие сильного расширения, увеличивается в диаметре своей верхней части, которая начинает задевать за цилиндр. В этом случае нужно спилить или сшабрить те места на поршне, на которых обнаружатся следы трения.

Кроме стуков, вызываемых самим поршнем, стуки в цилиндре происходят также вследствие слабину в поршневом пальце, который часто смещивают со стуком в подшипнике нижней головки шатуна; для того чтобы убедиться, где именно происходит стук — в нижнюю головку шатуна подают возможно больше масла, и если стук прекращается, то, следовательно, это и есть место стука, если же стук продолжается, то очевидно он происходит в поршневом пальце.

Верхняя часть поршня или поршневая головка, если поршень составной, не должны соприкасаться со стенками цилиндра; поэтому верхняя часть поршня, начиная от нижнего кольца до днища, обрабатывается на конце с таким расчетом, чтобы диаметр днища поршня был меньше диаметра его направляющей части в зависимости от размеров двигателя на 1,5—4 мм; это обстоятельство надо учитывать при заказе нового поршня или поршневых головок так же, как и зазор между поверхностью рабочей втулки и направляющей частью поршня; этот зазор принимается равным 0,0007 диаметра цилиндра, и, следовательно, на эту величину диаметр направляющей части вновь изготовляемого поршня должен быть меньше диаметра цилиндра. А так как при изготовлении штихмасс для направляющей части нового поршня следует учитывать то обстоятельство, что вследствие последующей шлифовки зазор увеличивается примерно на 0,1 мм, то диаметр направляющей части поршня должен быть увеличен на 0,1 мм, и таким образом штихмасс должен быть равен диаметру цилиндра за вычетом 0,0007 диаметра, уменьшенной на 0,1 мм.

При замене поршневых колец необходимо изготовлять их из специального чугуна средней твердости, так как слишком твердый вызывает быструю разработку цилиндра и канавок для колец, слишком же мягкий быстро теряет упругость, и кольца перестают отвечать своему назначению; необходимо следить за тем, чтобы в стыке колец был зазор не менее

2 мм, когда кольца вставлены в цилиндр, так как в противном случае при расширении колец во время работы двигателя концы колец могут сойтись вплотную, вследствие чего кольцо может сломаться. Поршневые кольца могут перестать пружинить и вследствие того, что от продолжительной работы двигателя, в особенности с перегрузкой, или плохого охлаждения цилиндра, они слишком сильно нагреваются и теряют свою эластичность; точно так же на ухудшение эластичности поршневых колец влияет загрязнение колец и кольцевых канавок, когда масло вследствие недоброкачества образует нагар, который, кроме того, сильно срабатывает стенки цилиндра.

В случае заедания поршня устранение заедания обычно производится посредством зачистки, шлифовки пострадавших поверхностей цилиндра и поршня карборундом, однако таковое является далеко несовершенным и вызывает увеличение вредных сопротивлений от трения или увеличение расхода смазки. Единственно действительным способом устранения заедания поршня, гарантирующим надежную работу его и предохраняющим от нового заедания, является пришлифовка поршня по цилиндру с выемкой поршня и цилиндровой втулки, которая производится следующим образом.

Поршень и цилиндровая втулка вынимаются и прежде всего производится удаление частиц металла поршня, которые при заедании отрываются от него и очень прочно пристаю к стенкам цилиндра; удаление этих частиц производится посредством легких, осторожных ударов по ним специальным небольшим молоточком, который должен быть узким без острых краев; ударами такого молоточка присташие частицы расплющиваются, а затем отскакивают. Недостаточно удалить эти частицы и зачистить заевшие места, так как при заедании поршня почти всегда получается деформация поршня или втулки и необходимая правильность последних может быть достигнута лишь посредством пришлифовки поршня в цилиндровой втулке.

После снятия вышеуказанным способом присташих к цилиндру частиц металла втулка основательно промывается керосином, укладывается на козлы и закрепляется на них подкладками или клиньями для предупреждения от поворачивания.

Места заеданий на поршне предварительно осторожно зачищаются личной пилой, затем поршневые кольца снимаются с поршня и в него вставляется поршневой палец, что необходимо ввиду того, что после вставки пальца поршень несколько деформируется, хотя и незначительно и эта деформация устраняется во время пришлифовки.

К днищу поршня (со снятым шатуном) прикрепляется рукоятка в виде трубы, длина которой должна быть рассчитана таким образом, чтобы, вставляя поршень со стороны верхнего фланца втулки, можно было продвинуть его до его положения в нижней мертвой точке; эта рукоятка должна иметь на конце поперечину. Для равномерности шлифовки по всей поверхности цилиндровой втулки на верхней поверхности фланца втулки наносят 6—8 меток на равном расстоянии одна от другой и после достаточной шлифовки в одном положении втулки ее поворачивают на одно деление и производят шлифовку в новом положении втулки; подобным же образом делают отметки против наиболее поврежденных мест, чтобы на них производить пришлифовку более тщательно.

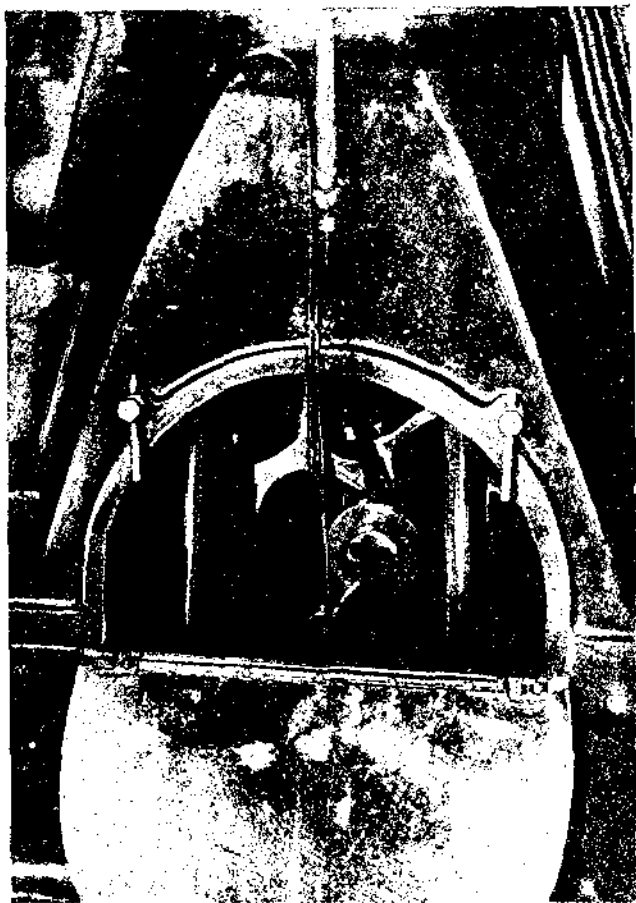
Внутреннюю поверхность цилиндровой втулки смазывают сначала маслом, а затем наждачной или карборундовой пастой и вставляют поршень, который во время шлифовки вдвигают и выдвигают в осевом направлении втулки, одновременно вращая то по часовой стрелке, то против. В начале шлифовки эти движения довольно затруднительны, но постепенно они становятся все более легкими и свободное движение поршня во втулке свидетельствует о достижении требуемого результата при данном положении втулки; тогда поршень вынимают, поворачивают втулку на одну отметку, снова смазывают пастой и производят шлифовку в новом положении. Таким образом шлифовка производится до тех пор, пока втулка не будет повернута на один полный оборот, а затем производится вторичная шлифовка тоже до полного поворачивания втулки на один оборот, но уже без наждачной пасты.

Подобная пришлифовка поршня к цилиндровой втулке должна производиться не только после заедания поршня, но и в случае поставки новой втулки и поршня и в случае замены таковых, так как известно, что первое время новые поршень и втулка работают с меньшей компрессией, а следовательно, и меньшей мощностью и с большим расходом смазки до тех пор, пока поршень не приработается во время работы двигателя. Пришлифовка поршня может быть произведена в течение от одного до двух рабочих дней тремя рабочими.

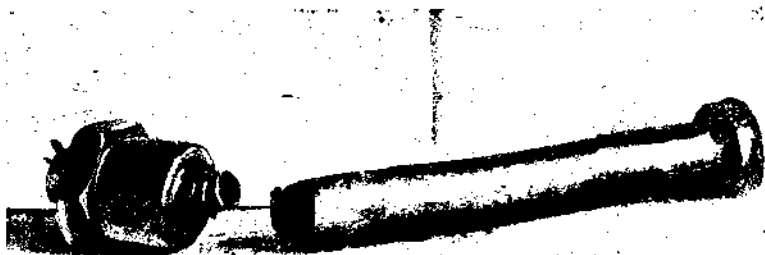
Задиры поршней, во-время не замеченные, сплошь и рядом влекут за собой очень крупные аварии двигателей. Ниже дается описание аварии, причиной которой явилось заедание даже не рабочего поршня, а поршня компрессора. Дизель Герлицкого завода, четырехцилиндровый, мощностью 400 л.с. при 170 об/мин, построенный в 1913 г., работал на главный вал трансмиссии, будучи соединен с таковым непосредственно помощью фрикционной муфты. В одну из ночных смен дежурный машинист услышал сильный стук в этом двигателе и сейчас же выключил нефть, закрыл воздух и выключил фрикционную муфту. При осмотре двигателя после остановки выяснилось следующее. Нижняя половина шатунной головки компрессора, расположенного на продолжении коленчатого вала, отвернута на 180° (фиг. 89), причем один шатунный болт оборван (фиг. 90), а другой изогнут на 180° ; шатун компрессора изогнут в двух местах; из пяти крышек коренных подшипников у четырех частично оборваны шпильки, а у большей части оборваны края вдоль оси вала таким образом, что края крышек остались на шпильках, а средняя часть крышки несколько поднялась (фиг. 91).

Когда был снят цилиндр компрессора и сделана попытка вынуть поршень, то это не представилось возможным сделать иначе, как выбивая поршень сильными ударами 16 кг кувалды, поочередно несколькими людьми. Когда поршень был вынут, то оказалось, что на части низкого давления такового имеются следы большого задира, окрашенного в синий цвет, причем в некоторых местах металл поршня наплавлен на канавки для масла (фиг. 92).

После обнаружения такого задира на поршне компрессора не оставалось сомнений в том, что этот задира и является причиной аварии. Повидимому, в момент полного заедания поршня, когда последний повис приблизительно около верхней мертвой точки, вследствие того что коренной вал продолжал вращаться и, следовательно, кривошипный палец компрессора производил усилие на шатун, оборвался один болт ниж-



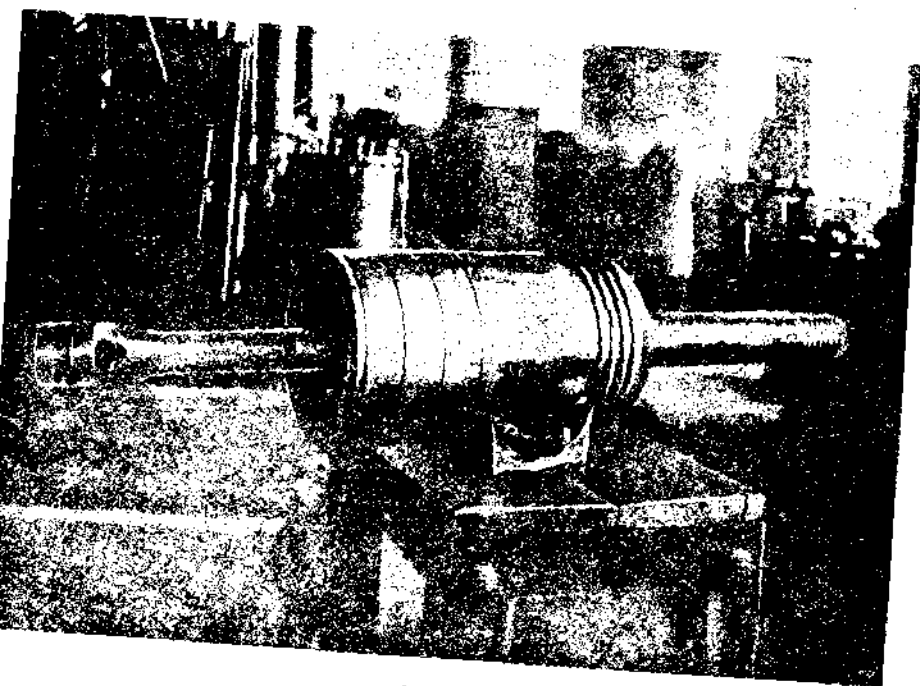
Фиг. 89.



Фиг. 90.



Фиг. 91



Фиг. 92.

ней головки шатуна и последняя, ударившись о палец, отвернулась, удерживаясь на втором болту, который получил изгиб на 180° . Дальнейшее развитие аварии может представляться следующим образом: так как после обрыва шатунного болта двигатель сделал еще несколько оборотов, чему способствовало также выключение фрикционной муфты, что было безусловно неправильно, так как двигатель разгрузился и имел возможность сделать несколько оборотов по инерции, — то при одном из оборотов двигателя кривошипный палец компрессора ударил по шатунной головке, и так как в этот момент шатун заклинился между пальцем и заевшим поршнем, то получился сильный удар, от которого шатун получил изгиб, а коренной вал, получив через палец удар вниз, вследствие реакции от опор подшипников подпрыгнул вверх, в результате чего и были сломаны крышки коренных подшипников и обрваны шпильки на них; так как зазор между крышками коренных подшипников и шейками вала был равен около 0,35 мм, то достаточно было очень незначительного дрожания вала, чтобы были сломаны крышки подшипников.

Причиной столь сильного заедания поршня компрессора мог быть, конечно, только недостаток масла; на возможность недостаточной подачи смазки или временного прекращения подачи указывала неисправность масляного насоса, проверенного после аварии, конструкция какового к тому же далеко не может быть признана совершенной.

д) Шатунные болты.

Большая часть аварий с двигателями и наиболее серьезные аварии, сплошь и рядом влекущие почти полное разрушение двигателя, происходят от разрыва болтов нижней головки шатуна.

Причины обрыва шатунных болтов следующие:

1. Слишком сильное крепление болтов.
2. Продолжительный стук в мотылевых подшипниках вследствие чрезмерно больших зазоров в них; в этом случае в шатунных болтах образуются мелкие трещины, могущие повлечь разрыв болтов, причем трещины эти обычно появляются в месте перехода стержня болта в резьбу.
3. Ослабление гаек во время работы; тогда зазор между вкладышами нижней головки шатуна и мотылевой шейкой увеличивается, появляются стук, вследствие которых может быть разрыв болтов.
4. Заедание поршня в цилиндре; в этом случае при движении поршня вниз получается сильное перенапряжение шатунных болтов, которое может повести к их разрыву. Поэтому после каждого более или менее значительного заедания поршня шатунные болты должны быть заменены новыми.
5. Перегрев подшипников, вследствие которого болты чрезмерно нагреваются, удлиняются, плотность соединения шатунной головки расстраивается и появляются стук, вследствие которых возможен обрыв болта.
6. Неравномерное распределение напряжений слияния в опорных поверхностях гайки и головки, каковое вызывает одностороннее перенапряжение материала.
7. Конструктивные недостатки шатунных болтов, которые большею частью выражаются в слишком резких, опасных в смысле излома, переходах от одного сечения стержня болта к другому, что может явиться следствием неправильного изготовления болта, неправильного размещения «уса»,

предохраняющего от отворачивания, обточка в некоторых местах стержня болта до диаметра, несколько меньшего опасного сечения в резьбе, с целью разгрузить резьбу от наибольших напряжений, недостаточной плотности сидения болтов в своих отверстиях.

Приводя правила выполнения шатунных болтов, Г. Гольднер говорит, что таковые должны вытачиваться из цельных кусков металла, а не выковываться; головка не должна «высаживаться», так как это понижает качество и надежность металла; переходы от головки к стержню и углы промежуточных выточек должны иметь достаточно отлогие скругления; последний виток нарезки должен выходить постепенно, а углубления резьбы не должны быть остроугольными; головки и гайки должны лежать на находящихся под ними поверхностями всей площадью, а стержни болтов должны плотно входить в точно цилиндрические отверстия; в случае закалки или цементации головок болтов или гаек надо тщательно исследовать их относительно возможных закалочных трещин; затягивание гаек должно производиться равномерно во избежание перекашивания крышки и вкладышей; при нагревании подшипника нижней головки шатуна, вследствие значительного большего расширения материала подшипника, чем расширение самих болтов, последние испытывают большие растягивающие усилия, вследствие которых получают значительную вытяжку, которую надо тщательно исследовать, прежде чем признать болты годными для дальнейшей работы.

Шатунные болты изготавливаются из никелевой или хромоникелевой стали с коэффициентом крепости $50-70 \text{ кг/мм}^2$ при удлинении в 25%, реже из литого железа; сварочное железо непригодно. Допускаемое напряжение для литой стали $450-500 \text{ кг/см}^2$, для литого железа — 350 кг/см^2 . Вышеприведенные правила изготовления и конструктивного выполнения болтов надо иметь в виду при приемке болтов, но ни в коем случае не изготавливать таковые в собственных мастерских предприятия или на местных заводах общемашиностроительного характера, а заказывать исключительно на дизелестроительных заводах, имеющих достаточный опыт в их изготовлении и располагающих соответствующим материалом, и еще лучше на заводе, построившем данный двигатель; от завода, изготавливающего болты, необходимо требовать развертку соответствующего диаметра для проверки сверлений в нижней головке шатуна, а также результаты механического испытания материала, из которого изготовлены болты. Для проверки прилегания гайки и головки болта к соответствующим местам верхней части шатуновой головки и ее нижней крышки — перед окончательной установкой болтов следует смазать суриком опорные поверхности гайки и головки, равномерно затянуть гайки и затем, отвинтив гайки и вынув болты из шатунной головки, осмотреть, насколько равномерно прилегают гайки и головки к своим опорным поверхностям, чтобы не допустить одностороннего прилегания, которое может повести к разрыву болта.

Разрыв шатунных болтов большей частью происходит по впадине нарезки под гайкой, иногда под головкой и очень редко по стержню в местах перехода к утолщениям.

Вследствие той или иной из вышеприведенных причин на стержне болта, на нарезке, или под головкой может сначала образоваться трудно заметная трещина, с которой болт может некоторое время работать, пока не получит таких перенапряжений, которые вызовут разрыв болта

по этой трещине. Обнаружить такую трещину можно следующими способами: испытуемый болт промывают керосином и на некоторое время кладут в жидкое теплое масло; вынув болт и насухо вытерев, натирают его поверхность мелом и в таком виде оставляют на некоторое время; если болт имеет трещину, то в том месте, где таковая расположена, масло, вошедшее в трещину, выступит и на меловой поверхности появится желтая черта; для лучшего выхода масла из трещины болт надо немного подогреть.

Кроме периодического исследования болтов в отношении появления трещин, которое должно производиться во время каждой разборки двигателя, нет никаких средств для проверки состояния болтов и пригодности их для дальнейшей работы.

Поэтому после каждого случая, который мог бы вызвать перенапряжение болтов, как-то: сильное заедание поршня, гидравлические или механические удары в цилиндре, взрывы форсунок значительной силы и пр., шатунные болты должны заменяться новыми; конечно, наилучшим средством предупреждения обрыва болтов является хороший уход за двигателем, гарантирующий его от явлений, последствием которых бывает обрыв шатунных болтов.

Ввиду того что чаще во время работы двигателя происходят явления не столь крупного порядка, чтобы они могли заставить произвести смену болтов, как, например, небольшие заедания поршней, сравнительно легкие взрывы и т. п., которые, тем не менее, за время продолжительной работы двигателя отражаются неблагоприятно на прочности болтов, а также, принимая во внимание усталость и перекристаллизацию металла болтов с течением времени, даже при нормальной работе и хорошем уходе за двигателем, необходимо принимать меры к предупреждению разрыва болтов от такого, так сказать, естественного их износа. Такой мерой может быть только своевременная смена болтов через определенные промежутки времени; если такое установление сроков работы необходимо по отношению к различным частям двигателей, в особенности дизелей, то оно в небольшой степени относится именно к шатунным болтам.

Ввиду этого совещанием по тяжелым двигателям внутреннего сгорания при бюро всесоюзных теплотехнических съездов 31 октября 1929 г. в принятых им правилах по уходу за стационарными четырехтактными компрессорными двигателями Дизеля в п. 27 раздела X дается срок смены шатунных болтов в следующей формулировке: «через 12 — 15 лет работы болты, хотя бы и безупречные по внешнему виду, должны быть заменены новыми, сделанными из высококачественного материала на дизелестроительном заводе». Это указание является первой попыткой официального установления срока смены болтов, однако, необходимо признать, что указываемые сроки слишком велики и приближаются к нормальному сроку службы двигателя, которые, правда, действительностью увеличиваются до 20 — 25 лет.

На основании данных практики с двигателями Дизеля приходится прийти к заключению, что срок этот должен быть значительно сокращен; кроме того, установление срока в годах неправильно, так как в зависимости от назначения двигателей они работают с весьма различными коэффициентами рабочего времени, т. е. с различным числом часов работы в год, а потому срок этот должен быть установлен в часах работы. Хотя из рассмотрения целого ряда случаев разрыва шатунных болтов видно, что в большинстве случаев обрыв болтов происходит через 100 000 час.

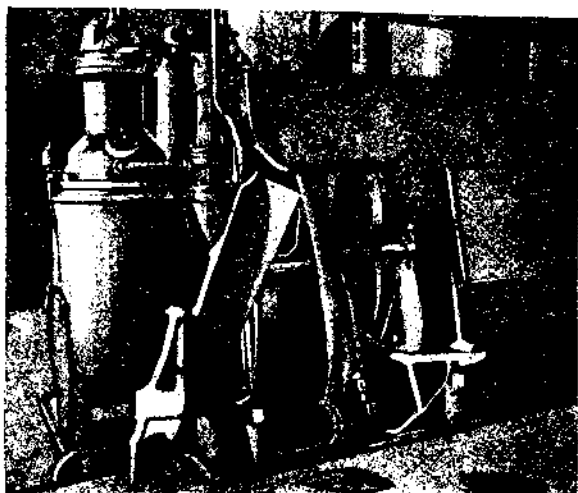
работы, что быть может соответствует времени нормальной усталости и перекристаллизации металла болтов, однако не мало случаев обрыва наблюдалось и после 30 000—40 000 час. работы, что, возможно, объясняется теми, сравнительно слабыми, но отражающимися на прочности болтов явлениями, на которые было указано выше, не считая еще более коротких сроков, которые, очевидно, приходится объяснить тем обстоятельством, что, вероятно, после имевших место тех или иных явлений, сильно влиявших на прочность болтов, таковые не были сменены новыми.

На основании изложенных соображений сроком службы шатунных болтов надо признать 40 000 час. работы при нормальных условиях, что при 5 000 час. работы в среднем в год соответствует 8 годам.

В качестве иллюстрации тех последствий, которые влечет за собою обрыв шатунного болта, приводится описание и анализ аварии дизеля из личной практики.¹

Дизель, с которым произошла авария, построен Герлицким [заводом] в 1910 г. и установлен в 1912 г.; двигатель четырехтактный, трехцилиндровый, компрессорный, мощностью в 300 л. с. при 170 об/мин; диаметр цилиндров 432 мм, ход поршня 700 мм. Со времени установки двигателя проработал около 100 000 час., приводя в движение главный вал трансмиссии посредством канатной передачи.

7 марта 1929 г. в 11 ч. 10 м. утра, когда двигатель работал с несколько пониженной нагрузкой, произошел обрыв головки одного болта нижней головки шатуна первого от компрессора рабочего цилиндра, вследствие чего действию инерционных усилий механизма шатуна должен был сопротивляться второй болт, который был согнут появившимися изгибающими усилиями; вследствие этого в подшипнике образовалась слабина, вызвавшая удары при переходе через мертвые точки, которые и вызвали обрыв второго болта. Обрыв болта, повидимому, произошел в тот момент, когда поршень шел от верхней мертвой точки вниз; ударом мотылевой шейки нижняя крышка головки шатуна была отброшена в сторону, разбила люковую крышку и упала около двигателя, нижняя же половина вкладыша подшипника нижней головки шатуна была выброшена на коренной подшипник. В этот момент шатун вышел из соединения с шейкой кривошипа и упал в картер, а так как двигатель продолжал работать на втором и третьем цилиндрах до момента выключения нефтяного насоса дежурным машинистом, то при последующих оборотах двигателя ударом



Фиг. 93.

¹ См. статью автора в журнале «Вестник инженеров и техников», № 2, 1930.

шейки кривошипа шатун был погнут и отброшен к станине и ударом головки шатуна был выбит угол станины.

На фиг. 93 и 94 представлены фотографии двигателя после аварии.

В 2 м от двигателя с передней стороны его лежала на полу разбитая крышка картерного люка первого цилиндра, а с другой стороны у первого цилиндра оказалась выбитой значительная угловая часть коробчатой станины и картера, причем часть станины весом около 60 кг держалась на хомуте смазочной трубки, сцепленной с воздушным пусковым трубопроводом, а другая часть весом около 48 кг, лежала на расстоянии 1,5 м от



Фиг. 94.

двигателя; разные куски станины и картера весом от 0,5 до 5 кг были разбросаны по машинному помещению на расстоянии от 3 до 10 м.

Через образовавшееся отверстие в станине виден сильно погнутый шатун (фиг. 93 и 94), упирающийся нижней головкой в край разбитого картера; поршень, опустившись ниже цилиндровой втулки, имеет отбитый край в плоскости движения шатуна (фиг. 94). Нижняя крышка головки шатуна лежала на полу машинного помещения в 2 м от двигателя; в ней осталась изогнутая нижняя часть оборвавшегося болта длиной около 150 мм; вкладыш нижней головки шатуна, сильно измятый, лежал на крышке коренного подшипника

между первым и вторым цилиндрами; в шатунной головке находились в своих гнездах обе гайки и части шатунных болтов, сильно погнутые и забитые (фиг. 94); головка болта, с обрыва которой началась авария, вместе с другими мелкими частями станины лежала на дне картера. Кривошип аварийного цилиндра находился в верхней мертвой точке начала третьего такта. Следов заедания на поршне и цилиндровой втулке не оказалось; у выхлопного и всасывающего клапанов оказались погнутыми и частично разбитыми клапанные тарелки и шпиндели.

Осмотр коленчатого вала показал, что скручивания вала не произошло; не было обнаружено также ни изгиба вала, ни трещин на шейках и щеках его. Фиг. 95 изображает болт с оборвавшейся головкой, с которого началась авария, и второй болт, разорвавшийся на две части. Осмотр и обмер разорвавшихся болтов дал следующие результаты; болты имеют

диаметр стержня 43,3 мм и утолщенных поясков 44,5 мм, диаметр головок болтов 65 мм; переход от головок к стержню выполнен без загрузений; на стержнях болтов у самых головок имеются радиальные сверления глубиной 19 мм и диаметром 8,5 мм для укрепления «усов», предохраняющих болты от поворачивания; по этому сверлению и оборвалась головка первого болта в месте перехода головки к стержню (фиг. 95). Второй болт оборвался на расстоянии 150 мм от головки в месте перехода стержня к утолщенному пояску и получил изгиб у места разрыва на 25° от оси, скручивание на 15° и удлинение на 4%; тело болтов около головок накернено для уплотнения, а стопорные болтики гаек оказались на месте, закрепленными.

В течение последнего времени до аварии двигатель работал с нормальной нагрузкой при сравнительно редких кратковременных перегрузках; слабина в мотылевых подшипниках допускалась от 0,3 до 0,5 мм вследствие эллипса в 0,2 мм; крепление гаек производилось при помощи нормального ключа без чрезмерной затяжки их, причем за период семнадцатилетней работы двигателя было несколько случаев ослабления гаек шатунных болтов и нагрева мотылевых подшипников, но за последние три года нагрева подшипников до расплавления баббита не было.

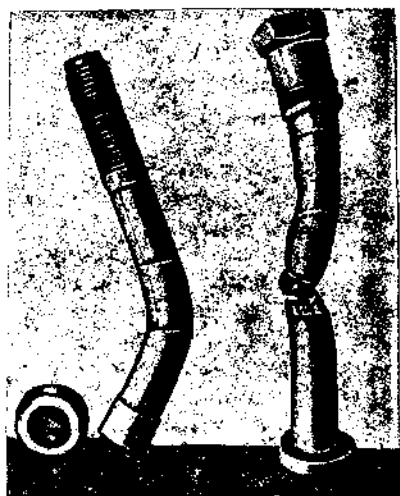
До аварии двигатель работал без каких-либо стуков.

На основании вышеизложенных условий работы двигателя до аварии и состояния частей его до и после таковой, а также рассмотрения конструкции шатунных болтов, можно было предположить, что обрыв головки одного болта, который явился причиной всей дальнейшей аварии, произошел вследствие усталости металла в месте резкого перехода головки болта к стержню.

