R 378/87

Д. Л. ТАГЕЕВ

ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ГОСЛЕСБУМИЗДАТ

НАРКОМЛЕС СОЮЗА ССР

R 378/87

Д. Л. ТАГЕЕВ

ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

с 215 рисунками в тексте

Утверждено редакционной комиссией Наркомлеса Союза ССР и допущено ГУУЗ Наркомлеса в качестве учебного пособия для лесных втузов

ГОСЛЕСТЕХИЗДАТ — ЛЕНИНГРАД — 1937

Горсоюзная библиотека имени В. И. Ленина
38-442

Ответ. ред. *П. П. Акимов* Технич. ред. *Г. И. Власова* Коррект. *Н. Н. Васильева*

Л/О ГЛТИ № 28. Индекс 0110. Стр. 384. Рис. 215. Тираж 4000
Ленгорлит № 4936. Печатн. лист. 24. Авторск. учетн. л. 28,2. Бумага 62×94.
Заказ № 967. Сдано в набор 10/III 1937 г. Подписано к печати 7/X 1937 г.
99840 тип. зн. в бумажном листе. Цена 7 руб. Переплет 1 руб. 50 коп.

2-я тип. Издательства Облисполкома и Ленсовета. Ленинград, ул. 3-го Июля, 55

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

I. ВВЕДЕНИЕ. РАЗВИТИЕ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО 7

II. ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К 1933—1934 г.—НАЧАЛУ ВТОРОГО ПЯТИЛЕТИЯ . . 10
1. Лесопильная и столярно-мебельная промышленность . . . . . —
2. Фанерная промышленность 30
3. Лесохимическая промышленность 37
4. Целлулозно-бумажная промышленность 44

III. ДРЕВЕСИНА—КАК ТОПЛИВО 53
1. Общие свойства . . . . . —
2. Теплотворность древесины 57
3. Подготовка крупных отходов деревообработки для сжигания в топках котлов 62
4. Хранение древесных отходов и дробленки 68

IV. ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА 69
1. Общие положения . . . . . —
2. Сжигание опилок в топке 72
3. Топки для отходов деревообработки 74
4. Топки для сжигания дров 83
5. Прямая отдача 93

V. СООРУЖЕНИЕ ТЕПЛОСИЛОВОЙ СТАНЦИИ 95
1. Основные положения . . . . . —
2. Характеристические параметры теплосиловой станции 99
3. Общее устройство станции 102

VI. УСТРОЙСТВО КОТЕЛЬНОЙ 104

VII. УСПЕХИ КОТЕЛЬНОГО ДЕЛА 108

VIII. ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 112

IX. РАБОТА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ 116
1. Общая характеристика потерь . . . . . —
2. Потери от химического недожога 119
3. Потери от механического недожога 120
4. Потери от уноса 121
5. Потери от охлаждения обмуровки 122
6. Затраты тепла на обслуживание котла 123
7. Характеристика полезности котла 124
8. Тепловой баланс котельной установки 126

X. ПОДАЧА ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНУЮ 127

XI. ПОДГОТОВКА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ 133
1. Свойства питательной воды . . . . . —
2. Смягчение воды подогревом 137
3. Химическая очистка воды 138
4. Пермутитовый способ смягчения воды . . . . . —
5. Газоудаление 141

XII. ПОДОГРЕВ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ 143

XIII. ПИТАНИЕ КОТЛОВ 152

XIV. ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА 156

XV. ТЯГОВЫЕ УСТРОЙСТВА В КОТЕЛЬНОЙ 169

XVI. ЗОЛОУДАЛЕНИЕ 182

XVII. ЭКСПЛОАТАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ . . . 186
1. Эксплоатационные потери и их зависимость . . . . . —
2. Эксплоатационные надбавки 190

XVIII. ПАРОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ 194
1. Общие положения . . . . . —
2. Расчет паропроводов 195

3. Потеря давления в вентилях и коленах . . . 201
4. Схемы паропроводов . . . 203
5. Вспомогательные трубопроводы . . . 207
6. Уменьшение потерь тепла в паропроводах . . . 213
7. Отвод воды из паропроводов . . . 224