Для определения качества металла болта, у которого оборвалась головка, было произведено механическое испытание болта в Институте испытания материалов Московского высшего технического училища, которое дало следующие результаты.

Таблица 14.
Испытание на растяжение.

№ по пор.	Диаметр образца d мм	Площадь сечения F мм ²	Разрыв. нагрузка $P_{\max}$ кг	Коэффициент крепости $Z_{\max}$ кг/мм ²	Удли. на длине $l = 10d$ %	Сужение попер. сечения %	Излом
1	6,9	37,4	1 225	32,7	25,0	64,7	Ноздреватый
2	7,0	38,0	1 290	33,5	23,5	47,0	Пузыристый



Фиг. 95.

Таблица 15
Испытание на удар по Менаже.

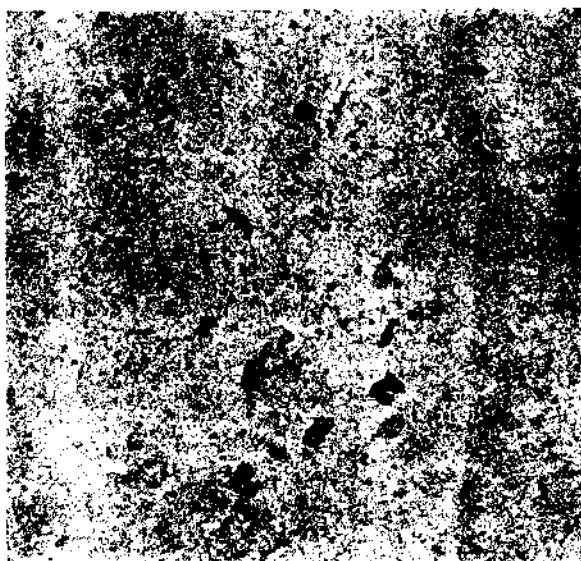
№ по пор.	Сечение образца $b \times h$ мм	Площадь сечения F см ²	Работа удара		Излом
			Полная A кг.м	Удельная $a = A/F$ кг.м/см ²	
1	10,0 × 8,0	0,800	18,5	20,6	Слоистый в направлении оси болта
2	10,0 × 8,0	0,800	10,8	13,5	
3	10,0 × 8,0	0,800	8,8	11,0	

III. Макроструктура (фиг. 96). Шлиф после травления реактивом Гейна, обнаруживающий засоренность металла шлаками и его неоднородность.

IV. Микроструктура (фиг. 97, 98, 99 и 100). Как макроscopicкое, так и микроскопическое исследование металла указывает на неоднородность структуры его и на значительные шлаковые включения.



Фиг. 96.



Фиг. 97.

Механическое испытание также дает неудовлетворительный результат, так как столь ответственные детали, как болты нижней головки шатуна должны изготавливаться из никелевой или хромоникелевой стали с коэффициентом крепости 50—70 кг/мм².

Принимая во внимание неудовлетворительные показатели исследования материала болта, обнаруживающего неоднородность его структуры и недостаточную крепость, изготовление болта из сварочного железа с вы-

сживанием головки, обрыв по засверловке для «уса» и наличие резких переходов от головки болта к стержню, можно сделать вывод, что эти обстоятельства и были причиной обрыва головки болта. Наличие смятых керн на стержне болта у головки указывает на то, что болт мог иметь небольшую слабинку и кернами, вероятно, предполагалось уплотнить стержень болта в его гнездах, ввиду же того что керны оказались смятыми, можно предполагать, что вследствие этого смятия снова образовалась небольшая слабина, которая вызвала удары и изгиб болта. Пониженный против нормального коэффициент крепости металла болта можно объяснить или плохим качеством его или понижением такового вследствие усталости металла; определенно установить ту или иную причину не представлялось возможным, так как Герлицкий завод, запрошенный по этому поводу, ответил, что механических испытаний металла, из которого изготавливаются болты, завод не производил.

В последующих конструкциях шатунных болтов Герлицкий завод вместо засверловки стержня болта у головки для «уса» делает прорезы в самих головках.

Хотя двигатель получил весьма серьезные повреждения, однако

ввиду невозможности быстрой замены его новым и необходимости в наискратчайший срок восстановления работоспособности предприятия, было



Фиг. 98.



Фиг. 99.

решено его отремонтировать, причем ремонт осуществлен следующим образом.

Была отлита часть станины по форме отбитого угла таковой, которая была прикреплена к станине впритык к местам обрыва посредством шпилек (в количестве 60 шт., диаметром $\frac{5}{8}$ "), ввинченных по линии стыка (фиг. 101); при таком положении эта отливка работала бы только на сжатие, для сопротивления же растяжению станина с отливкой, системой балок и болтов, была соединена с фундаментной рамой, как это видно на фиг. 101 и 102.

Так как балки коробчатого железа трудно было точно пригнать к станине, то на нижнюю часть цилиндра было посажено кольцо из полосового железа, к которому с трех сторон были прикреплены балки коробчатого



Фиг. 100.

железа, а с четвертой, между первым и вторым цилиндрами концы балок соединены полосовым железом; вся эта рама сидит на уширяющейся книзу коробчатой станине. К этой верхней раме, из коробчатого железа, с каждой стороны двигателя прикреплены по две тяги (с аварийной стороны диаметром 51 мм и с противоположной диаметром 30 мм), нижние концы которых имеют болтовую нарезку и закрепляются гайками в нижние коробчатые балки с каждой стороны, которые в свою очередь крепятся гайками фундаментных болтов, а также двумя самостоятельными болтами к фундаментной раме. При расчете тяг допускаемое напряжение на

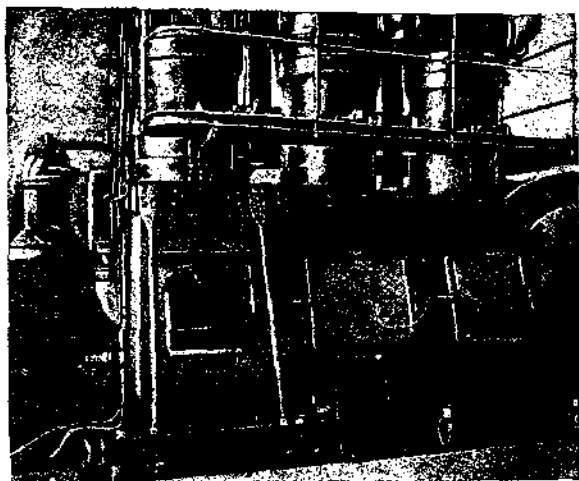
растяжение принималось равным 300 кг/см^2 ; все щели между балками и станией двигателя для плотности прилегания были залиты баббитом.

Несмотря на кажущуюся примитивность ремонта, таковой вполне оправдал себя и двигатель вполне исправно работает при полной нагрузке второго и третьего цилиндров и недогрузке первого 10—15%, при трехсменной работе предприятия уже в течение свыше 2 лет.

е) Воздушные холодильники.

Большинство дизелестроительных заводов до сих пор снабжало свои компрессорные дизеля змеевиковыми холодильниками, через которые проходил воздух после первой и второй ступени компрессора и которые располагаются в чугунных резервуарах соответствующей формы, причем змеевики обычно делаются из труб красной меди.

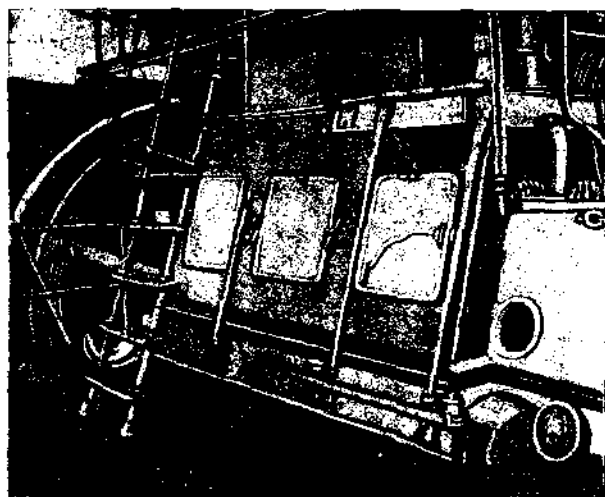
Неисправности змеевиковых холодильников заключаются, главным образом, в образовании трещин на их поверхности, которые часто влекут за собою полный разрыв трубы, а так как последняя находится в водяном пространстве, то получается воздухогидравлический удар, вследствие которого происходит разрыв чугунного корпуса холодильника; последние рассчитываются только на давление охлаждающей воды, а потому, конечно, не могут выдержать таких воздухо-гидравлических ударов.



Фиг. 101.

В компрессорной установке, имеющейся при каждом дизеле с воздушным распыливанием нефти, эти змеевиковые холодильники (фиг. 103) являются весьма слабым местом в смысле создания остановок двигателя для замены лопнувшего змеевика, а иногда и исправления разбитого чугунного корпуса холодильника; то же самое

надо сказать и о петлеобразных воздушных змеевиках, которые применяются некоторыми заводами (фиг. 104).

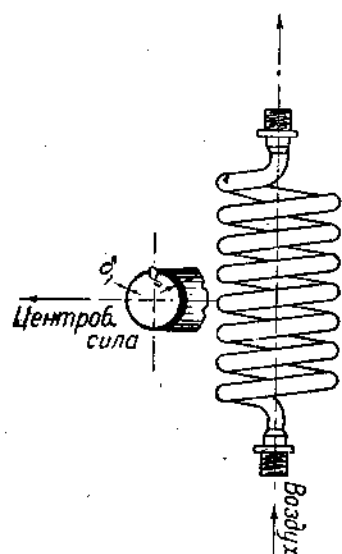


Фиг. 102.

Появление трещин наблюдается большей частью на змеевиках холодильников высокого давления и значительно реже на таковых низкого давления; появление незначительной трещины на змеевике обнаруживается пульсацией, прерывистым выходом охлаждающей воды в воронку вследствие попадания воздуха в охлаждающую водя-

ную систему, и во-время замеченное не представляет опасности для двигателя, однако довольно скоро может вызвать разрыв змеевика в месте появления трещины с последующим разрушением корпуса холодильника,

а потому по вышеуказанному признаку двигатель должен быть остановлен. В случае отсутствия запасного змеевика, трещина может быть заделана накладкой из красной меди на медном припое; если же в месте образования трещины тело змеевика оказывается слишком тонким вследствие сильного износа, то поврежденную часть змеевика вырезают и на ее место ставят медную муфту также на медном припое.



Фиг. 103.

Причинами разрыва змеевиков являются или износ его стенки в том или ином месте или вспышка паров масла в цилиндре компрессора в период сжатия, причем последняя причина обычно является лишь способствующей разрыву змеевика в месте наибольшего его износа.

Как показывают наблюдения над разорванными змеевиками, причина износа кроется в самой конструкции винтообразных и петлеобразных змеевиков, что видно из следующих соображений.

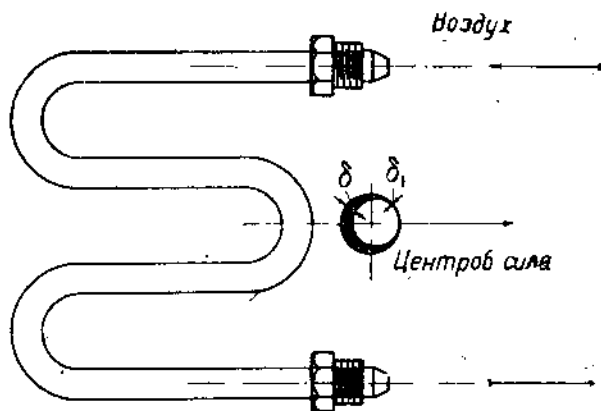
Выгибание змеевиков из труб красной меди производится при сильном нагревании их, при котором происходит отжиг меди, делающий ее мягкой, вследствие чего такая подвергается более быстрому изнашиванию от имеющихся в охлажденном воз-

духе частиц пыли, воды, масла и нагара. Кроме того, при самом сгибании змеевика наружные стенки витков его, удлиняясь, становятся тоньше, в то время как внутренние, наоборот, сжимаясь, утолщаются и, следовательно, даже новый змеевик оказывается обладающим неодинаковой степенью прочности во всех частях своей поверхности.

Наружные стенки змеевика меньшей толщины оказываются во время прохождения через них воздуха в более тяжелых условиях работы, чем внутренние, более толстые, так как при винтообразном движении воздуха по змее-

вику, под влиянием центробежной силы частицы пыли, воды, масла и нагара от масла производят в большей степени истирание внутренней поверхности наружной части витка змеевика (фиг. 103 и 104).

На фиг. 105 изображена зарисовка с натуры разорванного змеевика, на которой ясно видно отверстие разрыва и уменьшение толщины наруж-



Фиг. 104.

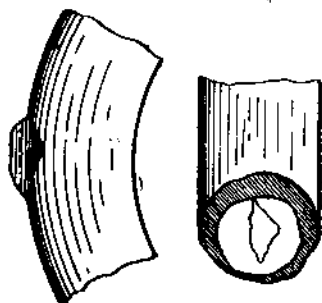
ной стенки витка со стороны внутренней поверхности с 4 мм до 1,5 мм, причем в месте разрыва стенки толщина уменьшилась до 0,25 мм.

Аналогичный износ стенок получается и в коленях петлеобразных змеевиков. Как винтообразные, так и петлеобразные змеевики недоступны для внутреннего осмотра и обмера толщины стенок труб и неудобны для чистки; износ труб можно до некоторой степени обнаружить постукиванием молотком о наружную поверхность труб, причем значительное уменьшение толщины стенок характеризуется дребезжащим звуком, а при сильном износе, когда толщина стенки становится незначительной, появлением мятин в местах ударов.

Очистка змеевиков от нагара производится посредством раствора кальцинированной соды, прокаливанием змеевика или пропусканием через змеевик пара, если таковой имеется; пар пропускается через змеевик в течение 10—12 час. слабой струей, после чего он продувается сильной струей пара, посредством которой из змеевика выбрасываются отставшие нагар и грязь. Разрыв змеевика, а вслед за ним и корпуса холодильника, особенно болезненно отражается на работоспособности двигателя, если в качестве корпуса холодильника использована станина компрессора, имеющая одну общую стенку со станией двигателя, как это, например, имело место в старых конструкциях Герлицких дизелей; в этом случае разрыв змеевика влечет за собою порчу станины компрессора или даже самого двигателя, что увеличивает время, необходимое для восстановления его работоспособности.

Подобный случай произошел с дизелем постройки Герлицкого завода мощностью 400 л. с. при 170 об/мин, выпуска 1912 г., у которого корпусом холодильника низкого давления служит внутренняя часть станины компрессора, отлитой заодно со станией двигателя, причем одна из стенок станины компрессора, а следовательно, и корпус холодильника является стенкой станины двигателя.

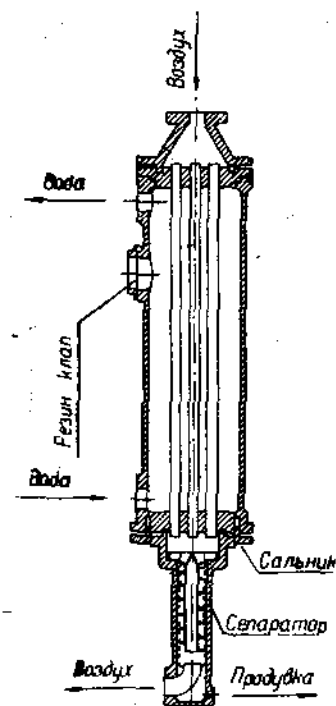
При разрыве змеевика низкого давления получился воздухогидравлический удар, которым эта общая для станины компрессора и двигателя стенка была выбита (площадью около 0,5 м²) и упала в кривошипное пространство первого от компрессора кривошипа; движением кривошипа некоторые части стенки были выброшены наружу через люковые крышки, которые были разбиты; авария могла бы иметь серьезные последствия для фундаментной рамы двигателя, если бы куски стенки, толщина которых была 25 мм, попали бы ребром между вращающимся кривошипом и фундаментной рамой. Ремонт пострадавшей стенки был произведен следующим образом: вокруг образовавшегося отверстия в стенке станины двигателя были засверлены отверстия с нарезкой, в них ввернуты шпильки диаметром $\frac{1}{2}$ " и при помощи гаек к станине был привернут соответствующей формы лист котельного железа толщиной 12 мм на резиновой прокладке. Так как водяное пространство корпуса холодильника не имело никакого предохранительного клапана, что и было причиной столь значительного разрушения стенки станины, то на вышеуказанной заплате был поставлен



Фиг. 105.

резиновый предохранительный клапан диаметром около 100 мм, который представляет собою резиновую пластину толщиной 12 мм, прикрепленную к железному листу при помощи железного кольцеобразного фланца и болтов.

Вследствие вышеуказанных серьезных недостатков змеевиковых холодильников, влекущих за собою серьезные аварии дизелей, некоторые заводы перешли на конструкцию холодильников с прямолинейными трубами, помещенными в отдельных от компрессора корпусах; такая конструкция изображена на фиг. 106 с сепаратором для отделения воды и масла и резиновым предохранителем на чугунном корпусе.



Фиг. 106.

Такой холодильник представляет собою пучок прямолинейных труб, заключенных в цилиндрическую чугунную коробку с верхней и нижней крышками; воздух входит в верхнюю крышку, проходит через трубы и охлажденным выходит через нижнюю крышку и помещенный под ней сепаратор для отделения масла и воды; нижняя решетка для труб делается на сальнике для того, чтобы дать трубам возможность расширения при нагревании от проходящего горячего воздуха.

Подобные холодильники изготавливаются заводами MAN, Grazer Waggon, Benz, AEG, а также нашими ХПЗ и Коломенским заводами. Наиболее простой и надежной конструкцией холодильника с прямолинейными трубами является конструкция, изображенная на фиг. 107.

Эта конструкция состоит из одной, двух или трех труб красной меди, работающих параллельно, которые входят в стальные болванки с соответствующими отверстиями и каналами для прохода воздуха; соединение этих коробок с трубами производится обычным способом при помощи медных корпусов и нажимных гаек. Каждая из таких медных труб заключена в обыкновенную газовую трубу в кольцевом пространстве, между которой и медной внутренней трубой циркулирует охлаждающая вода по принципу противотока в движениях воды и воздуха; для свободного расширения воздушных труб делаются сальники, а на случай разрыва труб — резиновые предохранительные клапаны на наружных трубах, хотя, как показывает практика работы таких холодильников, таковых разрывов не бывает. Такой холодильник кроме своей простоты и дешевизны, благодаря чему он может быть сделан собственными средствами станции, обладает еще тем преимуществом перед змеевиковыми в чугунных корпусах, что они совершенно безопасны для обслуживающего персонала, так как даже в случае разрыва воздушной трубы и вследствие этого разрыва наружной трубы (если предположить, что предохранительный клапан по-

венную газовую трубу в кольцевом пространстве, между которой и медной внутренней трубой циркулирует охлаждающая вода по принципу противотока в движениях воды и воздуха; для свободного расширения воздушных труб делаются сальники, а на случай разрыва труб — резиновые предохранительные клапаны на наружных трубах, хотя, как показывает практика работы таких холодильников, таковых разрывов не бывает. Такой холодильник кроме своей простоты и дешевизны, благодаря чему он может быть сделан собственными средствами станции, обладает еще тем преимуществом перед змеевиковыми в чугунных корпусах, что они совершенно безопасны для обслуживающего персонала, так как даже в случае разрыва воздушной трубы и вследствие этого разрыва наружной трубы (если предположить, что предохранительный клапан по-

чему-либо не действовал) — наружная железная труба может дать разрыв только в виде трещины без отрыва отдельных кусков металла, как это обычно имеет место в холодильниках с чугунными корпусами.

Холодильники такой конструкции очень удобно размещать под площадкой двигателя в горизонтальном положении или под лестницей для входа на площадку наклонно, параллельно лестнице, или же в специальных каналах в полу машинного помещения, закрытых рифленым железом.

Как было указано выше, замена существующих змеевиковых холодильников рекомендуемой конструкцией холодильников с прямолинейными трубами может быть произведена во время очередного ремонта двигателя, изготовив такой холодильник хозяйственным способом, причем надо иметь в виду, что поверхность охлаждения холодильника с прямолинейными трубами должна быть больше, чем таковая у заменяемых змеевиковых холодильников, так как в последних благодаря центробежной силе происходит хорошее перемешивание частиц воздуха, благодаря чему увеличивается теплопередача от воздуха к воде и улучшается охлаждение воздуха.

Расчет холодильника с прямолинейными трубами можно произвести на основании следующих соотношений.

Для холодильника низкого давления можно принимать требующуюся внутреннюю поверхность охлаждения на 1 л засасываемого поршнем низкого давления воздуха в секунду равной:

$$f_h = 0,015 - 0,023 \text{ м}^2.$$

а для высокого давления соответственно:

$$f_h = 0,0062 - 0,0087 \text{ м}^2.$$

Общее количество воздуха, засасываемого поршнем, компрессора в секунду, определяется по объему, описываемому поршнем и числу оборотов, причем коэффициент объемного наполнения можно принимать: для цилиндра компрессора низкого давления — $\eta_h = 0,70 - 0,75$ и для высокого давления — $\eta_h = 0,90 - 0,95$.

Получив на основании приведенных данных общую внутреннюю охлаждающую поверхность труб холодильника высокого и низкого давления и выбрав диаметр труб, определяют их количество по объему проходящего воздуха и его скорости, для которой можно пользоваться следующими данными: Средняя скорость воздуха в трубах холодильника низкого давления — $w_h = 27 - 40 \text{ м/сек}$ и высокого давления $w_h = 14 - 32 \text{ м/сек}$. Зная требующуюся внутреннюю поверхность труб, их диаметр и число, находят длину каждой трубы, и таким образом, все основные данные для конструирования холодильника известны.

ж) Неправильный пуск двигателя; пуск двигателя углекислотой.

Для надежного пуска двигателя (дизеля) в ход необходима достаточно высокая температура сжатия, которая, в свою очередь, определяется достаточно высоким давлением сжатия, т. е. хорошей компрессией. Поэтому причиной неудавшегося пуска двигателя в ход может служить недостаточная компрессия и эту причину, имеющую основание в самом процессе работы дизеля, надо считать наиболее важной, имеющей место довольно часто. Для того чтобы убедиться в отсутствии пропусков в ци-

линдре (через возможные зазоры между поршнем и цилиндром и через клапаны), и, следовательно, в возможности получения достаточной компрессии, что особенно важно после ремонта, проверяют цилиндр на плотность одним из следующих способов:

1. В сравнительно небольших двигателях при закрытых клапанах, форсунке и индикаторном кране стремятся возможно быстро провернуть двигатель через верхнюю мертвую точку, и если это удастся без особого труда, то это свидетельствует о том, что сжатие воздуха в момент нахождения поршня в верхней мертвой точке невелико, а следовательно, цилиндр пропускает воздух и место этого пропуска можно определить посредством наблюдения во время вращения машины. Этот способ, конечно, требует значительного навыка в определении сопротивления проворачиванию при хорошем сжатии для сравнения такового с сопротивлением во время победного опыта.

2. Проворачивают двигатель таким образом, чтобы поршень стал в верхнюю мертвую точку; затем, открывая вентиль на баллоне форсуночного воздуха и сначала при закрытых клапанах и открытом индикаторном кране пуская воздух в форсунку, проверяют плотность форсунки; если форсунка пропускает, то через индикаторный кран будет выходить воздух. Убедившись в плотности форсунки, закрывают индикаторный кран и пускают через форсунку воздух в цилиндр и определяют по свисту или шипению выходящего из-под поршня или из-под клапанов воздуха место утечки его.

Если вышеуказанные опыты свидетельствуют об абсолютной плотности цилиндра, то причину неудачного пуска надо искать в неисправности топливного насоса, в особенности, если двигатель после переключения на нефть дал несколько вспышек и затем остановился, так как в этом случае эти вспышки произошли за счет подкаченного перед пуском топлива, а насос такого не подает, вследствие ли попадания воздуха в него, или пропуска клапанов или скалки.

Проверка поступления нефти в цилиндр производится следующим образом: при закрытом распыливающим воздухе поднимают форсуночную иглу и, прокачивая нефтяной насос вручную, наблюдают, выходит ли нефть из сопла форсунки; но так как при отсутствии противодействия, распыливающего воздуха нефть легко может быть подана насосом в цилиндр, а при наличии такого противодействия и при пропусках насоса, последний не может подать нефть в цилиндр, то для полной проверки отсутствия пропусков в насосе производят следующий опыт: при закрытой форсуночной игле впускают в форсунку распыливающий воздух и затем пробуют прокачать нефть насосом вручную; если это удастся, то, очевидно, насос пропускает, так как при абсолютной плотности насоса преодолеть противодействие распыливающего воздуха, действуя на насос тем небольшим рычагом, который представляет собою его рукоятка, почти невозможно; если же насос не удастся провернуть вручную, то это свидетельствует об исправности нефтяного насоса.

Другие причины неудавшегося пуска в ход двигателя, указанные в инструкциях, не требуют особых пояснений. Остановимся подробнее лишь на самом главном правиле правильного пуска в ход — последовательности открытия вентилей на пусковом баллоне и перевода пусковой рукоятки из нейтрального положения в пусковое. В инструкциях даны определенные указания на то, что сначала надо открыть

вентиль пускового баллона, а затем перевести пусковую рукоятку из нейтрального положения в пусковое. Необходимость такого порядка пуска двигателя, а не обратного, как это часто делается, диктуется тем соображением, что при соблюдении его каждый раз перед пуском двигателя проверяется плотность пускового клапана, каковая проверка крайне необходима, так как работа двигателя с пропуском пускового клапана чрезвычайно опасна и влечет за собой повреждения и серьезные аварии двигателя. При вышеуказанном правильном порядке пуска двигателя, после открытия вентиля пускового баллона пропуск пускового клапана легко обнаруживается шипением вырывающегося из него пускового воздуха, каковое не может быть не услышано машинистом, пускающим двигатель, в то время когда он находится у двигателя для перевода пусковой рукоятки из нейтрального положения в пусковое.

Пропуск пускового клапана может получиться вследствие следующих причин: 1) ржавления его вследствие влажности пускового воздуха, 2) застревание во втулке шпинделя вследствие перекоса втулки при неравномерной натяжке болтов.

В случае пропуска пускового клапана сжатый воздух входит в цилиндр во время хода сжатия, вследствие чего к концу этого хода давление возрастает до такой величины, что при открытии форсуночной иглы распыливающий воздух не может преодолеть этого давления, а наоборот, сжатый воздух из цилиндра поступает в форсунку и в трубопровод форсуночного воздуха, вследствие чего или в форсунке может произойти взрыв нефти или нефть проталкивается в трубопровод и даже в форсуночный баллон и там взрывается. Если в цилиндр перед пуском было подкачено значительное количество нефти, то таковая может дать преждевременную вспышку очень большой разрушительной силы, так как она происходит в среде сжатого до очень высокого давления воздуха в период хода сжатия; в последнем случае взрыв может передаваться через пропускающий пусковой клапан в пусковой трубопровод и баллон и произвести разрушение последних.

Из последних соображений ясно, какую важную роль играет порядок пуска двигателя, так как при правильном пуске, т. е. когда сначала открывается вентиль пускового баллона, а затем уже рукоятка переводится из нейтрального положения в пусковое, каждый раз проверяется пусковой клапан на плотность, и в случае обнаружения пропуска пуск двигателя отменяется и производится исправление пускового клапана, а следовательно и предупреждается возможная авария.

Второе неперемное условие правильного пуска двигателя это своевременный перевод его с работы на воздухе на нефть, т. е. соблюдение необходимого числа оборотов двигателя на пусковом воздухе. Практика работы компрессорных дизелей указывает на целый ряд случаев взрывов форсунок вследствие преждевременного перехода на нефть цилиндра, который первым переводится на рабочее положение. Действительно, так как пуск производится после более или менее продолжительной стоянки двигателя, то при наличии пропусков поршня, а таковые имеются в двигателях очень часто, для получения достаточной компрессии, а следовательно, и температуры воздуха в конце хода сжатия, необходима достаточная скорость поршня, которая может быть приобретена им, в свою очередь, лишь после достаточного числа оборотов двигателя на

воздухе. Если же перевод двигателя на нефть производится слишком рано, то при холодном двигателе вследствие недостаточной компрессии, а следовательно, и недостаточной для самовоспламенения нефти температуре сжатого в цилиндре воздуха, вспышка не получается и двигатель не идет в ход; тогда производится вторичный пуск двигателя воздухом, но так как во время первого пуска двигатель уже значительно нагрелся, а на поршне имеется довольно значительное количество нефти от первого неудавшегося пуска, то после первых же оборотов двигателя на воздухе, при втором пуске температура, развивающаяся в нем, может оказаться достаточной для того, чтобы воспламенить скопившуюся на поршне нефть; это воспламенение может произойти во время хода сжатия в виде преждевременной вспышки, давление которой сжимающий ход поршня доведет к концу своего хода до очень высокого давления, превышающего давление вспрыскивающего воздуха. Вследствие этого произойдет то же явление, что и при пропуске пускового клапана, т. е. давление сжатия в цилиндре преодолет давление вспрыскивающего воздуха, во время открытия форсуночной иглы после перевода двигателя на нефть и произойдет взрыв нефти в форсунке, которая может передаваться в воздушный форсуночный трубопровод и далее в форсуночный баллон (см. «Взрывы форсунок» стр. 232).

Такой преждевременный перевод двигателя при пуске с воздуха на нефть после 3—4 оборотов практикуется некоторыми механиками из опасения израсходовать пусковой воздух, т. е. в целях экономии последнего. Перевод двигателя с воздуха на нефть необходимо производить после того, как двигатель приобретет достаточную скорость, гарантирующую необходимую компрессию, а следовательно, и температуру к концу хода сжатия, чего с достаточной уверенностью можно ожидать лишь после 6—8 оборотов двигателя на воздухе. В правилах ухода за дизелями почти всех дизелестроительных заводов и указывается это число оборотов двигателя на воздухе и лишь в руководстве по уходу за дизелем завода «Русский дизель» рекомендуется переводить двигатель на нефть после 3—4 оборотов на воздухе, что может быть отнесено лишь к новому двигателю, находящемуся не в холодном состоянии, двигатель же с более или менее изношенными цилиндрыми втулками и поршнями необходимо переводить на нефть только после 6—8 оборотов на воздухе. В случае неудачного пуска в ход двигателя, когда двигатель после нескольких оборотов на воздухе был переведен на нефть, но вспышки не последовало, независимо от причины этого, необходимо произвести продувку цилиндров для удаления из нее нефти, скопившейся на поршне, и только после этого произвести вторичный пуск двигателя. Продувка производится посредством впуска сжатого воздуха через пусковой клапан при положении поршня в верхней мертвой точке и при открытом индикаторном кране или выхлопном клапане.

В случае, если пусковой воздух израсходован, а двигатель не удалось пустить в ход и поблизости нет двигателей, от которых можно было бы наполнить пусковой баллон сжатым воздухом, а также нет и отдельного компрессора, которым можно было бы накачать воздух хотя бы вручную, то двигатель может быть пущен в ход углекислотой.

В виду значительной легкости получения кислорода, баллоны с которым очень похожи на баллоны с углекислотой, вследствие ошибки

или по незнанию было довольно много случаев пуска двигателей кислородом, что необходимо категорически запретить, так как таковой пуск большей частью приводит к сильным взрывам, а часто и к крупным авариям и пожарам и представляет прямую опасность для обслуживающего персонала.

При соприкосновении кислорода с нефтью, которую для верности пуска машинисты имеют обыкновение перед пуском подкачивать в цилиндр вручную, происходит чрезвычайно быстрое сгорание нефти в виде взрыва, разрушающего двигатель.

Хотя кислородные баллоны обычно должны быть окрашены в голубой цвет, а баллоны с углекислотой — в черный, однако в виду возможных ошибок, в целях полной уверенности необходимо проверять содержимое баллона следующим образом. На тлеющие концы или лучину направляют струю, из баллона и если они вспыхнут пламенем, то значит баллон наполнен кислородом, если же потухнут, то углекислотой. Необходимо соблюдать особую осторожность при перепуске углекислоты из баллона в пусковой баллон двигателя и производить этот перепуск постепенно, ни в коем случае не ускоряя процесс перехода углекислоты подогреванием баллона с ней, так как при этом вследствие повышения давления в баллоне может произойти разрыв его.

Наполнение пускового баллона углекислотой производится следующим образом: баллон с жидкой углекислотой устанавливают рядом с пусковым баллоном, отвинчивают его головку и соединяют последнюю с пусковым баллоном трубкой.

В случае, если в пусковом баллоне давление оставшегося воздуха выше, чем в форсуночном, то следует до наполнения пускового баллона углекислотой, перепуская сжатый воздух из пускового баллона в форсуночный, уравнивать давление в них, чтобы в форсуночном баллоне было возможно больше сжатого воздуха.

После соединения помощью трубки пускового баллона с баллоном с углекислотой открывают вентили у пускового баллона и у баллона с углекислотой, и жидкая углекислота переходит в пусковой баллон в газообразном состоянии. Для ускорения наполнения пускового баллона углекислотой можно подогревать соединительную трубку теплыми тряпками до температуры не выше $30-40^{\circ}\text{C}$, но ни в коем случае не открытым пламенем; это необходимо в виду того, что при перепуске углекислоты происходит испарение ее с поглощением значительного количества тепла и трубка замерзает. Баллон с оставшейся углекислотой, во избежание повышения давления в нем, следует сохранять в прохладном месте, чтобы температура его не поднималась выше 25°C .

В качестве примеров, какие аварии влечет за собой пуск двигателя кислородом, можно привести следующие два случая.

Случай 1, имевший место на заводе треста «Жиркость» в Москве в ноябре 1926 г., произошел с двигателем Дизеля завода б. Л. Нобель, одноцилиндровым, мощностью 50 л. с.

Вследствие израсходования сжатого воздуха во время испытания двигателя, были выписаны с завода «Красный Перун» 5 баллонов со сжатым воздухом, однако завод прислал вместо последнего баллоны с кислородом и, несмотря на то, что на накладной было указано, что в баллонах находится кислород, таковые были сданы механику под видом сжатого

воздуха. Механик, не проверив содержимое баллонов струей газа на тлеющие концы или лучину, пустил двигатель при помощи одного из баллонов, причем произошел сильный взрыв, которым были разрушены форсунка, медные нефтяная и воздушная трубки между форсункой, нефтяным насосом и форсуночным баллоном, разорвана воздушная трубка между форсуночным баллоном и компрессором, разорвана головка ступени высокого давления компрессора, а также змеевик и охлаждающая рубашка высокого давления. Как видно из этого перечисления повреждений, таковые сами по себе были не столь разрушительны, но вследствие того, что расплынная при разрыве нефтепроводов и воздухопроводов нефть воспламенилась, в машинном помещении возник пожар, которому способствовал выходивший из баллона кислород, а вследствие того что силовой взрыва были опрокинуты расходные баки с нефтью, пожар принял такие значительные размеры, что выгорело не только все машинное помещение, но и второй этаж здания над ним и чердак. При взрыве получили ожоги: механик, три машиниста, из которых один на следующее утро скончался, и бригадир механической мастерской.

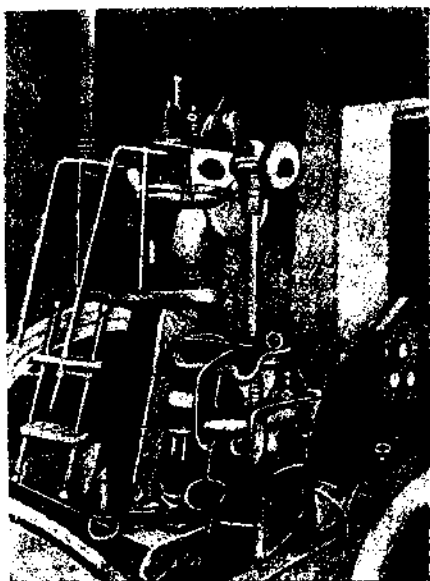
На фиг. 108 показан общий вид двигателя после аварии и пожара.

Случай 2 более разрушительного взрыва вследствие пуска кислородом, но не сопровождавшийся пожаром, имел место на трикотажной фабрике в Харькове в апреле 1929 г.

Этот случай свидетельствует о еще большей неосторожности, которая выразилась в том, что кислородом был наполнен не только пусковой, но и форсуночный баллоны для того, чтобы поднять давление в нем, что, конечно, создало условия, при которых взрыв должен был произойти обязательно; в данном случае пуск кислородом производился сознательно, так как машинист когда-то имел случай безнаказанного пуска двигателя кислородом.

Двигатель сделал несколько оборотов на кислороде, но когда был переведен на нефть, то получился большой силы взрыв, в результате которого двигатель получил следующие повреждения: разорван воздушный трубопровод от форсуночного баллона к форсунке и нефтяной от насоса к форсунке; разорван и сорван с места форсуночный баллон, а также воздушный трубопровод от холодильника высокого давления к сепаратору; коренной вал смещен со своего места, а маховик получил перекося. Кроме того, повреждены стены машинного здания, пробита крыша, повреждены оконные рамы, выбиты стекла и пр. Взрывом были ранены четыре человека один из них со смертельным исходом.

Из приведенных двух примеров видно, какие разрушительные последствия имеют место при пуске двигателя кислородом, а потому необходимо категорически запрещать таковой.



Фиг. 108.

Не менее серьезные, чем от обрыва шатунных болтов, аварии происходят от так называемых гидравлических или воздухогидравлических ударов; как те, так и другие заключаются в том, что по тем или иным причинам над поршнем двигателя скопляется некоторое количество воды (реже нефти) высотой больше высоты пространства сжатия; если перед пуском двигателя присутствие такого количества воды тем или иным путем не обнаружено, то во время пуска, когда двигатель совершает первый оборот под действием пускового воздуха, поршень не может перейти через верхнюю мертвую точку, так как этому препятствует имеющаяся над поршнем вода, и вследствие того что вода почти несжимаема, происходит сильный удар воды о цилиндрическую крышку, в результате которого двигатель получает более или менее серьезные повреждения; то же самое происходит и в том случае, когда над поршнем скопилось большое количество нефти.

Воздухо-гидравлические удары, очень близкие по своей сущности к гидравлическим, бывают двух родов и имеют своей причиной термическую трещину в камере пускового клапана; через такую трещину вода из охлаждающих полостей цилиндрической крышки проникает в камеру пускового клапана и при пуске двигателя от мгновенного соприкосновения воздуха высокого давления с водой происходит воздухо-гидравлический удар, который разрушает камеру пускового клапана; повреждение этим ограничивается, если разрыв камеры был не очень велик и вода в течение хода поршня вниз не успела наполнить всю камеру сжатия; при более же сильном разрыве камеры пускового клапана, вследствие воздухо-гидравлического удара, за период хода поршня вниз вода заполняет всю камеру сжатия, вследствие чего в верхней мертвой точке получается собственно гидравлический удар, который производит значительные повреждения двигателя.

Как гидравлические, так и воздухо-гидравлические удары могут явиться следствием проявленной небрежности при обслуживании двигателя, а могут происходить и по причинам, не зависящим от обслуживания персонала.

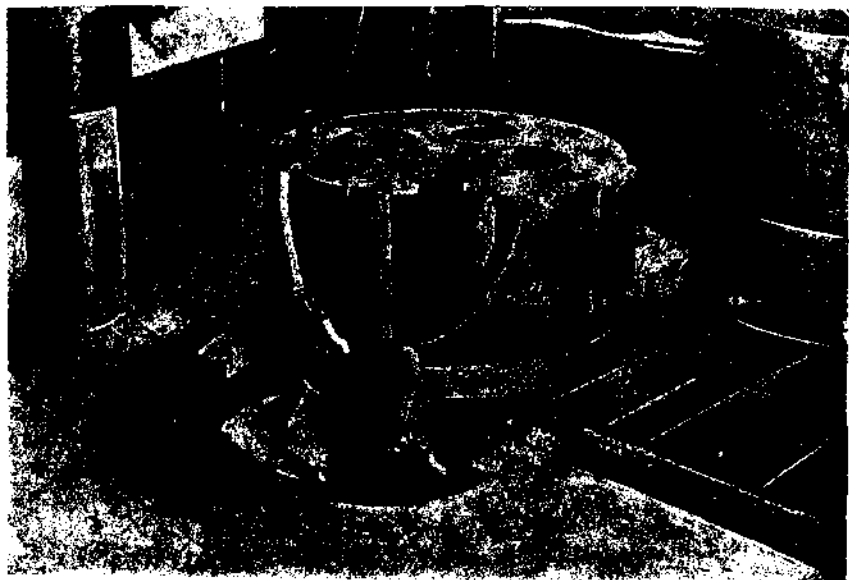
В двух нижеприведенных примерах дано описание и анализ причин воздухо-гидравлического и гидравлического ударов в двигателях Дизеля, причем первый из них не зависел от обслуживающего персонала, второй же был следствием ряда упущений, допущенных при обслуживании.

Первый случай¹ произошел с трехцилиндровым двигателем Дизеля, постройки Герлицкого завода 1910 г., мощностью в 300 л.с. при 170 об/мин. В день аварии двигатель работал при обычной нагрузке до 4 час. дня и был остановлен для снятия и замены одного растрепавшегося каната канатной передачи с вала двигателя на главный трансмиссионный вал; через полчаса двигатель был поставлен на пуск с третьего, по распределению, хода поршня второго цилиндра. После открытия вентиля пускового баллона и перевода рукоятки из нейтрального положения в пусковое, поршень второго цилиндра пошел вниз и в то время, когда маховик не сделал еще полного оборота, а поршень подходил на четвертом такте к верхней мертвой точке, во втором цилиндре произошел большой силы удар и двигатель мгновенно остановился.

¹ См. статью автора в журн. «Хлебное и мукомольное дело СССР», № 7 — 8, 1925.

Силой удара двигателю были нанесены следующие повреждения:

- 1) крышка второго цилиндра разорвана по линии пускового клапана (фиг. 109).
- 2) шатун в верхней своей части изогнут на 120 мм по оси, в сторону по ходу поршня (фиг. 110)
- 3) гнездо пускового клапана разорвано и куски стенок его оказались в разных местах водяного пространства крышки;
- 4) в корпусе пускового клапана образовались трещины вверх от окон;
- 5) медный тройник, соединяющий камеру пускового клапана с воздушным трубопроводом, оторван вместе со шпильками и разорван на части;



Фиг. 109.

6) весь трубопровод диаметром $1\frac{1}{2}$ " идущий от пускового баллона к пусковым клапанам в местах соединений вырван из фланцев; часть трубопровода, прилегающая к корпусу первого цилиндра, приблизительно на половине своей длины от баллона к цилиндру разорвана на протяжении около 600 мм (фиг. 111);

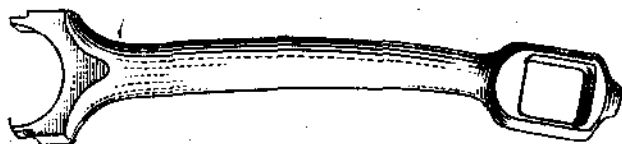
7) на поршне образовалась трещина, идущая от пальца к головке поршня;

8) медные трубки, подводящие воздух от рабочего баллона к форсункам и подающие нефть от нефтяных фильтров к насосу, идущие параллельно пусковой воздушной трубе, выгнуты и помяты в местах разрыва пусковой трубы;

9) в машинном отделении выбиты до 75% стекол в оконных рамах. Осмотр форсуночного, всасывающего и выпускного клапанов показал, что таковые находились в исправном состоянии. Положение кривошипа второго цилиндра, в котором произошел удар, составляло с вер-

тикалью 6° (кривошип третьего цилиндра находился в периоде хода расширения) и поршень не доходил до верхней мертвой точки на 2,2 мм; по положению клапанов и распределительных шайб было определено, что поршень второго цилиндра остановился на четвертом такте выхлопа; выхлопной клапан был открыт на 1,8 мм, всасывающий закрыт. Исследованием вала выяснено, что ни изгиба, ни скручивания вала не произошло.

Ввиду того что описанный случай как по своей силе, так и по вызванным им разрушениям является исключительным, проанализируем его причины, а также те предположения, которые в данном случае могут иметь место в отношении условий, вызвавших аварию.



Фиг. 110.

что удар произошел во время пуска двигателя в ход и что, судя по характеру причиненных двигателю повреждений, авария, очевидно, началась с пускового клапана. Посмотрим, не могла ли таковая произойти от неисправности пускового клапана. Так как пусковой клапан сравнительно редко приводится в действие, то вполне возможно, что в момент пуска двигателя в ход он не сможет быстро закрыться, вследствие застревания шпинделя от перекоса его, или же может оказаться неплотным, вследствие ржавления или попадания каких-либо твердых частиц из воздуха. В этом случае, как мы указывали выше, может произойти следующее: клапан может быть открыт в течение всего хода поршня вниз и частично на части хода его вверх: в это время цилиндр наполнен воздухом высокого давления, которое при сжимающем ходе поршня может достигнуть чрезвычайно большого значения и само быть причиной значительных повреждений двигателя; если же в цилиндр перед пуском двигателя было подкачено слишком много нефти, то может произойти взрыв, могущий вызвать поломку не только шатуна и крышки, но даже цилиндра и вала.



Фиг. 111.

Однако в описанном случае застревание шпинделя пускового клапана нельзя было предположить, так как при разборке шпиндель был легко вынут; чрезмерного накачивания нефти в цилиндр также не было, так как двигатель был остановлен после продолжительной работы лишь на полчаса, а следовательно, при пуске был еще достаточно теплым и поэтому подкачка нефти для надежности пуска не требовалась, что показал дежурный машинист.

Можно было бы предположить, что вследствие застревания пускового клапана, он оставался открытым в течение всего хода поршня вниз и даже после того, когда выхлопной клапан начал открываться; следовательно, поршень начал такт выхлопа с очень большим давле-

нием, а вследствие соединения цилиндра с атмосферой через выхлопной клапан воздух устремился в цилиндр с громадной скоростью и увлек с собою осадок масла в пусковом баллоне и в воздушном трубопроводе; этот осадок превратившись в газообразное состояние, создал заряд для взрыва, который и произошел, когда поршень дошел до верхней мертвой точки, имея над собою весьма большое давление, по причине, указанной выше, способствовавшее взрыву.

Однако, если подсчитать, какое давление взрыва должно было иметь место для того, чтобы изогнуть шатун, то оказывается, что таковое должно было равняться 940 ат.¹

Невозможно допустить, чтобы то количество масла, которое могло попасть в цилиндр вместе с воздухом из пускового баллона, вместе с маслом, имевшемся в цилиндре, было достаточно для образования настолько сильного взрыва, чтобы давление его достигло 940 ат, тем более, что масло в пусковом воздушном баллоне всегда находится в состоянии тесного смещения с водой (эмульсии), взрывчатость же этой смеси остается еще пока мало доказанной и весьма сомнительной.

Таким образом возможное предположение о том, что причиной аварии был взрыв нефти или масла в цилиндре, отпадает.

С другой стороны, на мысль о гидравлическом ударе в цилиндре наводит характер разрыва крышки цилиндра по линии расположения пускового клапана, а также и то обстоятельство, что после вскрытия цилиндра, на поршне и стенках цилиндра были обнаружены следы воды, главная масса которой могла, конечно, свободно распылиться в момент удара через все те отверстия в крышке и трубопроводах, которые образовались в результате удара.

Гидравлический удар мог получиться по следующим причинам. На стенке воздушного канала, отделяющей последний от водяного пространства крышки, образовалась термическая трещина, через которую вода просачивалась в воздушный канал и в камеру пускового клапана; это просачивание усилилось во время остановки двигателя вследствие охлаждения стенки, на которой была трещина, и увеличения при остывании самой трещины; вода скопилась в этих местах в значительном количестве, и когда при пуске двигателя в воздушный канал пускового клапана сразу попал воздух высокого давления, получился воздухо-гидравлический удар, разорвавший камеру пускового клапана, крышку и воздухопровод; вода с громадной скоростью устремилась через открывшийся в это время пусковой клапан в цилиндр, поршень пошел вниз, а на следующем ходе его вверх и произошел удар этой воды о крышку цилиндра, последствием какового был изгиб шатуна; вероятно, последнему обстоятельству способствовала инерция маховика, который усилил удар воды над поршнем второго цилиндра о крышку. Правильность подобного предположения подтверждается аналогичными, довольно многочисленными случаями, которые имели место в практике работы дизелей и которые описаны в литературе.

Что касается возможности предупреждения подобных случаев, то приходится отметить, что поскольку первопричиной аварии нами при-

¹ Подсчет этого давления можно произвести, определив по формуле Эйлера на продольный изгиб силу, которая должна была действовать на шатун для того, чтобы изогнуть его.

нана трещина в крышке цилиндра, то предупреждение таких случаев в значительном большинстве их почти невозможно, так как трещины эти очень часто являются следствием особенностей конструкции крышек двигателей Дизеля, имеющей большое количество отверстий и клапанов, ослабляющих ее прочность, причем материал, из которого крышки изготавливаются, не может быть равномерно распределен, что вызывает внутренние напряжения в нем, неравномерное распределение которых еще в очень значительной степени увеличивается вследствие неравномерного нагревания крышки.

Действию наиболее высокой температуры и наибольших давлений подвергается нижнее доннышко крышки, соприкасающееся с горячими газами, а потому и большая часть трещин появляется с этой стороны или в ближайших к ней сечениях и в особенности в самом слабом и опасном месте крышки — между выхлопным клапаном и форсункой.

Таким образом частично можно гарантировать двигатель от аварий, подобных вышеописанной, принятием соответствующих мер к недопущению образования трещин в цилиндрических крышках, зависящих от надлежащего ухода за двигателем и поддержания нормального режима его работы. Однако довольно часто отсутствие запасной цилиндрической крышки, продолжительность изготовления новой и недопустимость остановки двигателя, а следовательно, и всего предприятия даже на время ремонта крышки заставляет работать при наличии трещин в крышке и небольшой течи; хотя, вообще говоря, такая работа недопустима, но если временно приходится работать при таких обстоятельствах, а также и в тех случаях, когда работа производится с крышками, отремонтированными после появления трещины, каковой ремонт никогда не может полностью гарантировать от появления течи, то при такой работе необходимо принимать нижеуказанные меры к недопущению гидравлических ударов.

Ниже приводится описание случая гидравлического удара в дизеле, происшедшего в результате невыполнения первого из приведенных условий, а также совпадения целого ряда других неблагоприятных обстоятельств вследствие неправильного ухода за двигателем, каковым сцеплением обстоятельств и интересен данный случай.

Гидравлический удар произошел вследствие попадания в один из цилиндров двигателя значительного количества нефти при следующих обстоятельствах. ¹ Дизель завода Зульцера, трехцилиндровый, четырехтактный, постройки 1914 г., мощностью 150 л.с. при 187 об/мин, непосредственно соединенный с валом главной трансмиссии посредством фрикционной муфты, до 1929 г. находился в упакованном виде и установлен в конце 1929 г., а пущен в работу в январе 1930 г. 10 февраля 1930 г. в 8 час. утра механик предприятия приступил к пуску дизеля, который имел пусковые клапаны на первом и втором от маховика цилиндрах; после открытия вентиля пускового воздушного баллона, при первом же обороте двигателя в нем послышался сильный удар, после которого был закрыт воздушный баллон и двигатель остановился.

При осмотре двигателя оказалось, что в третьем от маховика цилиндре имеются следующие повреждения: 1) согнут шатун в верхней своей части (изгиб на 15°); 2) вдавлена внутрь часть цилиндрической втулки у нижнего

¹ См. статью автора в журнале «Вестник инженеров и техников» № 5, 1930.

конца ее (размером 350 × 200 мм) и 3) отломана небольшая часть нижнего края поршня. При осмотре двигателя была снята цилиндровая крышка и на поршне оказалось значительное количество нефти высотой около 40 мм от крышки головки (весом около 4 кг), что превышает высоту вредного пространства на 17 мм. Наличие такого количества нефти на поршне аварийного цилиндра не вызывает сомнений в том, что изгиб шатуна произошел вследствие гидравлического удара нефти, находившейся на поршне, о цилиндговую крышку в момент прохождения поршня через верхнюю мертвую точку; далее, при движении изогнутого шатуна вниз у нижней мертвой точки выгнутая часть шатуна выдавила нижнюю часть поршня и цилиндровой втулки. Проникновение нефти в цилиндр за время ночной стоянки двигателя (предприятие работало в одну смену и было остановлено накануне около 5 час. вечера) могло иметь место при наличии с едущих необходимых для этого условий: 1) открытия кранов на нефтепроводе от нефтяных фильтров к насосу, 2) нахождения уровня в нефтяных фильтрах выше уровня входного штуцера форсунки, 3) открытия форсуночной иглы аварийного цилиндра и 4) пропуска нагнетательного клапана нефтяного насоса аварийного цилиндра.

При обследовании выяснилось, что:

1) После остановки двигателя вечером накануне аварии краны на нефтепроводе от нефтяных фильтров к нефтяному насосу были оставлены открытыми и находились в таком положении всю ночь до пуска двигателя;

2) Уровень нефти в нефтяных фильтрах был выше уровня входного штуцера форсунки примерно на 100 мм, так как нефтяные фильтры расположены несколько выше двигателя, а поплавки фильтров поддерживают уровень нефти в них на максимальной высоте.

3) После остановки дизеля накануне аварии пусковой рычаг не был переведен в нейтральное положение, а оставался в рабочем положении, вследствие чего форсуночная игла могла быть открытой форсуночным рычагом, если двигатель остановился в тот момент, когда форсуночный кулак нажал на рычаг; этого положения не могло бы быть, если бы после остановки двигателя форсуночный рычаг был бы переведен на нейтральное положение, что требуется правилами ухода за дизелями.

4) Проверкой нагнетательного клапана нефтяного насоса обнаружен пропуск клапана, каковой в момент остановки мог бы быть довольно значительным, вследствие возможного попадания под клапан каких-либо твердых частиц. Таким образом оказалось наличие всех необходимых условий для того, чтобы нефть самотеком могла поступать из нефтяных фильтров в цилиндр, что, очевидно, и послужило причиной накопления в нем значительного количества нефти, а следовательно, и причиной аварии.

Из приведенного примера видно, как иногда несоблюдение самых элементарных правил ухода за двигателями влечет за собою тяжелые последствия.

Для предупреждения гидравлических ударов в двигателях необходимо применять следующие меры:

1. Перед пуском двигателя пробуксовать его на полный оборот вала, чтобы убедиться в том, что ничто не препятствует свободному вращению двигателя, предварительно открыв индикаторные или декомпрессионные клапаны.

2. Если имеется подозрение на возможность проникания в цилиндр охлаждающей воды — продуть цилиндр сжатым воздухом из пускового баллона при открытом индикаторном кране, декомпрессионном или выхлопном клапане.

Повреждения, более или менее аналогичные с теми, которые являются следствием гидравлических ударов, получаются при различных механических ударах в цилиндре, как, например, при обрыве тарелки всасывающего или выхлопного клапана, когда таковая попадает между поршнем и крышкой цилиндра.

и) Преждевременные вспышки и взрывы форсунок.

Преждевременные, вспышки в двигателях дизеля происходят по следующим причинам:

1. Вследствие чрезмерной подачи смазки, которая, испаряясь, образует взрывчатую смесь, воспламеняющуюся во время хода сжатия. Эта причина легко устранима уменьшением подачи смазки и не представляет большой опасности для двигателя, так как вспышки получаются сравнительно слабыми.

2. Вследствие преждевременной подачи нефти при неправильной установке камня на кулачной шайбе форсунки или вследствие отсутствия зазора между шайбой и роликом, когда выступ шайбы воздействует на ролики раньше времени.

Преждевременные вспышки от этой причины имеют место сравнительно редко, так как являются следствием несоблюдения основных правил нормального распределения, допущения которого можно ожидать лишь при весьма неумелом уходе за двигателем.

3. Вследствие чрезмерной подачи нефти в цилиндры двигателей при неправильной регулировке нефтяного насоса или распределения топлива. В этом случае часть нефти, не сгорая за недостатком кислорода, остается на поршне и взрывается при следующем ходе сжатия.

Так же как и причина, указанная в п. 2, — эта причина свидетельствует о плохом уходе за двигателем или о малограмотности механика.

4. Пропуск форсункой иглы вследствие слабости пружины форсуночного клапана или плохой притирки иглы, отчего часть нефти попадает в цилиндр ранее открытия иглы и воспламеняется во время хода сжатия. Преждевременные вспышки вследствие слабости пружины происходят сравнительно редко; степень нажатия пружины обычно контролируется от руки или, еще лучше, специальным рычагом. Слабость пружины форсуночного клапана играет гораздо большую роль, как причина взрыва форсунок при образовании преждевременной вспышки, а потому несколько больше внимания будет уделено этому фактору, когда речь будет идти о взрывах форсунок.

5. Вследствие заедания иглы в ее сальнике; в этом случае игла не садится своим конусом и в цилиндр преждевременно может попасть значительное количество нефти при следующей ее подаче нефтяным насосом.