XIX. ПАРОВЫЕ МАШИНЫ . . . 228

XX. ПАРОВЫЕ МАШИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА . . . 236
1. Использование энергии в паровой машине . . . —
2. Применение паровых машин с использованием отработавшего пара . . . 239
3. Паровые машины с противодавлением . . . 242
4. Паровые машины с промежуточным отбором . . . 246

XXI. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ . . . 249

XXII. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА . . . 258
1. Паровые турбины с противодавлением . . . —
2. Паровые турбины Невского завода им. Ленина . . . 260
3. Турбины с отбором пара . . . 264
4. Паровые турбины зав. им. Кирова . . . 269

XXIII. ХОЛОДИЛЬНИКИ ПРИ ПАРОВЫХ МАШИНАХ И ТУРБИНАХ И ТРУБОПРОВОДЫ К НИМ . . . 274
Маслопроводы . . . 277

XXIV. ЛОКОМОБИЛИ . . . 278
1. Типы локомобилей и основы их устройства . . . —
2. Паровая машина локомобиля . . . 300
3. Смазка . . . 306
4. Установка локомобилей . . . 311
5. Использование теплового отброса локомобиля . . . 314
6. Использование отработавшего пара при противодавлении и пониженном разрежении . . . 317

XXV. ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ С ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ВНЕДРЕНИЕ ИХ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ . . . 319
1. Общие положения . . . —
2. Газогенераторные установки . . . 322
3. Сушка древесины генераторным газом . . . 327
4. Газогенераторная установка заводов „Юсна-Воксна“ (Швеция) . . . 329
5. Общесоюзный стандарт газовых двигателей . . . 333
6. Трубопроводы для силового газа . . . 335

XXVI. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ . . . 337
Сравнение локомобиля с другими двигателями . . . 348

XXVII. ТЕПЛОСОБИРАТЕЛИ ИЛИ АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛОТЫ . . . 353
1. Основные положения . . . —
2. Теплособиратель изменяющегося давления Рато (Rateau) . . . 357
3. Теплособиратель высокого давления с водяным наполнением „Рутс“ (Ruths) . . . 358
4. Расчет теплособирателя „Рутс“ (Ruths) . . . 361

XXVIII. СХЕМЫ УСТАНОВОК ТЕПЛОСОБИРАТЕЛЯ „РУТС“ (RUTHS) . . . 365
1. Силовые установки с использованием тепла для нагрева . . . 366
2. Силовые установки с расходом пара равным или меньшим расхода на обогрев . . . —
3. Установка с теплоиспользованием для варки . . . 367
4. Установка с несколькими ступенями давления . . . —
5. Применение теплособирателей . . . 368

XXIX. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СО СТОРОНЫ И ОТДАЧА ЕЕ НА СТОРОНУ В ТЕПЛОСИЛОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ . . . 374

XXX. СТАХАНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО . . . 376
Литературные источники . . . 384

ПРЕДИСЛОВИЕ

Небывалый рост производительности труда, вызванный стахановским движением, предъявляет особые требования к организации теплосилового хозяйства в производстве. Для развития стахановского движения и дальнейшего повышения производительности, необходимо выяснение всех производственных возможностей и выявление всех резервов, имеющихся в промышленном оборудовании.

Наименее изученным в этом отношении является „теплосиловое хозяйство“.

Рациональное ведение теплосиловых установок как для получения силовой энергии, так и тепловой для производства, технических, хозяйственных и бытовых нужд, даст возможность улучшить их использование.

Дореволюционная мелкая полукустарная деревообрабатывающая промышленность в настоящее время по плану двух пятилетий преобразовалась в крупную лесную индустрию с большими теплосиловыми установками.

Тем большее значение приобретает полное использование новоустановленных паровых котлов, машин, локомобилей и турбин для повышения производительности новых комбинированных предприятий деревообрабатывающей промышленности.

Если до настоящего времени очень часто теплосиловые установки в деревообрабатывающей промышленности заслонялись производственными устройствами, и работа их не привлекала к себе должного внимания, то с развитием стахановского движения энергетические установки должны выдвинуться вперед наравне с производственно-техническим оборудованием предприятий.

Ведь малейшая неисправность в работе теплосиловых установок может приостановить весь производственный процесс и подорвать рост производительности труда.