Заедание форсуночной иглы является наиболее опасной неисправностью форсунки, так как влечет за собою сильные неожиданные взрывы в отличие от постепенно увеличивающихся преждевременных вспышек, проявляющихся вследствие других причин. Для предупреждения от таких взрывов форсуночная игла должна подвергаться проверке и притирке

по возможности ежедневно, если, конечно, этому не препятствует характер работы производства.

При вынимании форсуночной иглы для ее притирки необходимо принимать соответствующие меры предосторожности во избежание попадания нефти из форсунки на раскаленную головку поршня, что вызывает иногда довольно разрушительные взрывы. Эти меры предосторожности должны заключаться в том, что иглу не следует вынимать ранее, чем через 10 мин. после остановки двигателя, не прекращая циркуляции охлаждающей воды; кроме того, на случай возможного взрыва двигатель перед выниманием иглы должен быть пробуксован до такого положения, при котором выхлопной клапан того цилиндра, у которого вынимается форсуночная игла, будет в открытом положении.

6. Вследствие слишком раннего перевода двигателя на нефть во время пуска. Если двигатель после более или менее продолжительной остановки остыл и после 3—4 оборотов на воздухе, как это часто практикуется механиками, из опасения истратить слишком много сжатого воздуха, был переведен на нефть, то вследствие недостаточной скорости поршня может не получиться достаточной компрессии (в особенности при разработанных втулках и поршнях), а также вследствие холодного состояния цилиндра, и, следовательно, не получится вспышки и нефть останется на поршне; при следующем ходе поршня вверх (ходе сжатия) температура смеси может оказаться достаточной для того, чтобы произошла преждевременная вспышка. Еще в более сильной степени, с еще более значительной преждевременной вспышкой это явление может иметь место при вторичном пуске двигателя, в случае неудачного первого пуска (а иногда и нескольких неудачных пусков), так как в этом случае на поршне скопится значительное количество нефти.

Для предупреждения преждевременной вспышки от этой причины необходимо при значительном остывании двигателя во время его остановки, прогревать цилиндр двигателя горячей водой или паром, если имеется к тому возможность, обогреть машинное помещение до температуры 15°C и не переводить двигатель во время пуска на нефть раньше, чем через 6—7 оборотов его на воздухе. В случае неудачного первого пуска, перед вторым пуском и вообще перед каждым последующим продувать цилиндр сжатым воздухом через пусковой клапан при открытом индикаторном кране или выхлопном клапане.

7. Вследствие всасывания в цилиндр из картерного пространства масляных и нефтяных (в случае сильных пропусков поршня) паров. В этом случае пары масла и нефти представляют собою горючую смесь, вместе со всосанным в цилиндр воздухом, которая при ходе сжатия даст преждевременную вспышку, не достигающую, однако, угрожающих размеров.

Как на наиболее интересный случай преждевременных вспышек вследствие всасывания паров масла можно указать на следующий. При пробном пуске шестицилиндрового дизеля Коломенского завода мощностью в 900 л. с. при 187 об/мин при каждом пуске двигателя, ровно через два часа в пятом от компрессора цилиндре начинались легкие взрывы, переходившие в чрезвычайно сильные выстрелы; при помощи индикатора были зафиксированы ординаты давлений в моменты вспышек, начиная от самых слабых до самых сильных, причем оказалось, что давления во время вспышек доходили от 33 до 75 ат; вместе с тем, при

снимки индикаторных диаграмм была получена одна диаграмма, определенно указывавшая на то, что в неблагоприятном цилиндре по какой-то причине происходят преждевременные вспышки, которые, очевидно, и являлись причиной столь высоких давлений.

Так как конус иглы был в полном порядке и никаких других причин преждевременных вспышек нельзя было предположить, то было сделано предположение, что причиной их является слишком большая подача масла; однако явления взрывов продолжались и после уменьшения количества смазки. Так как другим источником попадания масла в цилиндр было картерное пространство, из которого дополнительно засасывался воздух всасывающим клапаном, то последний был разобщен с картером с тем, чтобы всасывание производилось непосредственно из помещения; после этого преждевременные вспышки исчезли. Объяснение появления взрывов через два часа после начала работы двигателя было найдено в том, что вторая группа цилиндров имела недостаточный уклон трубы, отводящей масло из углубления фундаментной плиты, вследствие чего уровень масла в нем постепенно поднимался и через два часа становился достаточно высоким для того, чтобы нижние головки шатунов этих цилиндров, ударяя по маслу, разбрызгивали его, вследствие чего картерное пространство насыщалось масляной пылью, которая и засасывалась пятым цилиндром, в то время как масло из рамы первой группы цилиндров имело достаточно хороший отток и масло в нем не скоплялось.}

После того как на всасывающих трубах из картера были сделаны щели для уменьшения всасывания из картеров и увеличен уклон трубы, отводящей масло из фундаментной рамы, явления взрывов совершенно прекратились.

Преждевременная вспышка, происходящая по той или иной из вышеуказанных причин во время хода сжатия, при уменьшающемся объеме цилиндра мгновенно повышает давление в цилиндре, которое к концу хода сжатия достигает чрезвычайно больших величин.

Вопрос о размерах давлений в цилиндрах дизелей, получающихся в результате преждевременных вспышек, был исследован теоретически и практически инженером Колеллем, который при помощи специально для этой цели построенного фирмой Майгак индикатора снимал индикаторные диаграммы в моменты преждевременных вспышек. Для этой цели Колеллю был предоставлен специальный двигатель в одной лаборатории, где он поставил опыты с созданием искусственного заедания иглы, вызывавшего преждевременные вспышки, изображенные на фиг. 112.

Из этих диаграмм мы видим, что давления при производившихся опытах достигали 110 ат.

Теоретически давление в конце хода сжатия при преждевременной вспышке Колелль определяет следующим образом. Если через P_0 и P_1 обозначить давление в начале и в конце преждевременной вспышки, а через T_0 и T_1 — соответственно температуры, то имеем, что:

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{T_1}{T_0}$$

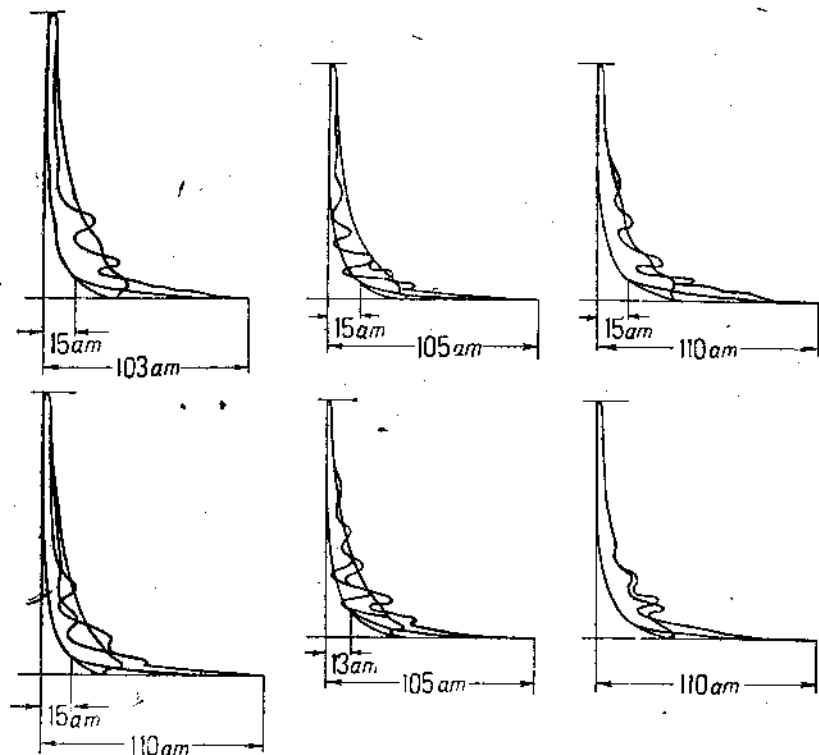
откуда

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{T_1}{T_0} \quad (1)$$

По закону адиабатического сжатия имеем:

$$\frac{T_0}{T_a} = \left(\frac{P_0}{P_a}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2)$$

где P_a — давление всасывания равное 0,9 ат T_a — температура начала сжатия, равная $T_a = t_a + 273 = 70 + 273 = 343^\circ$. Далее, T_0 можно считать известной как температуру горения нефти в воздухе и принять равной 450° , т. е. $T_0 = 450 + 273 = 723^\circ$, а величина k — отношение теплоемкости газа при постоянном давлении для воздуха c_p к теплоемкости газа при



Фиг. 112.

постоянным объеме для воздуха c_v — легко находится равной около 1,4. Зная эти величины из уравнения (2), найдем P_0 , которое будет равно $P_0 = 12,2 \text{ ат}$. Для нахождения P_1 из уравнения (1) необходимо найти T_1 — температуру в конце преждевременной вспышки, определить которую можно, допустив, что количество горючего, создающее преждевременную вспышку, равно количеству горючего при нормальном горении и что, следовательно, количество тепла, выделяемое в цилиндре, в обоих случаях одинаково, причем горение при преждевременной вспышке с некоторым приближением происходит при постоянном объеме, а при нормальном сгорании — при постоянном давлении. При этих условиях, обозначая через T_2 абсолютную температуру при нормальном сгорании, а через T_3 — абсолютную температуру при преждевременной вспышке,

количества тепла будут равны: $Q=c_p \cdot T_2$ и $Q=c_v \cdot T_3$, или $c_p \cdot T_2=c_v \cdot T_3$, откуда

$$T_3 = \frac{c_p}{c_v} \cdot T_2 = 1,4 T_2.$$

Величину k Колендль принимает равной в данном случае 1,2, так как вспрыскивающий воздух понижает до некоторой степени температуру.

Абсолютную температуру смеси при нормальном сгорании можно принимать приближенно равной $T_a=2500^\circ \text{C}$.

Так как конечная температура при преждевременной вспышке нами принята равной $1,2 T_2$, то при температуре в конце сжатия T_c , температура увеличится на $1,2 T_2 - T_c$ и, следовательно, температура в конце преждевременной вспышки будет:

$$T_1 = T_0 + 1,2 T_2 - T_c \quad (3)$$

Подставляя последнее выражение для T_1 (3) в выражение (1), получим:

$$P_1 = P_0 \frac{T_0 + 1,2 T_2 - T_c}{T_0} = P_0 \left(1 + \frac{1,2 T_2 - T_c}{T_0} \right) \quad (4)$$

В уравнении (4) остается определить температуру в конце нормального хода сжатия, которая при $P_a=0,9 \text{ ат}$, $k=1,4$ и $\varepsilon=14$, будет равна $800+273=1073^\circ \text{C}$; подставив в уравнение (4) все определенные величины, получим:

$$P_1 = 12,2 \left[1 + \frac{1,2 \cdot 2500 - 1073}{723} \right] = 46 \text{ ат}.$$

Давление конца сжатия при нормальном сгорании — p_c , при $k=1,4$ и $\varepsilon=14$ будет равно: $p_c=36,2 \text{ ат}$.

Следовательно, давление в конце сжатия после преждевременной вспышки будет равно:

$$P_h = p_1 \frac{p_c}{p_0} = 46 \cdot \frac{36,2}{12,2} = 136,6 \text{ ат}.$$

На фиг. 113 графически изображены результаты вышеприведенных расчетов давлений при преждевременной вспышке.

Так как цилиндр дизеля мощностью в 100 л. с. при 187 об/мин имеет диаметр, равный 450 мм и площадь поршня $F = \frac{\pi D^2}{2} = 1590 \text{ см}^2$, то сила удара на поршень от преждевременной вспышки может дойти до следующей катастрофической величины:

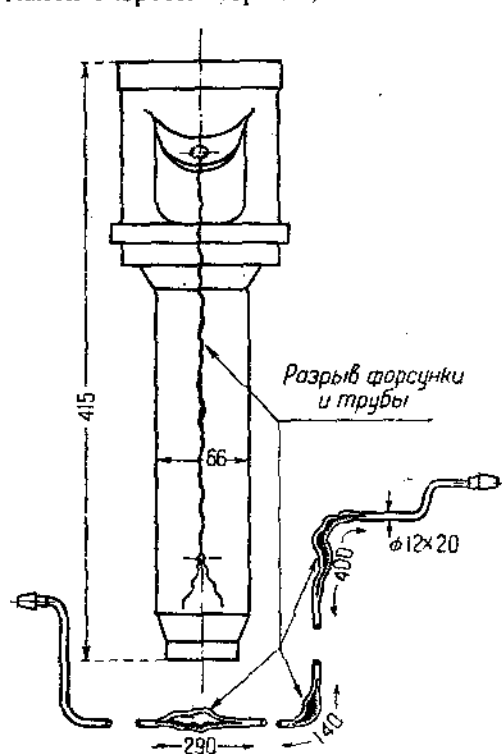
$$P = F \cdot p_h = 1590 \cdot 136,6 = 217 \cdot 194 \text{ кг или больше } 217 \text{ т}.$$

Из этих подсчетов видно, какие колоссальные усилия могут действовать на поршень в результате преждевременной вспышки.

Эти усилия могут быть причиной различных повреждений в двигателе, как, например, изгиба шатуна, оседание во вкладышах коренного вала, а иногда и появление трещин в коренном валу и пр., с одной стороны, под влиянием столь высоких давлений, а с другой — вследствие того, что преждевременная вспышка действует в сторону, противоположную движению шатуна — в момент хода сжатия.

от 140 до 400 мм. Оба взрыва форсунок произошли в понедельник утром при пуске двигателей, что сразу дает указание на следующую возможную причину взрывов в обоих случаях.

По показанию машинистов перевод рычага на нефть был произведен ими через 3—4 оборота двигателя на воздухе. Так как цилиндры двигателей были холодными после стоянки и, кроме того, была довольно значительная разработка цилиндров, то цилиндр, который первым был переключен на нефть, не получив достаточной компрессии вследствие малой скорости поршня, не имел в камере сгорания достаточно высокой



Фиг. 115.

температуры, необходимой для самовоспламенения нефти, которая осталась на поршне; при последующем ходе поршня вверх эта порция нефти взрывается во время хода сжатия, давление под поршнем вследствие этого увеличивается, а так как поршень продолжает ход сжатия, то к концу этого хода давление смеси, как мы видели выше, достигает весьма больших величин; в момент открытия форсуночной иглы давление внутри цилиндра оказывается значительно выше давления впрыскивающего воздуха, вследствие чего последний не может преодолеть давление в цилиндре, а наоборот, смесь, имеющаяся над поршнем при высоком давлении, а следовательно, и температуре, преодолевая давление форсуночного воздуха, воспламеняет нефть, находящуюся в форсунке, вследствие чего происходит взрыв, распространяющийся на трубопровод сжатого воздуха, а иногда доходящий и до форсуночного

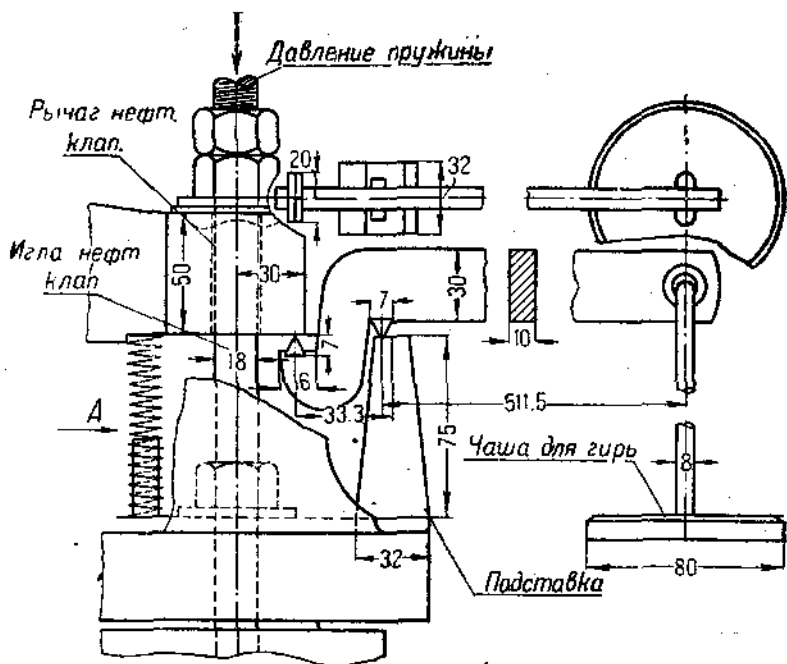
баллона. То же самое явление может произойти и до открытия форсуночной иглы вследствие приподнимания ее чрезмерно высоким давлением смеси над поршнем.

Взрыв нефти в одной форсунке может по воздушному трубопроводу распространиться на форсунки других цилиндров, производя в них такие же разрушения. **

Для предупреждения подобных взрывов форсунок, необходимо соблюдать следующие правила пуска двигателей: во-первых, не производить пуска при слишком холодном цилиндре, а сначала, обогреть его, отопив достаточно машинное помещение или наполнив охлаждающие рубашки горячей водой, если это возможно, и, во-вторых, не переводить рычаг на нефть раньше, чем через 6—8 оборотов двигателя на воздухе, чтобы дать ему обогреться. Обстоятельством, способствующим проникновению

сжатой до очень высокого давления смеси над поршнем в форсунке, вследствие чего получается взрыв форсунки, является очень часто наблюдающееся недостаточное давление на иглу пружины форсунки; преодоление давлением смеси над поршнем силы нажатия пружины на форсуночную иглу особенно опасно потому, что открытие или неплотность иглы вследствие этой причины может быть относительно довольно продолжительным, что является фактором, весьма способствующим взрыву в форсунке.

Ввиду этого необходимо время от времени производить проверку степени нажатия форсуночной пружины на иглу; проверка эта посред-



Фиг. 116.

ством поднятия иглы гаечным ключом весьма субъективна, а потому таковая должна производиться специальным рычагом, одна из конструкций которых изображена на фиг. 116.

Рычаг имеет две закаленные призмы, одна из которых, направленная острием вверх, упирается в конец форсуночного рычага, а другая, направленная острием вниз — в специальную подставку, устанавливаемую на фланце форсуночного корпуса; на противоположном конце рычага подвешена чаша для гирь; при указанных на чертежах размерах рычаг производит давление на форсуночный рычаг снизу вверх в 15 раз больше, чем вес гирь, положенных на чашу весов, причем давление на конец форсуночного рычага от собственного веса рычага и чаши весов опытным путем определено в 16,4 кг. Для определения степени натяжения пружины вес гирь на чаше весов увеличивается до тех пор, пока игла

начнет приподнимать, тогда к весу гирь, лежащих на чаше весов и увеличенному в 15 раз, надо прибавить 16,4 кг и полученная сумма определит натяжение форсуночной пружины.

Так как при очень большом давлении пружины на форсуночную иглу происходит слишком сильный износ корпуса форсунки и иглы, то давление это не следует доводить до чрезмерной величины. Если считать достаточным трехкратное давление пружины по отношению к определенному выше по расчетам Коеллы максимально возможному давлению сжатия при преждевременной вспышке в 137 ат, то при площади сечения корпуса иглы около 0,4 см² получим, что давление пружины на иглу будет равно:

$$P = 3 \cdot 137 \cdot 0,4 = 164,4 \text{ кг.}$$

Кроме вышеуказанных причин образования взрывов в форсунках дизелей необходимо обратить внимание еще на одну малоисследованную, но неоспоримую причину взрывов, это на чрезмерно большое отверстие сопла компрессорных дизелей, первая попытка осветить которую принадлежит инж. Б. Л. Сурвилло.¹

Отверстия сопловых плиток компрессорных дизелей довольно часто подвергаются чистке, причем существует правило, по которому прочистка этих отверстий должна производиться латунной проволокой диаметром, строго соответствующим диаметру отверстия сопла, с целью избежания увеличения такового против заданного заводом диаметра. Однако с течением времени, отчасти в результате указанных прочисток соплового отверстия, отчасти вследствие естественного износа такового струей топлива и воздуха, а частично и прогорания, отверстия эти увеличиваются, что влечет к взрыву форсунок, в особенности при пуске двигателя в ход.

Это явление, не имеющее еще достаточного теоретического обоснования, объясняется тем, что при некотором наибольшем «критическом» диаметре отверстия сопла начальное горение смеси может в период инжекции топлива проникнуть через сопловое отверстие в форсунку и произвести там воспламенение нефти, несмотря на то, что в форсунке существует некоторое избыточное давление впрыскивающего воздуха, вследствие того, что скорость горения смеси (газов) больше скорости инжекции.

Это объяснение находит подтверждение на практике и учитывается заводами при определении диаметров сопловых отверстий для данной мощности в цилиндре двигателя. Так как при пуске двигателя давление впрыскивающего воздуха имеет наименьшую величину, а именно от 38 до 45 ат, то в это время существует наименьшая разница давлений впрыскивающего воздуха и давления сгорания, вследствие чего скорость инжекции также будет наименьшей.

Диаметр соплового отверстия определяется расчетом в зависимости от мощности в цилиндре, числа оборотов двигателя, от давления сжатия и давления впрыскивающего воздуха и окончательно устанавливается при регулировании двигателя по индикаторной диаграмме по отсутствию стуков во время вспышки и цвету отходящих газов.

¹ Инж. Б. Л. Сурвилло, О диаметре отверстия сопла и влиянии этого диаметра на появление взрывов нефти в форсуночном пространстве у компрессорных дизелей, «Вестник инженеров», № 4 и 5, 1928.

Завод «Русский Дизель» в своих тихоходных компрессорных дизелях принимал диаметры сопловых отверстий, указанные в нижеследующей таблице вместе с некоторыми другими величинами, характеризующими двигатель:

Таблица 16.

Эффективная мощность в цилиндре л. с.	Диаметр ци- линдра мм	Ход поршня мм	Число оборотов	Продолжитель- ность открытия вкладышей в угловых градусах	Время инжекции в долях секунды	Диаметр соп- лового отвер- стия мм
10	185	290	260	33	0,021	1,6
16	225	360	225	38	0,028	2
20	240	380	215	40	0,031	2,25
25	260	410	205	38	0,039	2,75
35	300	460	190	40,5	0,036	3
40	320	490	180	41,5	0,038	3,25
60	375	560	170	42,5	0,042	4
75	410	610	165	45	0,045	4,5
100	450	640	165	48	0,049	4,75
125	490	720	160	46	0,048	5
150	585	760	155	47	0,051	5,25
200	600	800	150	44	0,04	5,35

Таблица 17.

Эффективная мощность в ци- линдре л. с.	Диаметр сопло- вого отверстия мм	Эффективная мощность в ци- линдре л. с.	Диаметр сопро- тивления отвер- стия мм
8—10—12	1	60	4,25
15	1,7	70—75	4,5
20	2	80	4,6
25—30	2,7	100	5
35	3,2	125	5,2
40	3,5	150	5,7
50	3,9	200	6

Как видим из приведенных таблиц, диаметры сопловых отверстий для одних и тех же мощностей в цилиндре несколько разнятся, однако, не очень сильно; заграничные заводы дают размеры этих диаметров так же более или менее близко подходящими к вышеуказанным.

Что касается определения критических диаметров, т. е. максимально допустимых, свыше которых возможно появление взрывов форсунок, то таковое может производиться несколькими способами, а именно путем экспериментальных исследований с двигателями различных мощностей, путем чисто лабораторных опытов над специально построен-

ными аппаратами и, наконец, путем длительного собирания материалов о размерах сопловых отверстий у двигателей, у которых имели место взрывы форсунок.

К сожалению, ни практическими исследованиями, ни лабораторными опытами в этом направлении до сих пор почти никто не занимался; инж. Б. Л. Сурвилло в вышеуказанной статье дает некоторые указания на критические размеры сопловых отверстий, определенные им на основании исследования причин многочисленных случаев взрывов форсунок, которые приведены в следующей таблице (см. табл. 18).

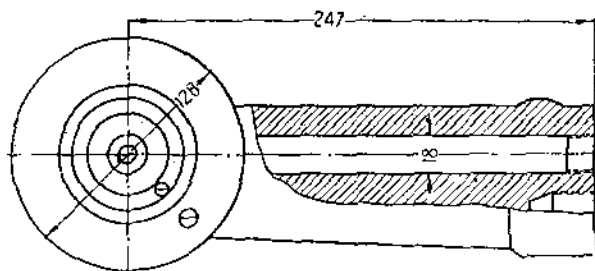
Таблица 18.

Эффективная мощность в цилиндре л. с	Критический диаметр соплового отверстия мм
35	3,8—4
50	4,7
80	5,5—5,8
100	5,8—6
125	6,5
150	6,8—7
200	8

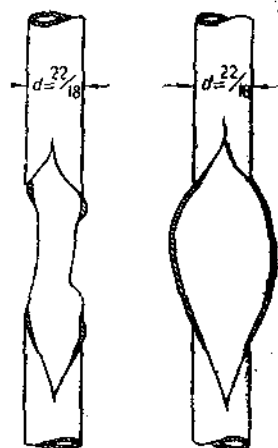
Хотя приведенная таблица не является совершенно точной, на что указывает и сам автор ее, однако, необходимо отметить, что таковая все же дает достаточную ориентировку в данном вопросе и дальнейшее накопление материалов по критическим диаметрам сопловых отверстий надо при-

знать делом весьма существенным для достижения безопасной работы компрессорных дизелей.

Но уже и сейчас можно рекомендовать, во-первых, не допускать работы дизелей при разработанных свыше указанных критических диаметров сопловых отверстий, а, во-вторых, при определении причин взрыва форсунок измерять этот диаметр как для сравнения его с вышеприведенными и вывода отсюда того или иного заключения, так и для корректирования и пополнения этой таблицы новыми данными.



Фиг. 117.



Фиг. 118.

Некоторые известные и описанные в литературе случаи взрыва форсунок происходили при вполне исправном состоянии двигателя и при отсутствии причин, могущих вызвать преждевременную вспышку. В подобных случаях необходимо обращать внимание на диаметр соплового отверстия, так как в его износе и может скрываться причина взрыва.

Как на один из подобных случаев можно указать на случай многократных взрывов форсунок у двигателей завода Бр. Зульцер мощностью по 250 л. с. постройки 1910 г., о котором было доложено на II Теплотехническом съезде в Москве.

При первом взрыве в одном из цилиндров двигателя № 1 был разорван весь форсуночный трубопровод; второй взрыв произошел в другом двигателе № 2, причем был разорван форсуночный воздушный трубопровод и распыливающие плитки форсунки третьего цилиндра; после этого в том же цилиндре двигателя № 2 было еще два случая взрывов форсунок во время пуска двигателя, последний раз с разрывом корпуса форсунки (фиг. 117) и воздушного трубопровода (фиг. 118).

Таким образом, взрывы происходили, главным образом, в третьем цилиндре двигателя № 2, и указывают на то, что причиной взрывов была одна и та же неисправность этого цилиндра, а так как во всех остальных отношениях двигатель был в исправности, то вполне возможно в данном случае предположить, что взрывы в этом цилиндре происходили вследствие износа или случайного повреждения отверстия сопла. К сожалению, в докладе не были проанализированы причины взрывов, а лишь была приведена конструкция предохранительной пластинки, которая была применена для предохранения форсунок и воздушных трубопроводов от разрушения, которая дала положительные результаты.

а) Мероприятия для предотвращения аварий двигателей. Предохранительные устройства.

В приведенных выше инструкциях по уходу за дизелями в гл. VI указаны те мероприятия, которые необходимо проводить в целях предупреждения аварий дизелей, причем в главе об авариях двигателей были даны обоснования тех или иных мероприятий, а потому таковые дальнейших пояснений не требуют. Здесь мы остановимся лишь на тех предохранительных устройствах, которые выработаны практикой эксплуатации двигателей и которые оправдали себя в той или другой мере. К сожалению, до сих пор многие заводы или совсем не снабжают выпускаемые ими дизели предохранительными клапанами, или снабжают таковые в недостаточном количестве, в то время как хотя предохранительные клапаны не всегда предохраняют от разрушения ту или иную часть двигателя, однако отсутствие таковых безусловно увеличивает количество аварий с двигателями.

Поэтому в случае отсутствия предохранительных клапанов на тех частях двигателя, на которых таковые должны быть, необходимо устанавливать таковые во время эксплуатации двигателей.

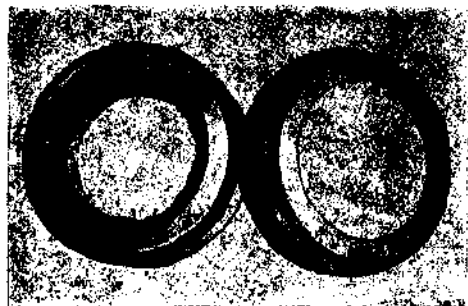
Надо признать за правило, что предохранительные клапаны должны быть на следующих частях двигателя:

1. На каждой цилиндровой крышке рабочих цилиндров.
2. На каждой цилиндровой крышке компрессора.
3. На вентильных головках воздушного и пускового баллонов.
4. На каждом воздушном трубопроводе от форсуночного баллона около каждой форсунки.
5. На каждом холодильнике для воздуха.

На цилиндровых крышках рабочих цилиндров и цилиндров компрессора ставятся пружинные предохранительные клапаны, хотя они и обладают следующими недостатками: всякий пружинный клапан имеет

пластинка устанавливается на стальном корпусе клапана 1 на медной отожженной прокладке 4 толщиной в 1 мм и укрепляется на нем при помощи гайки с колпаком 2, имеющим восемь отверстий для выхода газов при взрыве. Предохранительная пластинка вытаскивается из чугуновой заготовки, толщина цилиндрической стенки ее подбирается таким образом, чтобы она разрывалась при 80—90 ат, что производится посредством гидравлического испытания, и когда необходимая толщина подобрана, то остальные пластинки с такой толщиной цилиндрической стенки вытаскиваются из той же чугуновой болванки, благодаря чему обеспечивается однородность прочности всех изготавливаемых пластинок.

Эта конструкция имеет некоторые преимущества перед предыдущей, заключающиеся в том, что она может быть подвергнута более простому предварительному расчету, чем круглое доньшко первой конструкции, и, кроме того, при разрыве ее цилиндрической стенки не могут образоваться осколки чугуна, что может иметь место в первой конструкции, которые могут остаться внутри клапана, а затем попасть под действием воздуха в воздушный канал форсунки и распылитель.



Фиг. 121.

Практика показала, что указанные конструкции являются единственно целесообразными для применения в качестве предохранителей от разрыва воздухопроводов при взрывах. На фиг. 121 представлена фотография предохранительной пластинки (первой конструкции) до разрыва и после такового, из которой видно, что пластинка разрывается довольно правильно по окружности.

На водных рубашках воздушных холодильников большинство заводов ставит пружинные предохранители или же вся верхняя крышка корпуса холодильника имеет под гайками болтов, которыми она притягивается к цилиндрической части, пружины, и, таким образом, вся крышка как бы служит клапаном. Однако как та, так и другая конструкция не оправдали себя; можно привести чрезвычайно много примеров, когда эти предохранительные клапаны или совсем не действовали или же их действие оказывалось недостаточным для того, чтобы предохранить корпус холодильника от разрушения. Последнее обстоятельство объясняется следующим. Предохранительный клапан на корпусе холодильника имеет целью смягчить те гидравлические удары, которые испытывают стенки корпуса при разрыве воздушного змеевика вследствие естественного износа стенок такового, или же вследствие взрыва скопившегося в нем масла (последнее очень редко); при разрыве воздушного змеевика в корпусе холодильника получается воздухогидравлический удар, и так как вода не сжимаема, то этот удар мгновенно передается с одинаковой силой всем стенкам корпуса, а так как всякий пружинный клапан обладает некоторой инерцией, вследствие чего для его открытия требуется некоторый промежуток времени, то он не успевает открыться и, выпустив часть воды, снизить давление в корпусе

рубашки холодильника, который вследствие этого и разрывается. Что касается тех случаев, когда вместо клапана под гайками крышки корпуса имеются пружины и вся крышка представляет собою предохранительный клапан, то недостатком такой конструкции является то обстоятельство, что при недостаточно надежном и квалифицированном надзоре за двигателем гайки оказываются настолько завинченными и вследствие этого пружины настолько натянутыми, что крышка не приподнимается во все и происходит разрыв стенок корпуса.

Поэтому единственно целесообразной является установка на корпусах охлаждающих рубашек холодильников пластинчатых резиновых предохранителей, которые представляют собою вырезанный из пластинчатой резины толщиной в 10 — 12 мм круг, диаметром 80 — 100 мм, который укрепляется на корпусе холодильника при помощи фланца, шпилек и гаек, закрывая собою соответствующее отверстие в корпусе; во время воздухо-гидравлического удара резина легко разрывается и дает выход воде. Смена такого резинового клапана очень проста и непродолжительна; клапан может быть изготовлен собственными средствами.

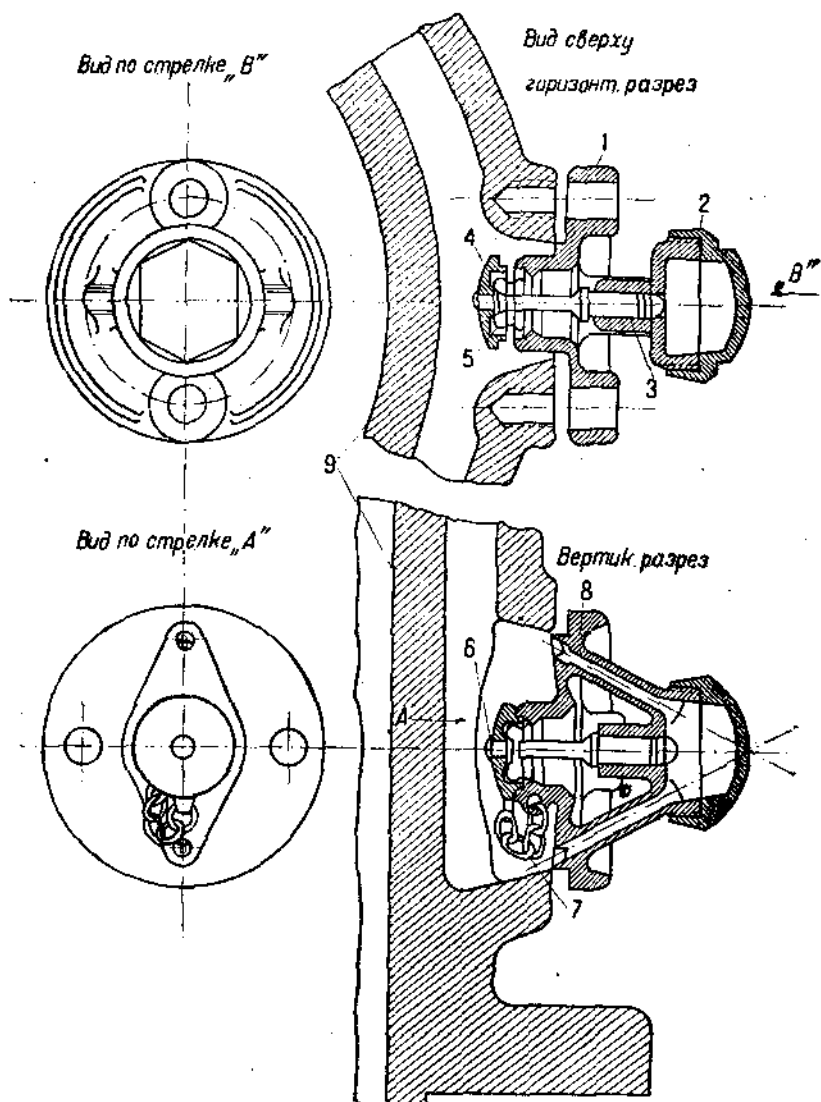
Укажем еще на одну довольно интересную конструкцию предохранителя от замораживания воды в рубашках двигателей. Хотя правилами по уходу за двигателями в категорической форме предписывается выпускать воду из охлаждающих рубашек, в случае, если не представляется возможным поддерживать температуру машинного помещения не ниже 4°C и если двигатель останавливается больше чем на 4 часа, однако, это правило не всегда выполняется или по небрежности или в расчете на то, что температура машинного помещения не успеет снизиться до опасных пределов за время остановки двигателя. Возможность такого упущения надо отнести, главным образом, к установкам небольших двигателей низкого сжатия, так называемых «нефтянок», так как они обычно обслуживаются персоналом более низкой квалификации и случаи замораживания их водяных рубашек довольно часты; на более или менее значительных по мощности дизельных установках приходится наблюдать подобные явления значительно реже.

Явление замораживания двигателя заключается в том, что вследствие расширения воды при ее замерзании возникают весьма значительные усилия на внутренние стенки водяной рубашки, в результате чего на них появляются трещины.

На фиг. 122 представлена конструкция предохранителя от замораживания воды в рубашках двигателей рабочего НАМИ т. М. Евдюкова; предохранитель состоит из пустотелой коробки 2, от которой идут два узких канала 8, соединяющихся с водяным пространством охлаждающей рубашки; с одной стороны коробки 2 имеется небольшой цилиндр, в котором имеется поршень 3, шток которого прижимается крышкой 4, одновременно закрывающей отверстие прибора, входящее в водяное пространство. Коробка 2 снабжена снаружи ребрами для усиления охлаждения наружным воздухом. Клапан привертывается двумя болтами к цилиндрической рубашке, закрывая соответственно вырезанное отверстие. Приготовленный к действию клапан находится в положении А; при понижении температуры наружного воздуха ниже 0° прежде всего замерзает вода, находящаяся в каналах 8, которые имеют внутренние продольные металлические вставки для уменьшения сечения водяного пространства

в них; вследствие этого сообщение коробки 2 с водяным объемом охлаждающей рубашки прекращается.

Затем начинает замерзать вода в коробке 2, значительно раньше чем может замерзнуть вода в охлаждающей рубашке двигателя, так как вслед-



Фиг. 122.

ствие малых размеров коробки 2 и наличия ребер охлаждение ее будет совершаться более интенсивно, чем охлаждение воды в водяной рубашке. Вследствие расширения воды при замерзании в коробке 2 и невозможности выхода ее в замерзшие каналы 8, в коробке 2 образуется значительное давление, которое, действуя на поршень 3, продвинет его в сторону двига-

теля, выжмет крышку 4, которая откроет отверстие, закрываемое этой крышкой, и вода из водяной рубашки двигателя выльется через него наружу, предохранив рубашку двигателя от разрушения.

Хотя в нашем распоряжении еще нет данных о работе предохранителей Евдюкова в промышленных установках, однако, имеющиеся результаты испытаний, оказавшиеся весьма удачными, говорят о том, что предложенная конструкция действительно может предохранить двигатель от повреждений охлаждающих рубашек вследствие замерзания воды в зимнее время, а потому установка таких предохранителей должна быть определенно рекомендована.

Испытания предохранителей Евдюкова показали, что таковые начинают действовать от $+ 2^{\circ}\text{C}$ и ниже.

л) Неисправности двигателей, обнаруживаемые индикаторными диаграммами.

Индикаторная диаграмма как графическое изображение протекания процесса, совершающегося в цилиндре двигателя, во всех его тактах, дает возможность кроме определения мощности цилиндра судить о правильности процесса, а следовательно, об исправности распределения и регулировки двигателя. Зная, каковой должна быть нормальная правильная индикаторная диаграмма и имея диаграмму, снятую с двигателя при данных условиях его работы и данном состоянии его распределения, можно судить об имеющихся неисправностях такового, и, следовательно, диаграмма дает возможность устранить эти неисправности.

Приводим как правильные индикаторные диаграммы, так и неправильные, вследствие неисправности индикатора и двигателя для двигателей быстрого и постепенного сгорания (дизелей).

1. Двигатели быстрого сгорания.

(Калоризаторные нефтяные и газовые.)

А. Правильные диаграммы.

1. Фиг. 123 изображает диаграмму сжатия и расширения газов четырехтактного двигателя, по которой определяется давление сжатия; диаграмма снимается в момент искусственного пропуска вспышки или же немедленно после выключения горючего перед остановкой двигателя.

2. На фиг. 124 — диаграмма пуска в ход сжатым воздухом.

3. Фиг. 125 — диаграмма холостого хода четырехтактного газового двигателя при качественном регулировании.

4. Фиг. 126 — диаграмма полной нагрузки четырехтактного калоризаторного (нефтяного) двигателя.

5. Фиг. 127 — диаграмма полной нагрузки двухтактного калоризаторного (нефтяного) двигателя.

6. Фиг. 128 — диаграмма полной нагрузки четырехтактного газовоса-сывающего двигателя с количественным регулированием.

7. Фиг. 129 — диаграмма хода всасывания и выхлопа четырехтактного двигателя, снятая слабой пружиной.

8. Фиг. 130 — диаграмма продувочного насоса двухтактного двигателя.

9. Фиг. 131 — диаграмма кривошипной камеры двухтактного калоризаторного (нефтяного) двигателя.



Фиг. 123.



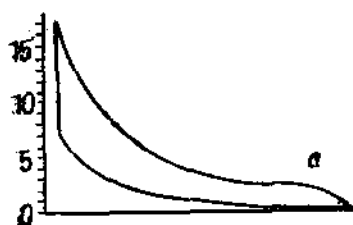
Фиг. 124.



Фиг. 125.



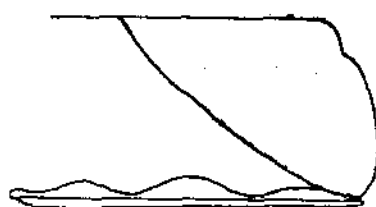
Фиг. 126.



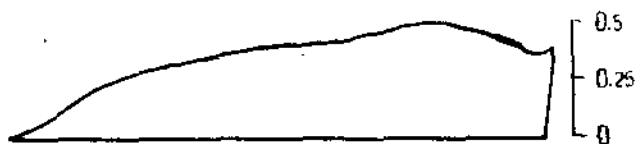
Фиг. 127.



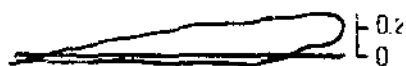
Фиг. 128.



Фиг. 129.

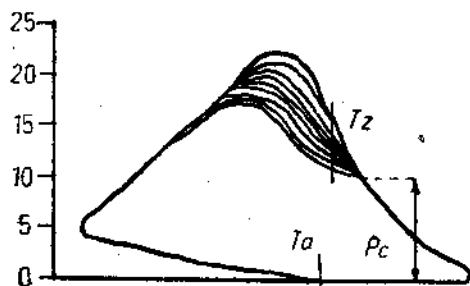


Фиг. 130.

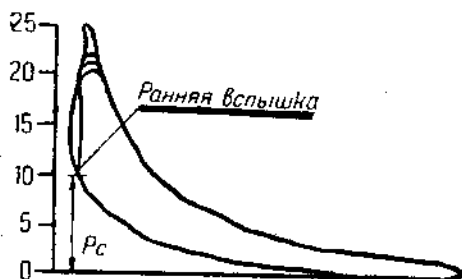


Фиг. 131.

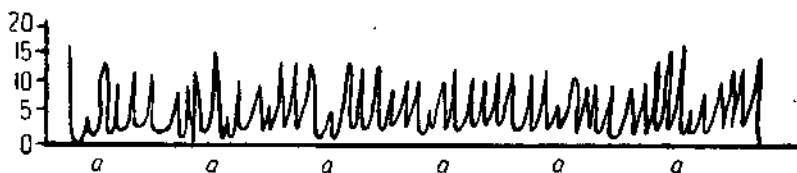
10. Фиг. 132 — смещенная диаграмма, снимаемая обыкновенным индикатором, барабан которого приводится в движение от индикаторного привода другого цилиндра, кривошип которого смещен по отношению к кривошипу индицируемого на 90° или же самый индикаторный привод устанавливается под углом в 90° к кривошипу данного цилиндра. Эта диаграмма дает более ясную картину изменения кривых в мертвых точках, так как мертвые точки получаются в середине диаграммы; на фиг. 133 изображена нормальная диаграмма с того же цилиндра; из сравнения этих двух диаграмм видно, что по смещенной диаграмме легко судить об изме-



Фиг. 132.



Фиг. 133.



Фиг. 134.

нении давления во время вспышек и определить, ранняя или поздняя вспышка имеет место; на диаграмме фиг. 132 — T_a и T_z — мертвые точки, определяемые опытом.

11. Фиг. 134 — диаграмма вспышек, снимаемая индикатором, разьединенным от индикаторного привода; барабан индикатора вращается от руки; по диаграмме легко определить пропуски вспышек.

Б. Неправильные диаграммы.

а) Вследствие неисправностей индикатора.

1. Фиг. 135 — волнообразная линия расширения вследствие слишком слабой пружины или больших движущихся масс для данного числа оборотов; надо поставить более сильную пружину или меньшего диаметра поршень.

2. Фиг. 136 — крупно-волнообразная линия расширения, вследствие большого трения в движущихся частях индикатора, который необходимо разобрать, очистить и смазать.

3. Фиг. 137 — неправильность в точках a и b диаграммы вследствие недостаточной смазки поршня индикатора; последний надо хорошо смазать.

4. Фиг. 138 — срез верхушки диаграммы вследствие упора индикаторного поршня при слишком слабой пружине; надо поставить более сильную пружину.

5. Фиг. 139 — срез конца диаграммы в начале выхлопа, вследствие слишком большой длины шнура.

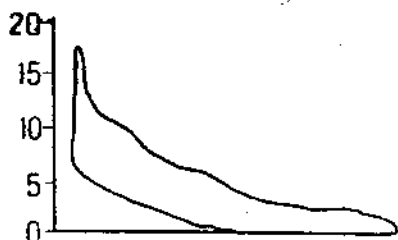
6. Вследствие неправильностей в двигателе.

1. Фиг. 140, 141, 142 — диаграммы слишком ранних вспышек.

2. Фиг. 143 и 144 — диаграммы слишком поздних вспышек.

3. Фиг. 145 — слишком раннее открытие выхлопного клапана.

4. Фиг. 146 — слишком позднее открытие выхлопного клапана



Фиг. 135.



Фиг. 136.



Фиг. 137.



Фиг. 138.



Фиг. 139.



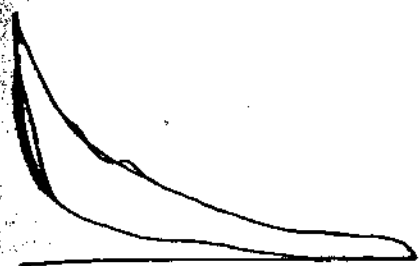
Фиг. 140.

5. Фиг. 147 — догорание смеси вследствие слишком богатой или слишком бедной смеси: неправильное сгорание характеризуется дымным выхлопом.

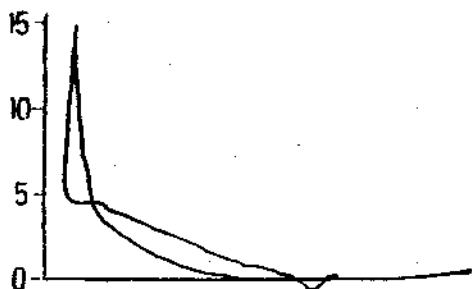
6. Фиг. 148 — пропуск вспышки; в цилиндре получается сжатие и расширение смеси, а потому диаграмма по виду приближается к диаграмме сжатия и расширения; пропуск вспышки в двигателе низкого сжатия может произойти вследствие слишком бедной смеси, не способной воспламениться, слишком богатой смеси, для горения которой недостаточно воздуха в цилиндре, вследствие неисправности запального приспособления.

7. Фиг. 149 — диаграмма преждевременной вспышки во время хода всасывания.

8. Фиг. 150 — диаграмма преждевременной вспышки во время хода сжатия.



Фиг. 141.



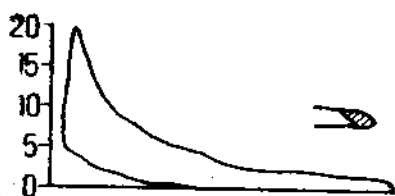
Фиг. 142.



Фиг. 143.



Фиг. 144.



Фиг. 145.



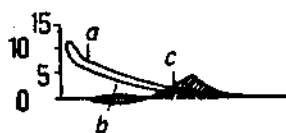
Фиг. 146.



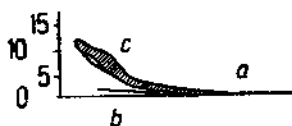
Фиг. 147.



Фиг. 148.



Фиг. 149.



Фиг. 150.

II. Двигатели Дизеля.

А. Правильные диаграммы.

1. Фиг. 151 — диаграмма пуска в ход дизеля сжатым воздухом.
2. Фиг. 152 — диаграмма сжатия и расширения, снимаемая во время искусственного пропуска вспышки.
3. Фиг. 153 — диаграмма холостого хода четырехтактного дизеля; давление впрыскивающего воздуха 38 — 40 ат.
4. Фиг. 154 — диаграмма дизеля при половинной ($1/2$) нагрузке; давление воздуха 44 — 46 ат.
5. Фиг. 155 — диаграмма дизеля при полной ($1/1$) нагрузке; линия сгорания нормальна, давление воздуха 52 — 56 ат.
6. Фиг. 156 — диаграмма дизеля при перегрузке.
7. Фиг. 157 — диаграмма продувочного насоса двойного действия двухтактного дизеля.
8. Фиг. 158 — диаграмма двухтактного двигателя, снятая слабой пружиной.
9. Фиг. 159 — диаграмма бескомпрессорного дизеля при полной нагрузке.

Б. Неправильные диаграммы вследствие неисправности двигателя.

1. Фиг. 160 — преждевременная вспышка вследствие слишком ранней подачи нефти в цилиндр; причина — слишком малый зазор между роликом рычага и кулачной шайбой форсунки или неправильное положение ее, вследствие чего происходит слишком ранний подъем иглы; горение начинается во время хода сжатия, продукты горения сжимаются до давления выше нормального при горении (до 40 ат).

2. Фиг. 161, 162 — запоздалая вспышка вследствие слишком поздней подачи нефти в цилиндр; причина — слишком большой зазор между роликом и кулачной шайбой или неправильное положение шайбы или так называемого сухаря на ней, вследствие чего происходит слишком поздний подъем иглы; расширение начинает идти по линии сжатия, а затем при подаче топлива повышается более или менее значительно в зависимости от давления пульверизирующего воздуха; выхлопные газы начинают дымить.

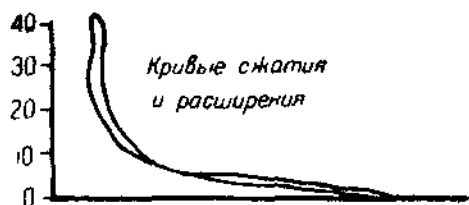
3. Фиг. 163, 164, 165 — слишком низкое давление впрыскивающего воздуха; линия сгорания сливается с линией сжатия, линия расширения (фиг. 164) имеет перелом вследствие последующего догорания заряда топлива.

Диаграмма фиг. 165 получается при слишком низком давлении воздуха, когда топливо, не будучи распылено, попадает на поршень и при следующем ходе поршня вверх взрывается во время хода сжатия, создавая таким образом очень опасную преждевременную вспышку; необходимо немедленно увеличить давление воздуха, если же это не удастся, то остановить двигатель.

4. Фиг. 166, 167 — диаграммы при слишком высоком давлении впрыскивающего воздуха; энергичное горение, сопровождающееся взрывами и шумом в цилиндре, давление сгорания доходит до 40 ат, выхлопные газы бесцветны.

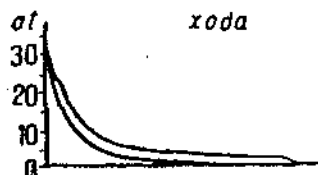


Фиг. 151.

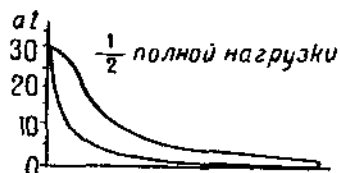


Фиг. 152.

Диаграмма холостого
хода



Фиг. 153.



Фиг. 154.

Полная нагрузка

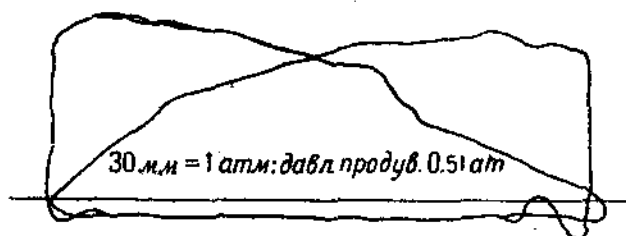


Фиг. 155.

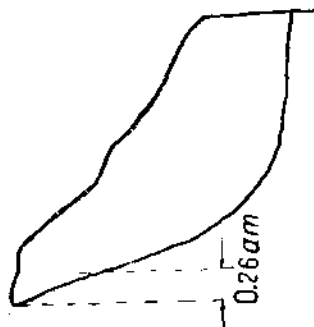
Большая перегрузка



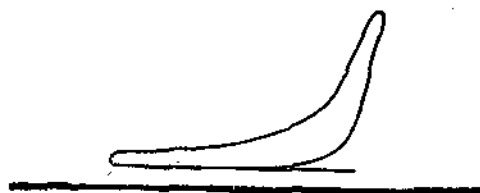
Фиг. 156.



Фиг. 157.

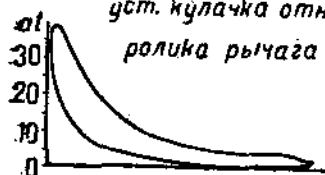


Фиг. 158.



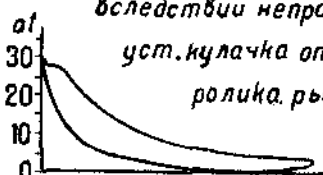
Фиг. 159.

*Раннее воспламенение
вследствии неправильн.
уст. кулачка относит.
ролика рычага*



Фиг. 160.

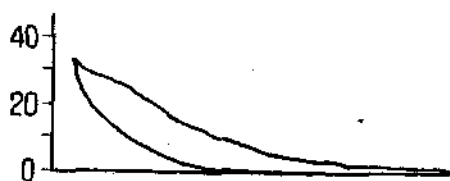
*Позднее воспламенение
вследствии неправильн.
уст. кулачка относит.
ролика рычага*



Фиг. 161.



Фиг. 162.



Фиг. 163.



Фиг. 164.

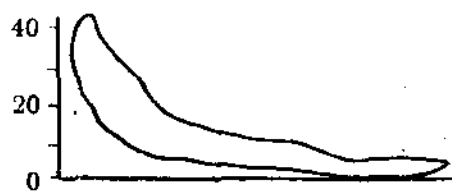
*Слишком низкое давл.
впуска*



Фиг. 165.

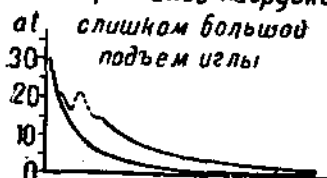


Фиг. 166.



Фиг. 167.

*При малой нагрузке
слишком большой
подъем иглы*



Фиг. 168.



Фиг. 169.

5. Фиг. 168 — при малой нагрузке очень большой подъем иглы; происходит запоздалая вспышка, топливо сгорает неравномерно во время расширения вследствие того, что в цилиндр поступает большое количество холодного воздуха и недостаточно тепла для воспламенения топлива.

6. Фиг. 169 — слишком большое давление всасывающего воздуха при запоздалой пульверизации и высоким подъеме иглы.

7. Фиг. 170 — линия сгорания имеет зигзагообразный вид вследствие неплотности выпускного клапана, отчего и давление сжатия ниже нормального; вследствие неправильного сгорания выхлопные газы окрашены.

8. Фиг. 171 — линия сжатия неправильна вследствие неплотности впускного клапана; давление сжатия ниже нормального и вследствие плохого сгорания нефти двигатель дымит.

9. Фиг. 172 — засорение или недостаточное сечение всасывающей трубы, вследствие чего получается излишнее разрежение при всасывании, линия всасывания значительно ниже атмосферной линии, а давление сжатия ниже нормального; двигатель дымит.

10. Фиг. 173 — засорение или недостаточное сечение выхлопного трубопровода, в котором образуется противодавление, вследствие которого выхлопной клапан не может быстро закрыться, а потому часть исходящих газов при ходе всасывания попадает обратно в цилиндр и для полного сгорания нефти не хватает воздуха; сильное падение кривой сгорания, двигатель дымит.

11. Фиг. 174 — загрязнение форсунки (сопла или распыливающей пластинки), плохое распыление топлива; линия сгорания сливается с линией расширения, образуя заострение (пики) на верхнем конце диаграммы, линия расширения падает очень быстро, вследствие чего уменьшается площадь диаграммы; выхлопные газы окрашены. Такого же вида диаграммы получаются при торможении нефти, вследствие износа вту-



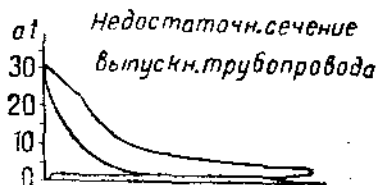
Фиг. 170.



Фиг. 171.



Фиг. 172.



Фиг. 173.



Фиг. 174.

тренного рабочего конуса форсунки или недостаточного сечения щели в щелевых форсунках.

Нормальные индикаторные диаграммы дизелей снимаются пружинами с масштабом $1 \text{ кг/см}^2 = 1 \text{ мм}$; при исследовании тактов всасывания и выхлопа применяются слабые пружины с масштабом $1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ мм}$.

м) Регулировка двигателей.