Деятельность инженера-теплотехника приобретает особое значение в деревообрабатывающей промышленности в силу ее особенностей. Инженер, возглавляющий деревообрабатывающее предприятие, и его сотрудники, непосредственно заведующие теплосиловыми установками, должны быть не только сведущими технологами, но и хорошо образованными теплотехниками.

Для этого еще при обучении в специальных учебных заведениях необходимо сосредоточить внимание будущих инженеров на вопросах теплосилового хозяйства. После прохождения общих курсов теплотехники, особенно необходимо обобщение всех полу-

ченных сведений с приложением их к вопросам производственного теплосилового хозяйства.

Настоящая книга предназначается для дипломантов и студентов старших курсов лесотехнических втузов и для молодых инженеров, работающих в теплосиловом хозяйстве.

Для продуктивной работы в указанной области необходимо ясное представление о тепловом хозяйстве деревообрабатывающей промышленности СССР в целом.

С этой целью в книге уделено место характеристике теплосилового хозяйства в деревообрабатывающей промышленности: что сделано в первое пятилетие и что осуществляется во второе.

Особенно подчеркнута необходимость использования отработавшего пара для производства в целях повышения полезности теплосиловых установок.

Все приведенные производственно-технические величины, характеризующие теплосиловые установки, взяты из современной технической литературы и собраны непосредственно из практики предприятий; на эти величины следует смотреть, как на временные, соответствующие определенному периоду нашего строительства.

Обращено особое внимание на возможность внедрения в теплосиловое хозяйство деревообрабатывающих предприятий газогенераторных установок, представляющих значительные выгоды.

В нашей технической литературе очень мало работ, разбирающих теплосиловое хозяйство в производстве. Однако, изучение этой важнейшей части промышленного хозяйства настоятельно необходимо, особенно в настоящее время в связи с развитием стахановского движения.

Автор

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие лесной промышленности и теплосиловое хозяйство [1]

I.

По плану второго пятилетия индустриализации СССР лесная промышленность в системе развивающегося народного хозяйства должна занять одно из первых мест. Усиленное развитие лесной промышленности объясняется не только тем, что лес служит источником сырья для ряда отраслей промышленности, но, в особенности, потребностью в древесине, как строительном материале. Лес дает один из важнейших видов топлива, значение которого в энергетическом балансе понижается во втором пятилетии, но все же сохраняет в нем значительное место, что видно из таблицы 1.

Таблица 1

Виды топлива	1913 г.	1927/28 г.	1932 г.	1937 г.
Дрова — как промышленное техническое топливо	25,2	17,4	14,5	9,6
Торф	1,4	3,8	5,4	5,2
Сланцы	—	—	0,1	0,4
Каменный уголь	54,5	60,5	60,3	66,6
Нефтетопливо	18,9	18,3	19,7	18,2
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0

В развитии лесозаготовок для промышленных и строительных потребностей народного хозяйства приобретают особое значение районы с большими лесными массивами, где лесная промышленность не получила до сих пор развития, соответствующего богатству запасов древесины. Эти районы: Северная область, Автономная Карельская ССР, Горьковская область, Свердловская область, Западно-Сибирский край, Восточно-Сибирская область и Дальне-Восточный край. Значение этих районов в лесной промышленности, равное 46,8% в 1932 г., возрастает в 1937 г. до 57,1%. Вместе с тем, значение центральных областей с развитой деревообрабатывающей промы-

[1] Составлено по материалам плана II пятилетки развития народного хозяйства СССР.

шленностью понижается во втором пятилетии, в связи с уменьшением запасов древесины в лесах и установлением водоохранной зоны. Эти области: Московская, Западная, Воронежская, Саратовская, Украинская ССР и Белорусская ССР давали в 1932 г. 29,4% выработки древесины, а в 1937 г.—дадут 18,0%.