Для правильной, надежной, бесперебойной и экономичной работы всякого двигателя необходимо, чтобы было правильно установлено его распределение, т. е. чтобы все клапаны открывались и закрывались своевременно в те моменты, в которые это необходимо по конструкции двигателя и по расчетам завода, строившего двигатель. На практике об относительной правильности распределения судят по виду индикаторных диаграмм, которые являются наилучшим графическим отображением процесса, совершающегося в цилиндре двигателя, более же точная проверка распределения или так называемая регулировка его может быть произведена посредством соответствующих измерений углов опережений и запаздываний открытия и закрытия клапанов способами, указанными ниже.

Регулировку двигателя необходимо производить после каждой разборки и сборки его после ремонта (и, конечно, непосредственно после установки нового двигателя), а также время от времени во время работы двигателя, если на неправильность распределения дают указания индикаторные диаграммы, так как даже при самой нормальной работе двигателя и хорошем уходе за ним правильно установленное распределение рано или поздно расстраивается, вследствие износа механизма распределения.

Для правильной работы дизеля необходимо, чтобы его распределение удовлетворяло следующим условиям:

1. Всасывающий клапан должен:

а) открываться до верхней мертвой точки с предварением $10 - 30^\circ$ или от 1 до 8% хода поршня и

б) закрываться в нижней мертвой точке или же до 30° (4% хода поршня) позднее.

2. Форсунка должна:

а) открываться с предварением в $5 - 11^\circ$ (или до 1% хода поршня) до верхней мертвой точки и

б) закрываться после $35 - 50^\circ$ (или 10 — 20% хода поршня) после верхней мертвой точки.

3. Выпускной клапан должен:

а) открываться за $25 - 55^\circ$ (или 3 — 25% хода поршня) до нижней мертвой точки и

б) закрываться в верхней мертвой точке или же немного позднее (20° или 4% хода).

4. Пусковой клапан должен:

а) открываться за $0 - 25^\circ$ (до 5% хода поршня) до верхней мертвой точки и

б) закрываться в зависимости от давления пускового воздуха спустя $35 - 40\%$ хода поршня после верхней мертвой точки.

Приведенные величины предварений и запаздываний открытия и закрытия клапанов являются предельными в ту и другую сторону, выбор же таковых для данного двигателя зависит от различных соображений и, главным образом, от числа оборотов двигателя.

Так как всасывающий клапан должен засосать возможно больше по весу воздуха, то предварение его выбирают таким, чтобы в верхней мертвой точке он был уже немного открыт, чтобы избежать дросселирования воздуха. Поэтому при больших скоростях поршня и меньших сечениях клапана предварение должно быть больше. Закрывается всасывающий клапан должен несколько позже нижней мертвой точки с целью использования инерции всасываемой струи воздуха, однако, до определенных пределов, чтобы не получилось обратного выталкивания воздуха во всасывающую трубу; поэтому в быстроходном двигателе закрытие всасывающего клапана должно происходить позже, чем в тихоходном.

Предварение открытия выпускного клапана также выбирается большее для быстроходных двигателей, чем для тихоходных; закрытия выпускного клапана должно происходить тем позже после верхней мертвой точки, чем больше скорость поршня, но с таким расчетом, чтобы отходящие газы не попали во всасывающую трубу, так как всасывающий клапан открывается немного раньше закрытия выпускного.

Что касается форсунки, то, с одной стороны, слишком раннее вспрыскивание влечет за собой значительное повышение давления, слишком же позднее — вызывает неполное горение, так как таковое происходит не в атмосфере наивысшей температуры, развивающейся в цилиндре двигателя; кроме того, для правильного протекания процесса горения весьма серьезное значение имеет промежуток времени, в течение которого форсунка открыта, который должен быть достаточным для того, чтобы подать необходимое количество топлива для наибольшей нагрузки, и не должно быть слишком большим, чтобы в цилиндр не попало слишком много вспрыскиваемого воздуха. Следовательно, момент закрытия форсуночной иглы кроме числа оборотов двигателя зависит также от конструкции форсунки и размера сопловой пластинки и для каждой конструкции форсунки определяется опытным путем.

Из вышеизложенного видно, что углы опережений и запаздываний открытия и закрытия всех клапанов устанавливаются заводом, построившим двигатель на основании расчета и опытных данных для каждой конструкции и марки двигателя. Заданное заводом распределение должно сохраняться во все время работы двигателя, должно, как было уже указано, время от времени проверяться и устанавливаться по данным завода после ремонта и разборки двигателя.

Таблица 19.

Фазы распределения тихоходных дизелей (средние значения).

Клапаны	Предварение открытия			Запаздывание закрытия		
	В % хода поршня	В градусах кривошипа	Относительно мертвой точки	В % хода поршня	В градусах кривошипа	Относительно мертв. точки
Всасывающий . . .	4	25°	До верхней	6	27°	После нижней
Выпускной	8	37° 30'	„ нижней	2	14° 30'	„ „ верхней
Топливный (форсунка)	0,5	7° 15'	„ верхней	18	45° 30'	„ „

Таблица 20.

Фазы распределения быстроходных дизелей.

Клапаны	Предварение открытия		Запаздывание закрытия	
	В градусах кривошипа	Относительно мертвой точки	В градусах кривошипа	Относительно мертвой точки
Всасывающий	20—30°	До верхней	25—30°	После нижней
Выхлопной	20—40°	" нижней	15—25°	" верхней
Топливный (форсунка)	7—9°	" верхней	40—50°	" "
Пусковой	5—0°	" "	130—150°	" "

Таблица 21.

Фазы распределения тихоходного дизеля.

Клапан	Предварение открытия			Запаздывание закрытия		
	В градусах кривошипа	В % хода поршня	Дуга при радиусе, равная 1	В градусах кривошипа	В % хода поршня	Дуга при радиусе, равная 1
Всасывающий	21° 10'	4	0,370	26°	4	0,454
Выхлопной	45° 15'	12	0,790	18°	3	0,314
Топливный (форсунка)	5°	0,25	0,087	34—42°	10—15	0,593—0,733
Пусковой	0	0	0	68°	38	1,187

Таблица 22.

Фазы распределения быстроходного дизеля.

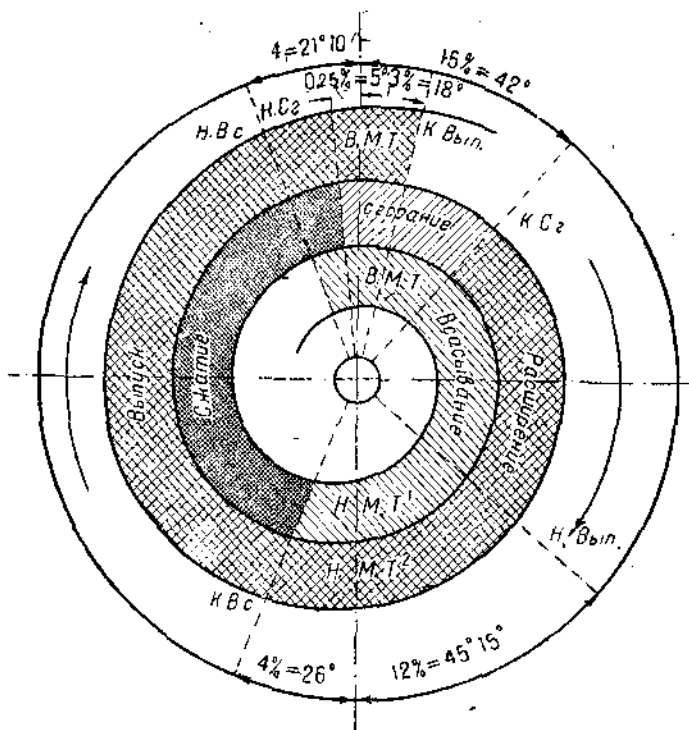
Клапан	Открытие открытия			Запаздывание открытия		
	В градусах кривошипа	В % хода поршня	Дуга при радиусе, равном 1	В градусах кривошипа	В % хода поршня	Дуга при радиусе, равном 1
Всасывающий	23,5°	5	0,410	29°	5	0,506
Выхлопной	50,5°	15	0,882	23,5°	5	0,410
Топливной (форсунка)	10°	1	0,175	31—34°	8—10	0,541—0,593
Пусковой	0	0	0	72,5°	40	1,266

Выше приведены низшие и высшие пределы предварений и запаздываний открытия и закрытия клапанов; теперь же мы приведем средние величины этих значений для тихоходных и быстроходных дизелей в процен-

тах хода поршня и в градусах перемещения кривошипа и способ проверки фаз распределительного механизма по этим данным, каковая проверка, должна в действительности производиться по аналогичным заводским данным для каждого двигателя.

На фиг. 175 изображена диаграмма распределения применительно к табл. 21.

Приведенными таблицами при установке распределения пользуются следующим образом. Если, например, требуется установить по табл. 21 опережение открытия всасывающего клапана, то сначала по длине окруж-



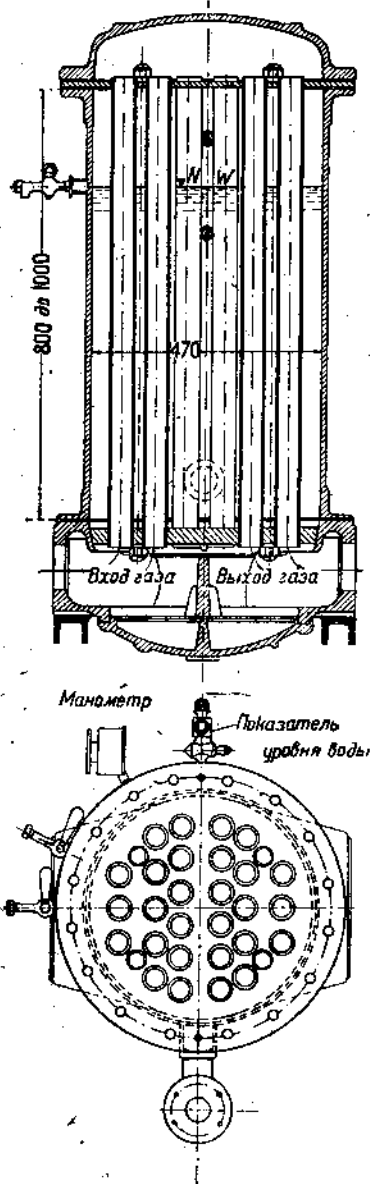
Фиг. 175.

ности маховика определяют его радиус, каковой предположим равным 1 200 мм. Так как в таблице дана дуга, равная $0,370 \text{ м} = 370 \text{ мм}$, соответствующая углу в $21^\circ 10'$ при радиусе в 1 м, то при радиусе маховика 1,2 м дуга его окружности будет $= 370 \times 1,2 = 444 \text{ мм}$.

Вместо определения дуги маховика, на которую последний не должен войти до верхней мертвой точки, когда должно начаться открытие всасывающего клапана, можно определить на основании данных таблицы ту часть хода поршня, на которую поршень не должен войти до верхней мертвой точки к моменту начала открытия всасывающего клапана. Эту часть хода поршня можно найти следующим образом.

В табл. 22 указано, что при дуге в 370 мм опережение открытия равно 4%; если ход поршня 600 мм, то, следовательно, искомая часть хода поршня будет равна $0,04 \cdot 600 = 24 \text{ мм}$.

На основании указанных заводом данных распределения, проверка правильности установки такового производится практически по ободу маховика, на котором наносятся риски, соответствующие углу поворота кривошипа при данном положении того или иного клапана относительно какой-либо неподвижной точки и, поворачивая маховик, при совпадении этих рисок с неподвижной точкой, проверяют положение того или иного клапана.



Фиг. 176.

Глава VIII.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДЯЩЕГО ТЕПЛА.

В двигателях внутреннего сгорания повышение общего экономического к. п. д. установки может быть достигнуто путем использования тепла, находящегося в исходящей охлаждающей воде и в выхлопных газах. Как было указано выше, в газовом двигателе с охлаждающей водой уходит в среднем около 25% всего тепла, содержащегося в топливе (700 кал/л. с. ч.) и до 40% тепла—с выхлопными газами ($1100 \text{ кал/л. с. ч.}$); в дизеле—соответственно 25% (500 кал/л. с. ч.) и около 32% (650 кал/л. с. ч.), т. е. в среднем 60—65% всего теплового запаса топлива.

В то время как тепло, содержащееся в исходящей охлаждающей воде, может быть легко и почти полностью использовано, если требуется значительное количество горячей воды температурой $45—55^\circ$, тепло, находящееся в выхлопных газах, приходится по возможности недалеко от двигателя передавать другому телу, обычно охлаждающей воде, так как непосредственное использование тепла из выхлопных газов затруднительно вследствие их высокой температуры (от 400 до 700°Ц в газовых двигателях и от 300 до 500°Ц у дизелей), большой скорости, низкой теплоемкости и плохой теплопередачи; такая передача тепла другому телу, от которого оно уже используется для тех или иных нужд, влечет за собою потерю от 40 до 60% тепла, содержащегося в выхлопных газах, а потому в дизелях может быть использовано около $350—400 \text{ кал/л. с.}$, а в крупных газовых двигателях—около

500 кал; от охлаждающей воды можно получить около 500 кал/л. с. в случае использования таковой непосредственно в качестве тепловой воды для производственных целей или хозяйственных нужд (баня душ, прачечные, отопление и пр.).

В случае необходимости иметь горячую воду температурой выше, чем температура исходящей охлаждающей воды, таковая пропускается через специальные подогреватели, обогреваемые выхлопными газами.

Теплота выхлопных газов может быть также использована для нагревания паровых котлов, питаемых горячей охлаждающей водой, которые выполняются в виде котлов с дымогарными трубками, или водотрубных котлов. Кроме того, теплота исходящих газов может быть использована для подогрева воздуха, например, в сушильных установках.

Хотя в конструкциях аппаратов для использования тепла отходящих газов стараются достигать наименьших сопротивлений, однако, таковые аппараты все же увеличивают противодавление выхлопа до 0,18 — 0,20 ат.

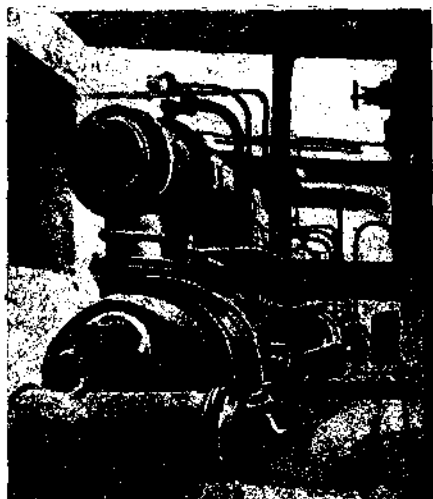
В известных конструкциях величина поверхности нагрева определяется в 0,10—0,20 м²/л. с., причем коэффициент теплопередачи при подогреве воды и при скорости газов $v = 20$ м/сек, равен $k = 46$ к кал/м² час.

На фиг. 176 изображен аппарат для утилизации тепла отходящих газов конструкции завода О. Дейтц, состоящий из цилиндра с двумя днищами, закрывающимися крышками, внутри которого находится пучок труб; по трубам проходят отходящие газы, а вода — в пространстве между цилиндром и трубами.

При испытании газового двигателя мощностью 500 л. с., снабженного этим аппаратом, получились следующие результаты по данным Г. Дубеля:

	Нагрузка $\frac{1}{2}$	Нагрузка $\frac{1}{4}$
Температура газа перед аппаратом . . .	505° Ц	420° Ц
" после аппарата . . .	256,5	222° Ц
" питательной воды . . .	36,8	30,1° Ц
Количество полученного пара . . .	302 кг/час	138 кг/час
Давление пара (рабочее) . . .	2,9 ат	1,55 ат
Количество пара в кг/дл. с. ч. . . .	0,615	0,535

Температура отходящих газов по выходе из подогревателя должна быть по возможности выше температуры конденсирования водяного пара, т. е. не ниже 100° Ц. В вышеуказанном испытании таковая не доводилась ниже 222 и 256° Ц, так как большие количества пара не могут быть использованы.



Фиг. 177.

Г. Дуббель дает еще следующие эксплуатационные данные:

Таблица 23.
Большие газовые двигатели. MAN

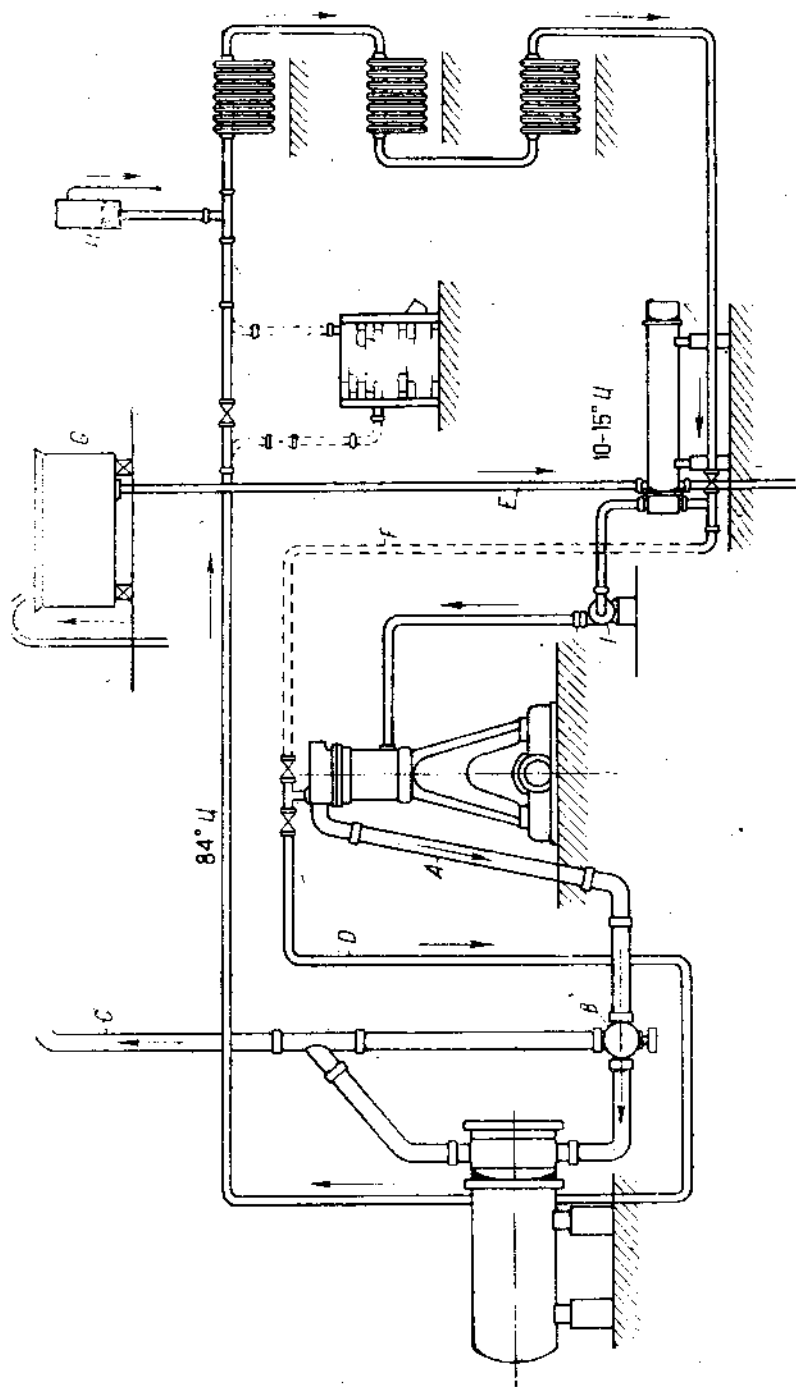
Мощность двигателя д. л. с.	Нагрузка		Давление пара в ат	Температура пара °Ц	Полученное количество пара в кг/д. л. с. ч.
	л. с.	%			
1 050	1 050	100	13,8	320	0,9
3 000	2 760	92	—	—	1,13
7 200	5 550	77	15	390	1,11
3 600	2 740	76	14	345	1,13
2 250	1 130	50	11	325	1,16
2 250	1 200	53	11	325	1,6
3 000	1 500	50	14	325	1,43
3 600	3 000	84	14	325	1,25

На фиг. 177 изображен паровой котел с пароперегревателем и подогревателем питательной воды, работающей на отходящих газах двух газовых двигателей МАН мощностью 2 350 л. с. каждый; котел дает пар давлением 12 ат рабочим с температурой перегрева в 380°Ц и представляет собою горизонтальный трубчатый котел, соединенный с подогревателем и пароперегревателем; на 1 л. с. приходится 0,14 м² поверхности нагрева котла.

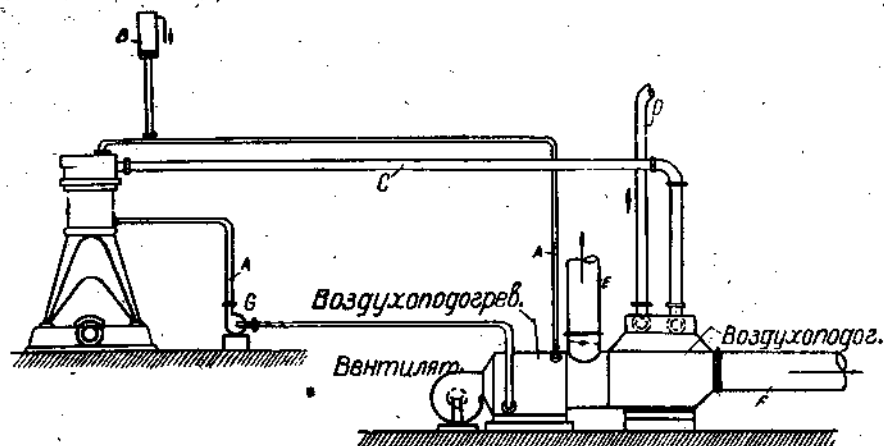
На фиг. 178 изображена схема водоподогревательной установки для отопления с использованием охлаждающей воды и теплоты отходящих газов. По выхлопному трубопроводу А отходящие газы через перепускной вентиль В поступают в водоподогреватель, а из него в атмосферный выхлопной трубопровод С; тепловая охлаждающая вода из охлаждающих рубашек двигателя по трубопроводу D поступает также в водоподогреватель и оттуда в отопительные батареи, а затем в охладитель и снова в охлаждающие рубашки двигателя; вода прогоняется через всю систему центробежным насосом I.

Если отопление не действует, то охлаждающая вода из двигателя поступает непосредственно в охладитель по трубопроводу F; по трубопроводу E в охладитель подается холодная вода из водонапорного бака G; на трубопроводе горячей воды имеется расширительный сосуд H, который необходим при всякой отопительной системе; на случай остановки двигателя в систему отопительного трубопровода включен вспомогательный водонагревательный котел, который включается также в холодное время, когда двигатель не может обеспечить отопление необходимым количеством тепла.

На фиг. 179 изображена другая схема воздухоподогревательной установки с использованием теплоты охлаждающей воды и отходящих газов; последние по выхлопному трубопроводу С поступают в воздухонагреватель и из него по трубопроводу D выходят в атмосферу; теплая вода из охлаждающих рубашек дизеля по трубопроводу А поступает под напором, создаваемым центробежным насосом G, в воздухонагреватель от теплой охлаждающей воды, который для последней служит охладителем тем же насосом и прогоняется через охлаждающие рубашки двигателя; посредством вен-



Фиг. 178.

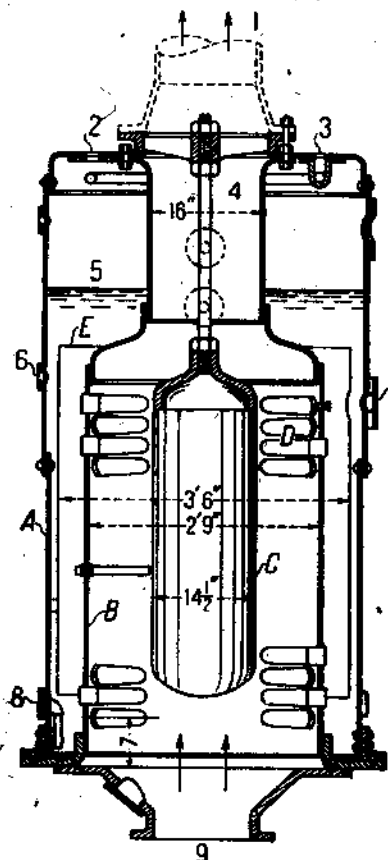


Фиг. 179.

тилятора воздух прогоняется сначала через воздушнонагреватель от тепловой охлаждающей воды, а затем через воздушнонагреватель отходящими газами и по трубопроводу *F* направляется к месту потребления; по трубопроводу *E* воздух может направляться в атмосферу; *B* — расширительный сосуд.

Различные конструкции водонагревателей и паропроизводителей с использованием теплоты отходящих газов зав. МАН, Зульцера и др. приведены в книге Г. Гюльднера «Двигатели внутреннего сгорания», ч. 1.

Хорошую конструкцию котла, отапливаемого отходящими газами дизелей, дал Т. Кларксон.¹ На фиг. 180 изображена конструкция котла, который несколько напоминает вертикальный паровой котел системы Шухова и состоит из цилиндрического вертикального корпуса *A*, в котором расположена топка *B*; кольцообразное пространство между этими двумя цилиндрами внизу представляет водяное, а сверху паровое пространство. Цилиндрическая часть *B* имеет ряд отверстий, в которые вставлены короткие трубки *D*, открытые в сторону водяного пространства и закрытые в сторону топки, от которой они омываются горячими газами, входящими в нижнее широкое отверстие *9*. Для того чтобы горячие отходящие газы лучше



Фиг. 180.

¹ Журнал «Power», 27 января 1931 г.

омывали трубки, в средней части топочного цилиндра установлен цилиндр С, закрытый снизу, вследствие чего горячие газы, проходя по кольцеобразному сечению, образованному этими двумя цилиндрами, более интенсивно обогревают трубки D. В верхней части топочного цилиндра трубки располагаются более густо, чем в нижней, чем достигается постоянство скорости газов, так как по мере подъема газов вверх, вследствие отдачи тепла трубкам температура газов понижается, а объем их уменьшается. Газы выходят из котла по трубе 1, а пар отводится по паровой трубе, представляющей внутри котла кольцо с мелкими отверстиями; на фиг. 180 2 — предохранительный клапан, 3 — запорный клапан, 5 — уровень воды, 6 — питательный штуцер, 8 — спускной штуцер, E — отражательная доска, в которую ударяется входящая по питательной трубе вода и поступает не прямо в трубки, а спускается вниз, а затем поднимается вверх вдоль трубок.

Даже при жесткой воде котел Кларксона не дает накипи и работает без чистки до двух лет; к. п. д. этого котла доходит до 86%, а использование в нем теплоты отходящих газов повышает к. п. д. дизельной установки до 75%.

Котлы Кларксона дают 0,36 кг пара на 1 л. с. четырехтактного дизеля и строятся производительностью до 9 000 кг/час пара при соответствующей мощности дизелей; котлы снабжаются устройством для отопления нефтью.

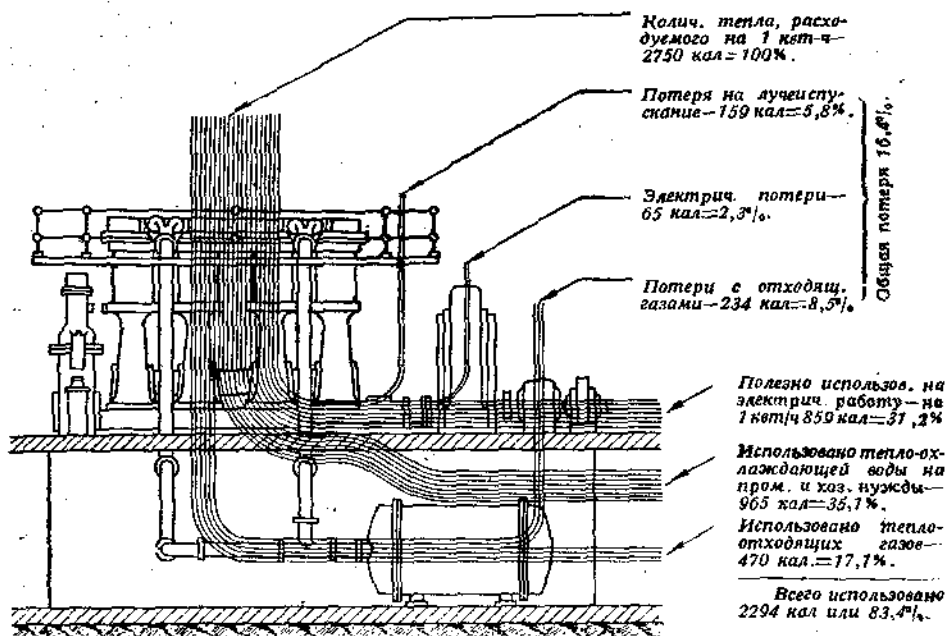
В среднем, при использовании охлаждающей воды в качестве теплой воды для тех или иных нужд и использование теплоты отходящих газов общий процент полезного использования теплоты может быть доведен до 80 — 81%, каковые примерно распределяются следующим образом:

	%
Теплота, превращенная в работу	33
Теплота в охлаждающей воде	28
Теплота использованная из отходящих газов	21
	82

Г. Гюльднер, приводя результаты испытания двигателя Дизеля завода Зульцера мощностью 300 л. с., в котором теплая охлаждающая вода проводится через два подогревателя, обогреваемые отходящими газами по принципу противотока, причем каждый подогреватель имеет 30 м² поверхности нагрева, дает следующее распределение тепла в этой установке по данным ее испытания:

	Нагрузка			
	1/3	2/4	3/4	5/4
Превращено в полезную работу	26,6	32,6	33,5	33,2%
Отведено охлаждающей водой	34,4	—	27,4	26,7%
Использовано в подогревателях	21	21,5	21,1	21,2%
Потери тепла, отнесенные ко всему количеству тепла	18	—	18	18,6%
Общее использование тепла	82	—	82	81,1%

На фиг. 181 изображена наглядная диаграмма распределения тепла в дизеле с использованием такового как из охлаждающей воды для промышленных целей, так и из отходящих газов.