В развитии лесной промышленности повышается значение районов, богатых ценными породами: Северо-Кавказского края, Азово-Черноморского и Грузинской, Армянской и Азербайджанской ССР, в которых выработка древесины увеличивается в 2,5—2,7 раза; увеличиваются лесозаготовки в 6,7 раза в Якутской Автономной ССР. С увеличением потребности в деловой древесине производство ее повышается с 99,4 млн. м³ в 1932 г. до 170,0 млн. м³ в 1937 г., что составляет возрастание на 71%. Продукция лесопиления и деревообработки возрастает на 78,1% в 1937 г., по сравнению с 1932 г. Бумажная промышленность в течение второго пятилетия израсходует деловой древесины вдвое больше, чем в первое пятилетие. Кроме того, горная промышленность использует в 1937 г. крепежной древесины в 3,5 раза больше, чем в 1932 г. Одновременно возрастает выработка пиломатериалов: с 24,41 млн. м³ в 1932 г. до 43 млн. м³ в 1937 г., что составляет увеличение на 76%. Наркомлес увеличивает производство пиломатериалов с 15,4 млн. м³ в 1932 г. до 28,5 млн. м³ в 1937 г.,—повышение на 85,7%.

По плану второго пятилетия лесная промышленность перемещается на северо-восток европейской части СССР и вместе с тем усиливается использование лесов Сибири и Д.В.К., что изменяет значение отдельных лесопромышленных районов в производстве пиломатериалов.

Для расширения фанерной промышленности в течение второго пятилетия предположено построить 12 фанерных заводов на 36 агрегатов с производительностью 400 тыс. м³ клеевой фанеры; из этих заводов будет введено в работу шесть, которые выпустят в 1937 г. до 140 тыс. м³ клеевой фанеры. Производство же фанеры будет увеличено до 735 тыс. м³ в 1937 г. против 423 тыс. м³, что составит повышение—74%.

В деревообработке предположено к выпуску в 1937 г. 2080 тыс. м³ ящичных комплектов против 879 тыс. м³ в 1932 г., увеличение на 137%. Вместе с тем будет выпущено клепки 1049 тыс. м³ против 223 тыс. м³ в 1932 г., что составит повышение в 4,7 раза. В мебельной промышленности предположено строительство ряда мебельно-сборочных фабрик с выпуском изделий по Наркомлесу до 250 млн. руб. в 1937 г. против 73,9 млн. руб. в 1932 г. Лесная кооперация даст мебели в 1937 г. на 200 млн. руб. против 109,5 млн. руб. в 1932 г. Всего капиталовложений в промышленно-заводское строительство Наркомлеса во второе пятилетие было намечено на сумму 1140 млн. руб.

Бумажная промышленность во втором пятилетии должна быть расширена так, чтобы производство увеличилось с 471,2 тыс. т до 1 млн. т, т. е. на 112,2%, что вызовет увеличение выработки с 437,4 тыс. т до 956 тыс. т. Производство культурных сортов бумаги в предприятиях Наркомлеса возрастает во вторую пятилетку с 277,2 до 585 тыс. т или на 111%.

Для выполнения намеченной программы выпуска 1 млн. т в 1937 г. необходимо переустройство существующих фабрик, которые дадут 650 тыс. т бумаги, и усиление теплосилового хозяйства. Остающуюся часть—350 тыс. т дадут новостроящиеся фабрики. Предположено выстроить новые бумажные фабрики в Свердловской области, Карельской АССР, Горьковской и Северной областях. Бумажная промышленность размещается в новых районах СССР, богатых сырьем, которые до сих пор слабо разрабатывались или даже вовсе не были тронуты.

Бумажная промышленность должна быть организована так, чтобы весь производственный процесс протекал в объединенном предприятии, начиная с выработки основного сырья и до выпуска изделий в законченной форме. Основу бумажной промышленности образуют следующие крупные фабрики: Балахнинский комбинат на Волге с производством 115 тыс. т газетной бумаги в год и Камский комбинат—92 тыс. т. Во втором пятилетии бумажная промышленность получает следующие крупные предприятия—комбинаты: Красноярский (64,5 тыс. т), Усть-Ветлужский (60 тыс. т), Чулымский (55 тыс. т) и Уфимский (63 тыс. т).

За второе пятилетие вырастает лесохимическая промышленность. План развития этой отрасли народного хозяйства намечает увеличение выработки с 59,5 до 162 млн. руб.—на 173,4%. Перед лесохимической промышленностью ставится задача большого производственного значения—использование отходов лесосечной, лесопильной древесины и пневого осмола. Капитальные затраты в лесохимическую промышленность в течение второго пятилетия определены в размере 214 млн. руб.