Фиг. 181.

Из этой диаграммы видно, что при рациональном использовании тепловой охлаждающей воды и тепла отходящих газов общее теплоиспользование установки может превзойти 83%.

ГЛАВА IX.

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ СТАНЦИЙ.

1. Контрольные испытания.

Как было уже указано в «Общих правилах ухода», для проверки правильности распределения и нагрузки между цилиндрами в многоцилиндровых двигателях должно производиться индицирование цилиндров двигателя приблизительно через следующие промежутки времени: для двигателей, имеющих отдельный насос для каждого цилиндра, через каждые 200 час. работы и для двигателей, имеющих один насос для нескольких цилиндров, через каждые 100 час. работы. На основании снятых индикаторных диаграмм должна производиться регулировка распределения двигателя, если диаграммы указывают на те или иные дефекты такового; эта регулировка производится при первой остановке двигателя, не считая тех случаев, когда дефекты распределения настолько серьезны, что требуют немедленного их устранения, а следовательно, и остановки двигателя.

Индикаторные диаграммы должны храниться в специальном альбоме и на них должны быть сделаны соответствующие надписи, указывающие на те изменения в распределении, которые были сделаны на основании диаграмм. Таким образом при помощи индикаторных диаграмм производится постоянный контроль состояния самых главных органов двигателя, — органов распределения.

Обозначение		Измерение	Величина	Примечание
Дата испытания	—	—	—	
Продолжительность опыта	z	час	—	
Руководитель испытания	—	—	—	
Двигатель и его главные размеры.				
Система двигателя	—	—	—	
Тип	—	—	—	
Завод	—	—	—	
Нормальная эффективная мощность	N_e	л. с.	—	
Число оборотов при нормальной нагрузке	n_n	—	—	
Система воспламенения	—	—	—	
Способ регулирования	—	—	—	
Число цилиндров	i	—	—	
Диаметр цилиндров	D	см	—	
Площадь поршня	F	см ²	—	
Ход поршня	H	м	—	
Постоянная цилиндра	C	—	—	$C = \frac{F \cdot H}{60 \cdot 75}$ для двухтактного и $C = \frac{F \cdot H}{2 \cdot 60 \cdot 75}$ для четырехтактного двигателя
Результаты испытания				
Среднее число оборотов в минуту	n	—	—	
Среднее индикаторное давление по индикаторной диаграмме	p_i	кг/см ²	—	

Обозначение	Измерение	Величины	Примечание
Цилиндр № 1	кг/см ²	—	
» № 2	»	—	
» №	»	—	
Средняя индикаторная мощность	л. с.	—	
Цилиндр № 1	»	—	
» № 2	»	—	
» №	»	—	
Всех цилиндров	л. с.	—	
Механические потери в двигателе (холостой ход)	№	—	Если фрикционная муфта находится не на валу двигателя, а на главной трансмиссии, то N^0 определяется, задаваясь механическим к. п. д. при нормальной мощности
			$\eta_{1,2} = \frac{N_e^H}{N_e^H}$
			$N_e^H = \frac{N_e^H}{\eta_{1,2}}$
			$N^0 = N_e^H - N_e^H$
Действительная мощность	№	—	$N = N_e^H - N^0$

Обозначение	Измерение	Величина	Примечание
Механический к. п. д. при нормальной мощи.	$\eta_{\text{м}}$	—	$\eta_{\text{м}} = \frac{N^{\text{м}} - N^0}{N_i^{\text{м}}} = \frac{N_e^{\text{м}}}{N_i^{\text{м}}}, 100$
Нагрузка двигателя	%	—	
Топливо и смазка			
Род топлива	—	—	
Элементарный состав топлива в проц. по весу:			
Углерод	%	—	C
Водород	%	—	H
Кислород	%	—	O
Углекислота	%	—	CO ₂
Окись углерода	%	—	CO
Азот	%	—	N
Вода	%	—	W
Низшая теплотворная способность рабочего топлива			
топлива	кал/кг	—	Q _н ^p
Расход топлива за время испытания	кг	—	z · B
То же за час	кг/час	—	B
То же на 1 л. с. ч.	кг/л. с. ч.	—	b
То же на 1 и. л. с. ч.	кг/и. л. с. ч.	—	b ₁
Расход смазки на 1 л. с. ч. норм. мощности двигателя:			
Цилиндрового	г	—	
Машинного	г	—	

Обозначение	Измерение	Величина	Примечание
Коэффициент избытка воздуха	—	—	$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0,5CO)}$
Давление по барометру	мм рт. ст.	—	—
Средние температуры охлаждающих газов;			
Цилиндр № 1	°Ц	—	—
" № 2	°Ц	—	—
Среднее для всех цилиндров	°Ц	—	—
Средняя температура воздуха в машинном помещении	°Ц	—	—
Давление пульверизирующего воздуха:			
В холодильнике низкого давления	ат	—	—
В форсуночном баллоне	"	—	—
Тепловой баланс			
Расход тепла на 1 д. л. с./ч.	кал	—	$q = b \cdot Q_p \text{ кал}$
На 1 д. л. с. ч. расходуется полезно	кал 632	—	$q_n = \frac{N_i - N_e}{N_i} \cdot 632 \text{ кал}$
Механические потери, отнесенные к 1 д. л. с. ч.	кал %	—	$q_m = d_o \cdot (t_2 - t_1) \text{ кал}$
Потери тепла с охлаждающей водой на 1 д. л. с. ч.	"	—	$q_0 = (0,32 R_0 + 0,48 C_w) \times (T_e - t_b) \text{ в кал}$
" " отходящими газами на 1 д. л. с. ч.	"	—	$q_0 = q - 632 - q_m - q_b - q_{\text{кал}}$
" " в окружающую среду, от непотопы горен. и пр. на 1 д. л. с. ч. (остаточн. член)	"	—	—
—	—	100%	—
Экономический к. п. д. двигателя	—	—	$\eta_0 = \frac{632}{q}$

Обозначение	Измерение	В е л и ч и н ы		
		Дизель № 1	Дизель № 2	Дизель № 3
Дата испытания	25/VII 28 г.			
Продолжительность испытания	3 часа			
Двигатель и его главные размеры				
Система двигателя	—	Дизель	Дизель	Дизель
Тип	—	4-х такт. вертик.	То же	то же
Завод	—	Коломенск.	Аугсбург.	Аугсбург.
Нормальная эффективная мощность	N_n	600	400	175
Число об/мин при нормальной нагрузке	n_n	187	175	175
Число цилиндров	i	4	4	2
Диаметр цилиндра	D	49	45,3	42,5
Площадь поршня	F	1885,7	1611,7	1418,6
Ход поршня	H	0,74	0,63	0,60
Результаты испытания				
Среднее число об/мин	n	185	174	178
индикаторное давление	P_i	5,85	5,78	5,44
Средняя индикаторная мощность	N_i	671,05	457,73	183
Холодной ход	N_0	193	100	48
Действительная мощность	N_e	478	357,7	135
Механический к. п. д. при нормальной нагрузке	η_m	0,712	0,78	0,74
Нагрузка двигателя	—	0,79	0,89	0,77
Топливо				
Род топлива	Q_p	Нефть натуральн.	То же	То же
Низшая теплотворная способность	B	10535	10535	10535
Расход топлива за час	b	110,48	72,197	31,59
То же на 1 л. с. ч.	b	0,281	0,201	0,234
То же, учитывая 6,3% воды в нефти по анализу	b	0,216	0,189	0,219

	Обозначение	Измерение	Величины		
			Дизель № 1	Дизель № 2	Дизель № 3
Охлаждающая вода					
Расход воды на 1 д. л. с. ч.	d_w	кал	36,3	35	31,4
Средняя температура входящей воды	t_1	°C	27	27	27
" " выходящей воды	t_2	°C	51,5	49,4	48,2
Газы и воздух					
Состав отходящих газов	$\text{CO}_2 + \text{O}_2$	%	7,08	7,98	5,9
	O_2	%	17,52	17,76	18,9
	N	%	10,46	10,08	13
	a	%	82,48	82,24	81,1
Коэффициент избытка воздуха	α	—	1,91	1,86	2,52
Средняя температура отходящих газ.	T_r	°C	439,5	389,7	450
" " в ма-	t_b	°C	37,2	37,3	37
шинном помещении					
Давление пульверизирующего воздуха	P_{Φ}	атм	59,3	60	58
в форсуночном баллоне					
Тепловой баланс					
Расход тепла на 1 д. л. с. ч.	q	кал	2281	1992,2	2309,9
На 1 д. л. с. ч., расходуется полезно	q_n	%	632	632	632
" " " "	q_r	кал	27,7	81,72	27,36
Потери тепла с отходящими газами	q_g	%	735	553	975,5
" " " "	—	%	82,2	27,8	42,2
" " " " охлаждающей водой	q_b	кал	889	784	659
на 1 д. л. с. ч.					
Потери тепла с охлаждающей водой	—	%	38,9	39,3	28,5
на 1 д. л. с. ч.					
Потери тепла в окружающую среду	q_o	кал	25	22,5	43,4
и пр. на 1 д. л. с. ч.					
Потери тепла в окружающей среде	—	%	1,11	1,14	1,88
и пр. на 1 д. л. с. ч.					
Итого	—	—	2281 100	1992,2 100	2309,9 100

III. Силовая установка мельницы № 11 в Абдулно, состоящая на двух двигателях общей мощностью в 600 л. с.

	Обозначение	Измерение	Величины	
			Дизель № 1	Дизель № 2
Дата испытания	8/II—31 г.			
Продолжительность испытания	3 часа			
Двигатель и его главные размеры				
Система двигателя	—	—	Дизель	То же
Тип	—	—	Четырехтактн., верт.	—
Завод	—	—	Коломенский	—
Нормальная эффективная мощность	N ^н	л. с.	300	300
Число об/мин при нормальной нагрузке	n ^н	—	160	160
Число цилиндров	I	—	3	3
Диаметр цилиндра	D	см	45	45
Площадь поршня	F	см ²	1590,4	1590,4
Ход поршня	H	м	0,68	0,68
Результаты испытания				
Среднее число об/мин	n	—	166	170
— индикаторное давление	P _i	кг/см ²	6,57	6,61
— индикаторная мощность	N _i	л. с.	402,4	404,8
Холостой ход	N ^х	л. с.	92	92
Действительная мощность	N _e	л. с.	310,4	312,8
Механический к. п. д. при нормальной нагрузке	η _м	%	77	77
Нагрузка двигателя	—	%	103	104

Обозначение	Измерение	Величины	
		Дизель № 1	Дизель № 2
Топливо			
Род топлива	—	Нефть натуральная	То же
Низшая тепловая способность	Q_d^p	10 500	10 500
Расход топлива за час	B	58,02	59,07
То же на 1 д. л. с. ч.	b	0,187	0,189
Газы и воздух			
Состав отходящих газов	$\text{CO}_2, \text{CO}, \text{N}_2, \text{O}_2$	—	—
Коэффициент избытка воздуха	α	8,4	8,2
Средняя температура отходящих газов	t_g	17,8	18,3
Средняя температура воздуха в машинном помещении	t_a	82,2	81,7
Тепловой баланс			
Расход тепла на 1 д. л. с. ч.	q	1 962	1 982
На 1 д. л. с. ч., расходуется полезно	q_n	632	632
Потери тепла с отходящими газами	q_1	32,3	31,9
Потери тепла с охлаждающей водой и на лучеиспускание	q_2	666	666
Потери тепла с охлаждающей водой и на лучеиспускание	$q_3 + q_4$	33,9	33,6
Итого	—	664	665
Итого	—	33,8	34,5
Итого	—	1 962	1 982
Итого	—	100%	100%

Однако для получения полной картины работы двигателя, необходимо определение целого ряда технических показателей, как-то: расхода топлива на силу-час, распределения тепла, заключенного в топливе, механического к. п. д. и пр., каковые показатели могут быть определены только путем соответствующего контрольного испытания двигателя. Такие испытания должны производиться не реже одного раза в год и обязательно после каждого капитального ремонта двигателя. Ниже приводится форма журнала испытания двигателя с указанием простейших формул для определения тех или иных величин, характеризующих работу двигателя.

Далее приводятся результаты подобных контрольных испытаний двух дизельных установок, работающих в мукомольной промышленности.

Как видно из приведенных испытаний, таковые по определению показателей, несколько отличаются от приведенного выше образца определения и вычисления таковых, что зависит от тех возможностей в смысле наличия измерительных приборов и других приспособлений, необходимых при испытаниях, которыми можно располагать на предприятии; однако основные показатели, определяющие качество работы и состояние двигателя, неизменно определяются даже при самых сокращенных испытаниях. Результаты приведенных испытаний, произведенных в обычных средних условиях работы предприятия, а следовательно, и двигателя, при обслуживании таковых дежурным персоналом, будучи лишены какого бы то ни было элемента парадности, представляют собою средние эксплуатационные данные работы дизельных установок в наших условиях, быть может лишь в незначительной степени улучшенных, благодаря большой бдительности во время испытания со стороны обслуживающего персонала.

2. Контрольные измерительные приборы: индикаторы, регистраторы нагрузки, счетчики мощности, максиметры и пиметры.

Не останавливаясь на индикаторах как приборах, хорошо известных, скажем несколько слов о других контрольно-измерительных приборах, начинающих внедряться в дело контроля работы двигателей внутреннего сгорания.

В то время как при работе двигателя на электрогенератор его нагрузка контролируется с достаточной точностью по электрическим приборам, контроль таковой для двигателей, работающих непосредственно на вал главной трансмиссии, является более сложным и в то же время весьма важным, так как, не имея перед собой прибора, указывающего нагрузку двигателя, дежурный машинист может не досмотреть перегрузки двигателя, каковая, как было уже сказано выше, как правило, не должна допускаться.

Наиболее простым регистратором нагрузки является следующее приспособление.

Так как при большой нагрузке муфта регулятора опускается ниже, чем при нормальной, то к муфте регулятора прикрепляют тонкую штангу, опуская ее до положения, удобного для наблюдения дежурным машинистом, и на конце ее устанавливают металлическую стрелку; непосредственно под стрелкой располагают металлическую дощечку, укрепляя ее к той или иной неподвижной части двигателя. На этой дощечке наносят риски, соответствующие положению стрелки, а следовательно, и регулятора при его нормальном положении, соответствующем нормальной нагрузке двигателя; для этого путем нагрузки двигателя и последовательной съемки

индикаторных диаграмм определяют среднее индикаторное давление, соответствующее нормальной нагрузке двигателя, на которую он построен, и отмечают риску, соответствующую положению муфты регулятора при нормальной нагрузке, при которой среднее индикаторное давление равно ранее определенному при этой нагрузке. Таким же образом определяют положение регулятора и отмечают соответствующую риску для временно допускаемой перегрузки в 10% и по этим рискам дежурный машинист определяет, с какой нагрузкой работает двигатель, требуя от производственного корпуса уменьшения нагрузки каждый раз при опускании стрелки ниже риски, соответствующей нормальной нагрузке. Вышеуказанное устройство может быть снабжено пишущим механизмом, для чего стрелка должна иметь на своем конце пишущий штифт, а вместо металлической дощечки должен быть установлен барабан с надетой на него бумагой, приводимый в движение часовым механизмом, на который и отмечают все положения стрелки в каждый момент работы двигателя в виде несколько зигзагообразной линии.

Последнее устройство, несколько усовершенствованное, представляет собой регистратор нагрузки и системы Бетхера (завод Майгак), описание которого можно найти в книжке Л. Я. Бершадского «Руководство при практическом пользовании индикатором, счетчиком мощности и регистратором нагрузки», каковую можно рекомендовать в качестве основного практического руководства при работе с индикатором.

При работе двигателя непосредственно на трансмиссию регистратор нагрузки надо считать необходимым эксплуатационным прибором.

К числу удобных и ценных для эксплуатационных целей надо отнести сравнительно недавно появившийся за границей прибор, указывающий среднее индикаторное давление в цилиндре двигателя, так называемый пиметр (*P*-метр) системы Гейгера; он представляет собою обыкновенный индикаторный цилиндр с поршнем, у которого на поршневом штоке насажено зубчатое колесо, сцепленное с зубчатым сектором, который приводит в движение стрелку циферблата; а специальное приспособление, состоящее из масляного катаракта и амортизатора, удерживает поршень индикатора, а следовательно, и стрелку циферблата пиметра в среднем положении, соответствующем среднему индикаторному давлению.

При помощи пиметра, который в соединении с распределительной коробкой может обслуживать несколько цилиндров, можно знать среднее индикаторное давление в каждый данный момент в том или ином двигателе и, следовательно, а) проверить нагрузку на каждый цилиндр и б) определить мощность, развиваемую каждым цилиндром по формуле

$$N_i = A \cdot n \cdot p_i$$

где A — постоянная двигателя, а n — число оборотов в минуту.

По своей идее прибор этот должен найти очень широкое применение, однако, пока еще нет достаточных данных о работе его в эксплуатационных условиях, а потому затруднительно судить с достаточной уверенностью о его качествах; во всяком случае нельзя не рекомендовать опытное применение этого весьма интересного прибора. Подробное описание и теорию пиметра можно найти в *VDJ*.

Для определения, с каким максимальным давлением сгорания работает цилиндр двигателя, а также для улавливания преждевременных вспышек завод Н. Майгак выпустил так называемые максиметры, кото-

рые представляют собою максимальные манометры, снабженные распределительной коробкой, при помощи которой один максиметр можно соединить с любым из цилиндров двигателя и таким образом проверить, насколько равномерно давление сгорания во всех цилиндрах, или определить, в каком из них происходит преждевременная вспышка.

При испытании двигателя мощность его определяется как сумма средних мощностей всех цилиндров, исчисленных по возможно большому количеству снятых индикаторных диаграмм; однако, кроме того, что как съёмка, так в особенности и подсчет индикаторных диаграмм отнимает значительное количество времени, при работе двигателя непосредственно на главный вал трансмиссии предприятия с меняющейся нагрузкой, нельзя быть уверенным в том, что из суммы мощностей, исчисленных по снятым индикаторным диаграммам, может быть с достаточной степенью определена средняя индикаторная мощность за данный промежуток времени, так как практически индикаторные диаграммы могут быть сняты через 5—10 мин. одна после другой, а в течение этих промежутков времени нагрузка может измениться.

Эти соображения привели к созданию интегрирующего индикаторные диаграммы индикатора, который получил название *с ч е т ч и к а м о щ н о с т и*, автоматически вычисляющего среднюю площадь очень большого количества диаграмм, снимаемых за определенный промежуток времени; средняя индикаторная мощность определяется посредством умножения показания счетчика на его постоянную, даваемую заводом, изготовлявшим счетчик.

Наиболее практичными являются счетчики мощности заводов Н. Майгак и Lehmann — Michels, описание конструкции которых и данные для подсчета по ним мощности можно найти в проспектах этих фирм, в вышеуказанной книжке Л. Я. Бершадского, а также в книге Б. В. Кузнецова «Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания», ч. II.

Представляя безусловно интересные и удобные приборы, счетчики мощности все же с большим трудом распространяются среди промышленных установок вследствие их дороговизны, что оказывается особенно ощутительным при многоцилиндровых двигателях, которые, естественно, требуют несколько счетчиков мощности, по числу цилиндров.

3. Техническая отчетность станции.

Как было уже указано в инструкциях по уходу за двигателями, на станции, оборудованной двигателями внутреннего сгорания, должна вестись следующая техническая отчетность, характеризующая техническое состояние двигателей;

а) *М а ш и н н ы й ж у р н а л*, в который все записи вносит дежурный машинист, причем заведующий станцией или механик должны следить за тем, чтобы записи соответствовали фактическим данным; ниже приводится форма машинного журнала для дизельной и газогенераторной установок.

б) *Ж у р н а л к а п и т а л ь н о г о р е м о н т а*, в котором указывается, в чем заключается ремонт каждого двигателя по отдельным частям его, количество рабсилы каждой квалификации, количество основных и вспомогательных материалов, стоимость ремонта каждой части двигателя.

Числа месяца года

[illegible]

№ бри- гад	Часы	Т о п л и в о		Расход смазки в кг				Рабочий персонал (фамилии)			Подпись дежурных машинистов
		Сорт, характеристика	Расход кг	Цилинд- ровое	Машин- ное	Мазь	Керосин	Машин- исты	Маслен- щики		
1			B1								
2			B2								
3			B3								
4			B4								
		Итого . . .	B—								

282

числа месяца года

Подпись механика

№ бригад	Часы	Топливо		Расход смазки в кг				Рабочий персонал (фамилии)				Подпись дежурных машинистов
		Сорт, характеристика	Расход в кг	Цилиндровое	Машинное	Мазь	Керосин	Машинисты	Масленщики	Кочегары		
1			B1 —									
2			B2 —									
3			B3 —									
4			B4 —									
		Итого . . .	B —									

Подпись механика

Этот журнал кроме обычного эксплуатационного имеет еще большее значение, общетехнического характера, как материал для составления урочных норм ремонта двигателей, каковые до настоящего времени еще не выработаны с должной полнотой и в каковых ощущается острая нужда в условиях эксплуатационной практики.

в) **Машинный формуляр**, в котором должны быть записаны все основные характеристические данные двигателя, а также монтажные, регулировочные и эксплуатационные данные, а именно:

1) основные данные двигателя: номер (№) двигателя, номера цилиндров, год выпуска, диаметры цилиндров, ход поршня, число оборотов и 2) фазы распределения, зазоры в механизме распределения, нормальные подъемы клапанов и форсуночных игл, нормальный диаметр сопловой пластинки, высота пространства сжатия, фазы подачи нефтяных насосов, нормальные сроки осмотра и ремонта двигателей.

г) **Альбом индикаторных диаграмм**, снимаемых во время регулировки и работы двигателя; на диаграммах должны быть указаны все необходимые для подсчета индикаторной мощности данные.

ГЛАВА X.

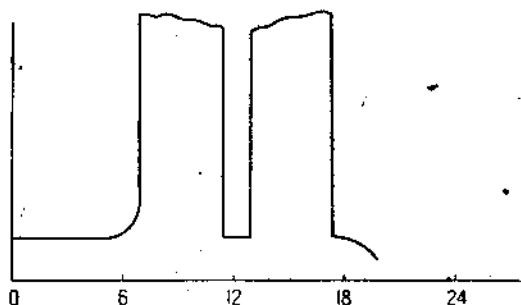
СЕБЕСТОИМОСТЬ ЭНЕРГИИ.

Себестоимость энергии работающей станции определяется на основании бухгалтерских данных об эксплуатационных расходах, однако, очень часто возникает необходимость определения таковой для предполагаемой станции определенной мощности и при определенных эксплуатационных условиях, в особенности при решении вопросов об экономической целесообразности замены существующей станции с устаревшими

первичными двигателями на дизельную станцию или для сравнения стоимости энергии таковой со стоимостью электроэнергии, получаемой с районной или коммунальной электростанции. Выбор мощности агрегатов станции производится по так называемым **графикам нагрузки**, которые представляют собою кривые изменения нагрузки по часам суток, в зависимости от потребления энергии теми или иными потребителями; кривые эти получаются откладыванием часов по оси абсцисс и нагрузок по оси ординат.

На фиг. 182 изображен график нагрузки при односменной работе с перерывом на обед; на фиг. 183 — двухсменной работы.

График нагрузки трехсменной работы, очевидно, будет представлять собою более или менее, в зависимости от колебания нагрузки, волнистую горизонтальную линию.



Фиг. 182.

График нагрузки зависит от назначения станции и характера нагрузки; суточная нагрузка изменяется также в зависимости от времени года.

На фиг. 184 представлен график нагрузки осветительной станции, причем толстая линия представляет максимальную декабрьскую нагрузку,

тонкая линия, — сентябрьскую, а пунктирная — минимальную июльскую нагрузку.

Мощность станции определяется максимальной нагрузкой по графику, причем число агрегатов выбирается в зависимости от характера графика нагрузки; максимальная мощность станции должна быть рассчитана на покрытие пика графика нагрузки, т. е. наивысшей его точки, соответствующей наибольшей нагрузке. На правильный выбор числа и мощности агрегатов должно быть обращено серьезное внимание, так как

неравномерная нагрузка отдельных агрегатов значительно влияет на экономичность станции, вызывая неполное использование двигателей; поэтому желательно, чтобы в каждый данный момент на станции работало возможно меньшее число двигателей с возможно большей нагрузкой каждого.

Работа станции характеризуется следующими коэффициентами.

Максимальное возможное число часов работы станции в течение года равно $365 \cdot 24 = 8760$ час., однако, обычно всякая станция работает меньшее число часов, которое зависит как от назначения станции, так и от характера потребителей.

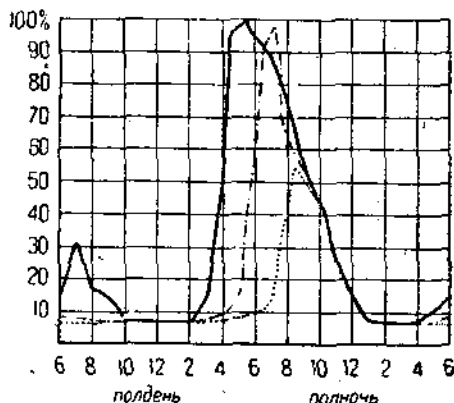
Отношение фактического числа часов работы станции в год h к максимальному числу часов в году называется коэффициентом рабочего времени, который, следовательно, равен:

$$e = \frac{h}{8760}$$

Если двигатель работает не с полной нагрузкой и его обычная средняя нагрузка N , а нормальная N_n , то отношение:

$$f = \frac{N}{N_n}$$

называется коэффициентом нагрузки.



Фиг. 184.

Степень общего использования двигателя в отношении времени и нагрузки выразится произведением этих коэффициентов, которое называется коэффициентом эксплуатации и будет равно:

$$g = e \cdot f = \frac{N \cdot h}{N_n \cdot 8760}$$

Естественно, что чем больше коэффициент эксплуатации, т. е. чем больше используется двигатель в отношении времени и нагрузки, тем экономичнее работа станции, тем дешевле энергия.

В виду того что двигатель с меньшим расходом топлива на силу-час, т. е. более экономичный, но более дорогой может оправдать свою излишнюю первоначальную стоимость только при большом числе часов работы в году, т. е. при большом коэффициенте рабочего времени,—установка двигателя менее экономичного, но зато и более дешевого может оказаться, в конечном результате, выгоднее в отношении стоимости единицы энергии, чем установка более экономичного по расходу топлива, но более дорогого двигателя, который, в свою очередь, будет выгоднее при большом годовом числе часов работы. Поэтому в каждом отдельном случае путем сравнительных подсчетов стоимости энергии для данных конкретных условий работы необходимо выбрать ту или иную систему двигателя.

Эксплуатационные расходы постоянные и переменные.

А. Постоянные расходы, не зависящие от рабочего времени и нагрузки: 1) амортизация здания и оборудования, 2) проценты на затраченный капитал, 3) содержание постоянного персонала.

Для определения амортизационных отчислений и процентов на капитал надо определить стоимость здания и оборудования. Для новых установок амортизационные отчисления принимаются: в 7% для оборудования и 2,5% для здания; проценты на затраченный капитал принимаются в 6%.

Стоимость здания для первоначальных подсчетов можно принимать равной 25 руб. за 1 м³, причем объем помещения определяется по необходимой площади и высоте такового на основании данных, приведенных ниже или по данным завода.