Во втором пятилетии деревообрабатывающая промышленность размещается на северо-востоке СССР в новых лесных районах, богатых запасами лесного сырья. Новые предприятия строятся, как мощные комбинаты различных отраслей лесной промышленности.

В деревообрабатывающей промышленности объединение различных отраслей ее приобретает особое значение, так как только в комбинированном производстве возможно рациональное промышленное использование отходов, которые в деревообработке достигают колоссальных размеров. Использование отходов деревообработки в бумажной или лесохимической промышленности повышает процент использования древесины, снятой с корня, с 40 до 80%.

Организация комбинированного предприятия в лесной промышленности на основе единого источника сырья—древесины—вызывает необходимость организации общего теплосилового хозяйства. Общая теплосиловая станция комбината деревообрабатывающих производств наивыгоднейшим образом использует колоссальные количества отходов, которых не в состоянии использовать полностью лесохимическая промышленность, для производства энергии и технологического пара.

II. ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К 1933—1934 гг.—НАЧАЛУ ВТОРОГО ПЯТИЛЕТИЯ

1. Лесопильная и столярно-мебельная промышленность

Деревообрабатывающая промышленность в главнейшей части предприятий находится в ведении Наркомлеса, и только сравнительно небольшая часть их подчинена другим ведомствам, а потому изучение энергооборудования первых предприятий и показателей его работы может характеризовать состояние деревообрабатывающей промышленности в СССР вообще. По материалам, собранным „Бюро экономических исследований лесной промышленности при Наркомлесе СССР", можно получить представление о размерах и характере теплосилового хозяйства во всех отраслях деревообрабатывающей промышленности. Статистические материалы по теплосиловому хозяйству охватывают предприятия следующих отраслей деревообрабатывающей промышленности: лесопильной, мебельной, фанерной, бумажной и лесохимической, к 1933—1934 гг.,—к началу второго пятилетия,—после первого пятилетия, когда определились основные направления развития лесной промышленности вообще.

В таблице 2 даны сведения по районам СССР и производственным объединениям, называвшимся ранее „Союзлесоэкспорт", „Союзлесдрев" и „Союзмебель", ныне переименованные в Главные Управления соответствующих отраслей промышленности: лесопиления и деревообработки, лесоэкспортных заводов, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности. Материал охватывает предприятия 19 районов и двух производственных объединений: „Союзлесотара" и „Лесгортоп".

Наиболее характерная величина для размеров лесопильной промышленности в районе—количество рам, установленных в нем. По этому признаку первое место занимает Северная область—191 рама в 33 лесопильных заводах; второе место—Саратовская и Сталинградская области—148 рам в 46 предприятиях; третье—принадлежит Автономной Карельской ССР—85 рам в 14 лесопильных заводах; четвертое место занимает Горьковская область—74 рамы в 32 лесопильных заводах; пятое—УССР—70 рам и 27 лесопильных заводов; шестое—Ленинградская область—66 рам и 19 лесопильных заводов; седьмое—Ивановская область—62 рамы в 24 предприятиях; восьмое—Свердловская и Челябинская области—54 рамы в 15 предприятиях; девятое—Восточно-Сибирская область—53 рамы в 16 предприятиях; десятое—БССР—48 рам в 13 предприятиях. Далее идут области с предприятиями при меньшем количестве рам, обслуживающие местные нужды. Но для качественной оценки лесопильного производства перечисленных в таблице 2 районов СССР необходимо внести еще один признак, а именно—количество рам в одном предприятии. Этот признак обнаруживает истинное промышленное значение того или другого района в деревообрабатывающей промышленности.

В связи с установлением этого признака положение районов изменяется в порядке промышленного значения. Тогда первое место займет Северная область 6,8—рамы, второе—АКССР—6 рам; третье—БССР—3,7 рамы; четвертое—Уральская область—3,6 рамы; пятое—Ленинградская область—3,5 рамы; шестое—Восточно-Сибирская область—3,3 рамы; седьмое—Нижневолжский край—3,2 рамы; восьмое—область Коми—3 рамы. В остальных районах количество рам на одно предприятие колеблется от 2,6 до 1,35.