Стоимость оборудования: стоимость двигателя принимается на основании нижеприведенных данных или же на основании данных завода для двигателя определенной мощности и конструкции; на фундамент и установку (монтаж) двигателя надо считать 25% от стоимости двигателя; затем надо принять во внимание стоимость фрикционной муфты, в случае передачи движения от двигателя непосредственно на трансмиссионный вал, насосов для холодной и горячей воды, градирни, баков для воды и нефти,—иначе говоря, необходимо составить предварительную ориентировочную смету на оборудование станции, которая и определит полную стоимость оборудования.

Содержание постоянного персонала: к постоянному персоналу относятся: заведующий станцией, бухгалтер или счетовод и сторож, которые получают содержание вне зависимости от времени работы и нагрузки станции; стоимость их содержания определяется по соответствующим ставкам в данном районе.

Б. Переменные расходы, зависящие от работы чего времени и нагрузки.

Топливо. Обычно заводы гарантируют так называемый парадный расход топлива, т. е. расход топлива, достижимый при исключительно благоприятных условиях работы двигателя; фактический же расход топлива в эксплуатационных условиях обычно несколько выше. При исчислении себестоимости энергии надо принимать фактический расход топлива, который увеличивается по сравнению с парадным вследствие расхода на пуск двигателя в ход, на вспомогательное оборудование (насосы) и пр. и на перерасходы топлива вследствие недогрузки двигателя.

Если q_p —рабочий расход топлива, а q —парадный, то отношение:

$$\alpha = \frac{q_p}{q}$$

называется коэффициентом рабочего расхода; он равен:

$$\alpha = 1 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$$

где Δ_1 —расход на пуск в ход, Δ_2 —расход на недогрузку и Δ_3 —расход на вспомогательное оборудование.

Расход топлива на пуск в ход— Δ_1 для дизелей равен 0, для калоризаторных двигателей $\Delta_1 \approx 2\%$, для газогенераторных, при круглосуточной работе $\Delta_1 = 5\%$.

Расход топлива на недогрузку Δ_2 , как видно из табл. 4, для дизелей меньше, чем для других систем двигателей и при $1/4$ нагрузки доходит до 60%, а для газогенераторных двигателей является наибольшим и при $1/4$ нагрузки доходит до 120%.

Расход на вспомогательное оборудование Δ_3 —на центробежные насосы для охлаждающей воды 0,3—0,6% и на освещение помещения и прочее 0,2—0,4%.

Таблица 24.

Расход на смазку и обтирочный материал

Мощность в э. л. с.	20	40	60	100	150	200	300	500	600	800
Расход масла в г/час	200	280	400	600	780	1000	1500	2000	2400	3200
Стоимость масла в коп. на силу-час	0,30	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,12	0,12	0,12
Стоимость обтирочного материала в коп. на силу- час	0,06	0,05	0,043	0,040	0,035	0,035	0,03	0,028	0,025	0,025
Общие расходы на смазку и обтирочн. материал в коп. на силу-час	0,036	0,26	0,243	0,22	0,19	0,18	0,18	0,15	0,15	0,15

С м а з к а. Расход на смазку и обтирочный материал почти не зависит от нагрузки двигателя, а лишь от числа часов работы, а также, конечно, от конструкции и качества выполнения двигателя заводом и от качества смазки; расход смазки и обтирочного материала на единицу мощности уменьшается при увеличении нагрузки.

В табл. 24 даны средние ориентировочные цифры расходов на смазку и обтирочные материалы.

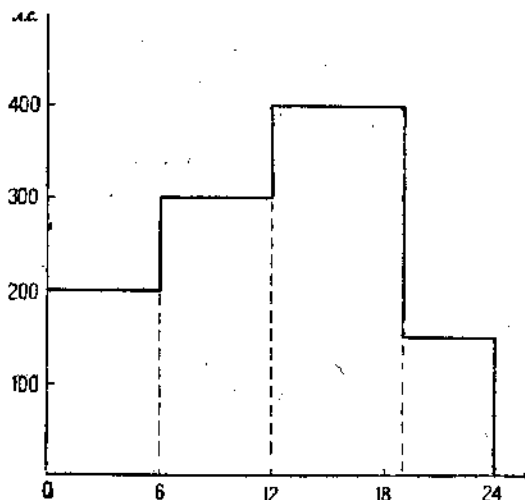
Т е к у щ и й р е м о н т. Расход на текущий ремонт обычно выражается в 2,5—3% от общей стоимости оборудования и может быть выражен следующей практической формулой:

$$r_{\text{ж}} = \left(r_0 + \frac{2n}{10^4} \right) \%,$$

где r_0 —для дизелей и крупных газовых двигателей 1,5%, а для газогенераторных и калоризаторных 2,5%, а n —число часов работы в год.

Текущий ремонт здания принимается в 1% от стоимости здания.

Пример. Определить себестоимость энергии дизельной станции, работающей 300 дней в году на предприятии с круглосуточной нагрузкой по данному графику суточной нагрузки (фиг. 185). Топливо, — нефть стоимостью 35 руб. за 1 т.



Фиг. 185.

На основании графика нагрузки выбираем бескомпрессорный дизель мощностью в 400 л. с.

Общие эксплуатационные данные. Число часов работы в год $h = 300 \cdot 24 = 7\,200$ час.

Число сило-часов в год:

$E_{\text{год}} = (6 \cdot 200 + 6 \cdot 350 + 8 \cdot 400 + 4 \cdot 150) \cdot 300 = 2 \cdot 130\,000$ сило-часов в год.

Средняя нагрузка станции

$$N_{\text{ср}} = \frac{2\,130\,000}{7\,200} = 295 \text{ л. с.}$$

Коэффициент рабочего времени:

$$e = \frac{h}{8\,760} = \frac{7\,200}{8\,760} = 0,82.$$

Коэффициент нагрузки (средний):

$$f = \frac{N_{\text{ср}}}{N_n} = \frac{295}{400} = 0,73.$$

Коэффициент эксплуатации:

$$g = e \cdot f = 0,82 \cdot 0,73 = 0,60.$$

Стоимость здания. Площадь машинного помещения $F = 20 + 0,2N = 100 \text{ м}^2$. Высота $H = 7,5 \text{ м}$; объем $V = F \cdot H = 100 \cdot 7,5 = 750 \text{ м}^3$; стоимость $750 \cdot 25 = 18\,750 \text{ руб.}$

Стоимость двигателя около 200 руб. за силу $400 \cdot 200 = 80\,000 \text{ руб.}$
Стоимость доставки установки и фундамента—25% от стоимости двигателя 20 000 руб.

Стоимость вспомогательного оборудования (передача, насосы и пр.) 8 000 руб.

Стоимость приемочного испытания около 2% стоимости двигателя 1 600 руб.

Годовой расход на постоянный персонал:

Заведующий станцией (механик)	2 400 руб.
Сторож	600 „
	3 000 руб.

Переменные расходы.

Стоимость топлива. Гарантированный заводом парадный расход топлива—0,185 кг/л. с. ч.

Годовой расход нефти: $0,185 \cdot 2\,130\,000 = 394\,050 \text{ кг} = 394,05 \text{ т.}$

Увеличение расхода топлива:

На пуск двигателя в ход	$\Delta_1 = 0\%$
Вследствие недогрузки	$\Delta_2 = 3\%$
На вспомогательные механизмы	$\Delta_3 = 0,5\%$
	3,5%

Фактический годовой расход нефти: $394,05 \cdot 1,035 = 407,84 \text{ т.}$
Полная стоимость топлива в год: $407,84 \cdot 35 = 14\,274 \text{ руб.}$

Обслуживающий персонал:

Машинистов 3 по 120 руб. в мес.	360 руб.
Смазчиков 3 по 80 „ „ „	240 „
	600 руб.

или в год— $600 \cdot 12 = 7\,200 \text{ руб.}$

Смазка и обтирочный материал; по табл. 24 стр. 286 расход на смазку и обтирочный материал на силу-час равен 0,15 коп., следовательно, общий годовой расход будет:

$$0,15 \cdot 2 \cdot 130\,000 = 3\,900 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт оборудования:

$$r\% = \left(1,5 + \frac{2 \cdot 7\,200}{10^4}\right)\% = 1,194 \approx 2\%,$$

т. е. 2% от 88 000 руб. = 1 760 руб.

Текущий ремонт здания принимается в 1% от стоимости здания, т. е. 1% от 18 750 руб. = 1 875 руб.

На основании вышеприведенных предварительных подсчетов составляется нижеследующая ведомость:

Статьи расхода	Сумма в руб.
I. Постоянные расходы	
1. Постоянный служебный персонал	3 000
2. Амортизация оборудования 7% от 108 000 руб.	7 560
3. Амортизация здания 2,5% от 18 750 руб.	468
4. Проценты на капитал — 6% от 128 350 руб.	7 701
5. Страхование 1% от 128 350 руб.	1 283
II. Переменные расходы.	
1. Топливо	14 274
2. Смазка и обтирочный материал	3 195
3. Обслуживающий персонал	7 200
4. Начисления на зарплату (соцстрах, культфонд и пр.) около 30%	2 160
5. Текущий ремонт оборудования	1 760
6. Текущий ремонт здания 1% от 18 750 руб.	187
Итого	48 788

При годовых эксплуатационных расходах в 48 788 руб. стоимость 1 сило-часа будет равна:

$$\frac{48\,788}{2\,130\,000} = 2,29 \text{ коп.}$$

или стоимость 1 квт-ч = $2,29 \cdot 1,36 = 3,11$ коп.

I. ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ПОСТАНОВЛЕНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ НКТ.

Правила установки, ограждения и обслуживания машин-двигателей.

1. Общие правила.

1. Все двигатели должны устанавливаться в отдельных специально для этого предназначенных помещениях. В тех случаях, когда, по особым условиям работы, это требование не может быть исполнено, двигатели должны быть отделены от рабочих помещений прочными решетками или перилами, высотой не менее 1 м, снабженными внизу, на высоту не менее 18 см, сплошной стенкой. Все двигатели должны устанавливаться на прочных фундаментах, не связанных со стенами здания.

2. Помещения двигателей как отдельные, так и внутри мастерских должны освещаться в такой мере, чтобы была гарантирована возможность правильного и безопасного обслуживания двигателя приставленным к нему персоналом. Вентиляция отдельного помещения теплового двигателя должна быть устроена таким образом, чтобы поддерживать в помещении чистый воздух и температуру не выше 26° Ц. Минимальная температура в помещении двигателя не должна быть ниже 10° Ц.

Устройство вентиляции помещения двигателя, устанавливаемого внутри мастерских, должно быть полностью согласовано с устройством вентиляции, устраиваемой для поддержания надлежащей чистоты воздуха в мастерских.

П р и м е ч а н и е. В зависимости от климатических условий и особо высокой температуры наружного воздуха в летнее время, губернским (или соответствующим им) органам НКТ предоставляется право допускать отступления от указанной в настоящей статье максимальной температуры в помещении двигателя.

3. Высота помещения для постоянных установок двигателей должна быть, как общее правило, не менее 4 м. Отступления от этой нормы допускаются в исключительных случаях с разрешения губернского (или соответствующего ему) органа НКТ. Ширина и длина помещения должны быть таковы, чтобы около двигателя или агрегата с ограждениями оставался свободный проход шириною не менее 1 м.

4. Полы и лестницы в помещениях двигателей должны содержаться в чистоте. Во избежание образования скользких мест, проливающееся масло должно немедленно удаляться.

5. Вход в помещение двигателя посторонним лицам, т. е. не обслуживающим двигатель и не имеющим разрешения на право входа, воспрещается.

6. Все ямы, углубления, отверстия в полах, переходы и мостики, встречающиеся в помещениях двигателя, должны быть ограждены перилами высотой не менее 1 м, снабженными внизу, на высоту 18 см сплошной стенкой.

7. Все двигатели, имеющие части, которые нельзя удобно и безопасно обслуживать стоя на полу машинного помещения, должны быть снабжены специальными площадками и лестницами с поручнями для подъема на площадки. Последние должны быть ограждены перилами высотой не менее 1 м, снабженными внизу на высоту 18 см сплошной стенкой. В отношении существующих ограждений минимальная высота ограждения допускается в 70 см.

8. Передачи от двигателей к приводным валам и к исполнительным механизмам (машинам-орудиям) должны быть ограждены согласно обязательным постановлениям об ограждении трансмиссий.

9. Проходы под ремнями и канатами должны быть перекрыты прочной и надежно укрепленной конструкцией.

10. Все доступно расположенные движущиеся части двигателя должны быть ограждены.

11. Если ограждения, предусмотренные в ст. 10, не прикрывают выступающих элементов на движущихся частях двигателей, как-то: клиньев, шпонок и пр., к которым приходится близко подходить обслуживающему двигатель лицу во время работы, то указанные выступающие элементы должны быть закрыты соответственными кожухами.

12. Помещение двигателя и обслуживаемые двигателем мастерские должны

быть соединены между собой сигнализацией, устроенной так, чтобы можно было из помещения двигателя предупреждать рабочих мастерских о пуске двигателя в ход, а из мастерских сигнализировать машинисту о необходимости остановки двигателя.

13. Смазка частей двигателя на ходу допускается лишь при наличии приспособлений, делающих эту смазку безопасной.

14. Чистка двигателей на ходу воспрещается.

15. Всякое исправление и ремонт двигателей на ходу, в том числе закрепление клиньев и подтягивание болтов на движущихся частях, воспрещается.

16. Во время работы по чистке и ремонту двигателей должны приниматься меры против непроизвольного движения двигателя.

17. После каждой остановки двигателя машинист, до пуска двигателя в ход, обязан удостовериться в исправном состоянии всех его частей и предохранительных устройств. О неисправностях, если они не могут быть немедленно устранены, машинист должен заявить своему ближайшему начальнику.

18. Уход за двигателем может поручаться только сведущим и опытным в этом деле лицам.

19. При необходимости отлучиться от двигателя во время его работы, машинист должен быть заменен другим лицом, хорошо знакомым с уходом за двигателем.

П р и м е ч а н и е. При сменной работе машинист может окончить свою смену не ранее того, как сменяющее его лицо примет от него обслуживание двигателя.

20. В помещении двигателя должна быть вывешена инструкция машинистам по уходу за двигателем, выработанная администрацией предприятия и утвержденная технической инспекцией.

Двигатели внутреннего сгорания.

61. Маховики, шатуны, кривошипы, крейцкопфы, штоки и другие движущиеся части двигателей внутреннего сгорания должны быть ограждены прочными решетками, перилами или чехлами.

62. Гайки шатуновых болтов должны быть снабжены приспособлениями, не допускающими ослабления их от сотрясений во время хода двигателя.

63. При остановке двигателя внутреннего сгорания для осмотра и разборки должны быть приняты меры против возможного воспламенения внутри горючей смеси. Для устранения возможности произвольного хода двигателя после прекращения доступа к нему нефти излишек масла в задней камере сжатия (картере) должен быть выпущен из нее тотчас по остановке двигателя.

64. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания должны удаляться в атмосферу через достаточно высокую отводящую трубу.

65. Для уменьшения шума, производимого выхлопными (отработавшими в цилиндре) газами, объем глушителя, если последний не имеет специальной конструкции, должен быть не менее пятикратного объема рабочего хода одного цилиндра.

66. Выпускные трубы, глушители и отводящие трубы двигателей внутреннего сгорания должны быть в пределах машинных помещений изолированы. Они нигде не должны соприкасаться с горючим материалом. При осуществлении новых установок глушители должны располагаться снаружи, вне помещения двигателя.

67. Подводящая газ труба должна быть снабжена автоматическим запорным клапаном, установленным непосредственно на патрубке двигателя.

68. Поршень, клапаны и сальники двигателя должны быть достаточно плотны, чтобы исключена была возможность проникания в помещение двигателя газов.

69. Для поддержания чистоты воздуха в отдельном помещении газового двигателя должна быть устроена надлежащая вентиляция.

70. Пуск в ход двигателей внутреннего сгорания путем вращения маховика непосредственно весом тела рабочего воспрещается.

71. Устройство двигателей внутреннего сгорания должно обеспечивать легкий и безопасный пуск двигателей в ход. При этом четырехтактные двигатели, мощностью начиная от 15 л. с., и двухтактные, мощностью начиная от 25 л. с., должны быть снабжены специальными автоматическими приспособлениями для пуска их в ход (например, при помощи сжатого воздуха, отработавших газов, электричества).

П р и м е ч а н и е. Отступления от требований настоящей статьи в отношении существующих двигателей и в отношении двигателей специальных конструкций допускаются с разрешения губернских (или соответствующих им) органов НКТ.

72. При пуске в ход газового двигателя впускной клапан должен быть открыт лишь для возможности холостого хода двигателя. Только после того, как двигатель придет в движение от рабочей смеси, разрешается полностью открыть впускной клапан.

73. Пуск в ход двигателя кислородом воспрещается.

74. Крупные двигатели, остановка которых устроена с лестничной площадки, должны иметь дополнительное приспособление для выключения двигателя с пола помещения.

75. Газовые двигатели, кроме нормального запорного клапана на двигателе, должны иметь дополнительный запорный клапан на трубопроводе, легко доступный и, по возможности, находящийся в помещении двигателя.

76. Передача движения к регулятору двигателя внутреннего сгорания должна исключать возможность произвольной остановки вращения регулятора. Применение для этой цели ремней, канатов и т. п. частей воспрещается.

77. Крейцкопфы, цапфы кривошипов и коленчатых валов, эксцентрики, направляющие и сальники двигателей внутреннего сгорания должны иметь самодействующую смазку.

78. Наполнение резервуаров двигателей внутреннего сгорания, работающих на жидком топливе, должно производиться либо при дневном освещении, либо при условии применения исключительно ламп безопасной конструкции.

79. При хранении жидкого топлива для двигателей внутреннего сгорания должны соблюдаться специальные правила безопасности, установленные для хранения легко воспламеняющихся и взрывчатых материалов.

80. Курение табака в помещениях двигателей внутреннего сгорания воспрещается.

IX. Порядок исполнения настоящих правил.

81. Настоящие правила вводятся в действие на территории союзных республик распоряжениями соответствующих народных комиссариатов труда.

82. В отношении вновь устанавливаемых машин-двигателей требования настоящих правил применяются в полном объеме немедленно по введении правил в действие в порядке, предусмотренном в предыдущей статье.

83. В отношении существующих машин-двигателей требования настоящих правил проводятся в жизнь в следующем порядке: в трехмесячный срок по введении в действие правил (ст. 81) администрация предприятия должна представить в подлежащий губернский (или соответствующий ему) орган НКТ для утверждения календарный план осуществления тех требований правил, которые не могут быть исполнены немедленно. В случае несогласия в губернском (или соответствующем ему) органе НКТ представленного плана в целом или в отдельных его частях, спорные вопросы передаются органом НКТ на разрешение народного комиссариата труда данной союзной республики.

84. За нарушение настоящих правил администрация предприятия привлекается инспекцией труда к ответственности по соответствующим статьям уголовных кодексов союзных республик.

85. С введением в действие (ст. 81) настоящих правил отменяются утвержденные НКТ РСФСР 22 июля 1920 г. «Правила относительно установки, ограждения и обслуживания машин-двигателей» («Сборник обязательных постановлений и правил по технике безопасности и промышленной санитарии», выпуск 11), действие которых было распространено на всю территорию СССР постановлением НКТ СССР и ВСНХ СССР 14 ноября 1923 г., № 154 («Известия НКТ СССР», 1923 г., № 11/35).

Правила безопасности для устройства силовых газогенераторных станций и ухода за газовыми генераторами и вспомогательными при них установками.

1. Газогенераторная станция, служащая помещением для газовых генераторов и вспомогательных устройств при них для промывки (скруббера) и очистки газа, должна быть построена обособленно или отделяться от помещения двигателя каменной стеной (брандмауером). Помещение станции должно быть достаточно высоко для свободного обслуживания сверху газогенераторной установки, достаточно просторно (чтобы можно было поместить ночной запас горючего для добычи газа, не стесняя прохода), быстро вентилируемо и хорошо освещено.

2. В случае отсутствия устройства искусственной вентиляции, необходимо следить за тем, чтобы во все время работы генераторов были открыты, по крайней мере, два больших вентиляционных отверстия: одно — у потолка и другое — у пола газогенераторной станции.

3. Вход в газогенераторную станцию посторонним лицам т. е. не обслуживающим генераторы и разные устройства при них и не имеющим разрешения на право входа, воспрещается.

4. Число и расположение дверей и проходов в газогенераторной станции должно удовлетворять свободному подвозу горючего для добычи газа и требованию, чтобы человек, находящийся в любом месте помещения, мог, в случае опасности, сразу найти выход из помещения; во всяком случае, число дверей не должно быть менее трех. Двери и окна должны открываться наружу от простого нажатия на них.

5. Пол в газогенераторной станции должен быть ровным, устроен из негорючих материалов и содержаться в исправности.

Примечание. В существующих газогенераторных станциях допускается при сухом грунте земляной пол, но он должен быть плотно утрамбован мелким гравием.

6. При наличии подвального зольникового этажа, последний должен быть соединен с рабочим помещением металлическими лестницами с поручнями (две лестницы на шесть генераторов); площадки лестниц должны быть ограждены перилами высотой в 1 м, снабженными внизу, на высоте 25 см, сплошной железной стенкой. Вход в подвальный этаж должен быть снабжен плотно прилегающей к входному отверстию крышкой, которая должна свободно открываться как сверху, так и снизу.

7. Для удаления шлаков и золы из подвального этажа должны быть устроены особые люки, открываемые только во время очистки; эти люки следует устраивать вне рабочего помещения станции.

8. Газовые генераторы, скрубберы и пр., имеющие части, которые нельзя удобно и безопасно обслуживать, стоя на полу помещения, должны быть снабжены специальными площадками из негорючего материала и железными лестницами с поручнями для подъема на площадки. Последние должны быть ограждены перилами высотой не менее 1 м, снабженными внизу, на высоте 25 см, сплошной железной стенкой.

9. При наличии нескольких генераторов каждый из них должен выключаться и выключаться из общей газопроводной трубы при посредстве отдельных кранов или плотных задвижек; такие же краны или задвижки должны быть введены при скрубберах и очистителях (филтрах) на случай выключения их из действия.

10. Для отвода газов, образующихся при разжигании генератора и при остановке газового двигателя, должна быть устроена специальная отводящая труба, выведенная выше крыш окружающих зданий не менее, как на 2 м. Вывод газов из газового двигателя и генератора в одну и ту же трубу воспрещается.

11. Все части газовых генераторов и газопроводов, которые во время работы сильно нагреваются, не должны соприкасаться с горючим материалом и, в доступных для рабочих местах, должны быть покрыты изоляцией из плохого проводника тепла. Расстояния между сильно нагревающимися неизолированными частями и деревянными частями здания станции должны быть не менее 0,5 м для устройств и трубопроводов после скрубберов и не менее 1 м для газогенератора и его газопроводов до скрубберов.

12. Для измерения давления или вакуума во всех отдельных устройствах газогенераторной станции должны быть устроены специальные приборы (водяные приспособления и водяные манометры).

13. При газовойсасывающих установках давление в генераторе во время работы не должно быть выше атмосферного.

При нагнетательных установках должна быть полная герметичность всего газогенераторного устройства вплоть до двигателя, что должно периодически проверяться. Все стыки должны быть смонтированы на непроницаемых асбестовых прокладках.

Прекращение пуска газа в двигатель (при остановке последнего) должно сопровождаться одновременным выпуском газа в атмосферу через отводящую трубу (ст. 10).

14. Газовые генераторы должны быть снабжены приспособлениями (например двойными запорами и т. п.), исключающими возможность проникания газа из генератора через загрузочное отверстие в количествах, опасных для здоровья работающих.

15. При пуске в ход газогенераторной установки, обслуживающий установку персонал должен убедиться в исправном состоянии и действии всех частей установки. Помимо этого, должен быть периодический, не реже одного раза в неделю, осмотр ответственным лицом установки на ходу для контроля, не происходит ли утечка газа в рабочее помещение; о результатах осмотра делается запись в особой книге, скрепленной инспекцией труда.

16. Для избежания выхода газов из генератора при шуровании должны быть устроены приспособления в виде, например, колдаков с трубами достаточной тяги для улавливания и отведения газов непосредственно перед соответствующими отверстиями.

17. Газопровод из генератора или газогенераторной станции к двигателю должен быть снабжен клапаном, расположенным, по возможности, близко к двигателю для предупреждения опасности распространения взрыва из двигателя по газопро-

воду; в случае, если газогенераторная станция устроена в обособленном помещении, необходимо иметь два клапана или шиберы: один в начале газопровода, другой — ближе к двигателю.

18. Доступ в газопровод или в другие содержащие газ устройства газогенераторной станции допускается лишь при совершенно погасшей топке генератора и после того, как газопроводы и прочие устройства, как-то: скрубберы и очистители, будут тщательно (в продолжение нескольких часов) провентилированы.

19. Работы по очистке и ремонту внутри генераторов, газопроводов, скрубберов и очистителей должны производиться при непременном выключении их из общей системы, при закрытых клапанах или шиберах, в чем надлежит всякий раз отдельно удостоверяться, и в присутствии ответственного лица и запасных рабочих для возможности быстрой смены почувствовавших себя дурно рабочих и подачи им первой помощи. Во время вышеозначенных работ могут быть применяемы только или электрические лампы, или безопасные лампы, в роде лампы Дэви.

20. В помещении газогенераторной станции воспрещается всякое употребление открытого огня.

21. Для подачи первой помощи рабочим в случае обморока газогенераторная станция должна быть снабжена в достаточном количестве необходимыми медикаментами и аппаратами для оживления помощью кислорода. Среди персонала, обслуживающего газогенератор, должно быть в каждой смене несколько человек, обученных правилам подачи первой помощи и обращению с означенными аппаратами.

22. Устройства для отведения скрубберной воды должны исключать возможность проникания содержащихся в воде газов в рабочие помещения; применение для этой цели открытых канав воспрещается.

Давление поступающей в скруббер воды должно быть не менее 0,5 атм над верхней крышкой скруббера.

23. При газогенераторных установках мощностью 50 л. с. вода из скрубберов для предотвращения заражения ею близлежащих водоемов должна подвергаться очистке в особых очистительных устройствах. При газогенераторных установках мощностью до 50 л. с. допускается спуск скрубберной воды в поглощающие колодцы.

24. В случае динамической очистки газа посредством мокрых вентиляторов (центрифуг), кожух вентилятора должен быть безусловно плотным и снабжен лазами для очистки вентилятора.

25. Вентиляторы для очистки газа следует ставить в отдельных помещениях, удовлетворяющих требованиям ст.ст. 1 — 5 настоящих правил, и присоединение их к всасывающей и нагнетательной трубам, давление в которых контролируется водяным манометром, должно быть производимо при посредстве шиберов или задвижек.

26. При приведении в действие вентиляторов от электродвигателей, последние употребляются, по возможности, закрытого типа с вентиляцией.

27. Устройство для отведения отработанной в вентиляторе воды должно удовлетворять требованиям ст. ст. 22 и 23 настоящих правил.

28. Курение табака в помещении газогенераторной станции и в помещении для вентиляторов воспрещается.

29. Настоящие правила входят в силу со дня опубликования их.

II. ЛИТЕРАТУРА.

а) Рекомендуемая в качестве пособия при прохождении курса:

1. Шварцбек И., Рациональная эксплуатация двигателя Дизеля.
2. Кавэк И., Двигатели Дизеля.
3. Наумов В. С., Уход за нефтяным двигателем.
4. Хедер Г., Большой двигатель внутреннего сгорания.
5. Бехтерев П. В., Сборка двигателя Дизеля.
6. Кузнецов Б. В., Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, ч. I и II.

б) Частично использованная при составлении курса:

1. Гюльднер Г., Двигатели внутреннего сгорания.
2. Бриллинг Н. Р., Двигатели внутреннего сгорания.
3. Гиттис В. Ю., Двигатели внутреннего сгорания.
4. Дуббель Г., Двигатели внутреннего сгорания.
5. Зейлигер М., Дизели повышенной мощности.
6. Синеуцкий В. В., Конструирование двигателей внутреннего сгорания.
7. Сурвилло Б. Л., Статьи из журналов: «Вестник инженеров и техников», «Журнал мельничной техники и промышленности» и «Советское мукомолье».
9. Журналы: «Известия Теплотехнического института», «Вестник инженеров и техников», «Тепло и сила», «Power» и «ZVDI».

Сдано в набор 10 июля 1932 г.
Поступило к печати 7 декабря 1932 г.
Формат бумаги 62 × 94.
Количество печатных листов 18^{1/2}.
Количество печ. знаков в тексте 55296.
Инд. 37-45-5-2.3

Ответственный редактор С. М. Лосев
Технический редактор Виноградова

Энергоиздат № 290/М.

Уполн. Главлита № В-38981.

Заказ № 979. Тираж 10000 экз.