Теплосиловое хозяйство Главного Управления лесопиления и деревообработки и лесоэкспортных заводов обладает весьма разнообразным составом машин двигателей: паровых турбин—17 с мощностью 16 290 квт, что на одну турбину составит, в среднем,—958 квт. Такие турбины должны быть отнесены к турбинам небольшим и их мощность около 1000 квт характерна для нынешнего состояния деревообрабатывающей промышленности, как промышленности с предприятиями малых размеров и малоэнергоемкой. Такая сравнительно малая мощность турбинных установок объясняется самым характером нынешних деревообрабатывающих предприятий в определенных районах, представляющих один цех—лесопильный. Турбинные установки имеются в Северной области в мезенской группе лесопильных заводов, где установлены две паровые турбины по 1000 квт.

В Ленинградской катушечной фабрике имеется турбинная установка с тремя турбинами (две турбины 800 квт и 550 квт) с общей мощностью 2150 квт, которые не только обслуживают нужды фабрики силовой энергией, но и избыток таковой отдают в городскую сеть „Ленэнерго". Вместе с тем, эти турбины путем отбора снабжают паром производство для сушки и отопления.

Еще имеется установка турбин в предприятиях Кареллеса—две турбины на 1450 квт; три турбины установлены в Горьковской области на 1880 квт, в Сталинграде две турбины на 2600 квт; в Уралдреве—1 турбина 1650 квт и в Белдреве—4 турбины на 4560 квт. Наиболее мощная турбина—в 1650 квт. При современных мощностях паровых турбин в одной машине такая турбина для производства должна быть признана турбиной средней мощности, на границе с малыми. Эти паровые турбины, установленные на заводских станциях, обслуживают нужды производства непосредственно при заводах. Для обслуживания группы лесопильных заводов, расположенных в районе Архангельска, в ведение Наркомлеса передана с 1934 г. районная станция с мощностью 6600 л. с. при двух турбогенераторах, с четырьмя паровыми котлами с общей поверхностью нагрева в 1600 м². В таблице 3 дан состав силового оборудования по промышленным объединениям.

Таблица 2

Основное энергооборудование лесопильной и деревообрабатывающей промышленности Наркомлеса (Союзлесоэкспорт, Союзлесдрев, Союзмебель) на 1 января 1934 г.

Наименование районов и предприятий	Число рам	Первичные двигатели: Паровые турбины		Паровые машины		Локомобили		Двиг. внутрен. горен.		Водяные двигатели		Всего двигателей		Паровые котлы		Примечание
		Число	Мощность квт.	Число	Мощность квт.	Число	Мощность квт.	Число	Мощность квт.	Число	Мощность квт.	Число	Мощность квт.	Число	Поверхность нагр. м²	
Северная область																
Архангельский завод	130	—	—	32	6 040	4	1 200	—	—	—	—	36	7 240	62	6 255	В 1934 г. перешла в ведение Наркомлеса Районная Архангельская станция мощностью 6600 л. с., имеющая 2 турбогенератора и 4 паровых котла поверхностью нагрева 1600 м²
Онежская группа	23	—	—	8	1 475	3	1 036	—	—	—	—	11	2 511	13	1 879	
Вологодская группа	22	—	—	13	1 037	3	132	—	—	—	—	16	1 169	12	1 585	
Мезенская группа	12	2	2 000	5	327	—	—	—	—	—	—	7	2 327	7	1 377	
Печерская группа	4	—	—	1	13	3	290	—	—	—	—	4	303	2	96	
Итого	191	2	2 000	59	8 892	13	2 658	—	—	—	—	74	23 550	96	11 192	
Авт. ССР Коми																
Сыктывкарский завод	3	—	—	—	—	2	340	—	—	—	—	2	340	2	87	
Ленинградская область																
Севзаплес	66	—	—	30	2 626	16	2 916	—	—	—	—	46	5 542	44	5 325	4 мебельные фабрики имеют только котельное хозяйство
Союзмебель																
Лендревтрест	8	3	2 150	3	254	—	—	—	—	—	—	6	2 404	12	1 790	
Итого	66	3	2 150	33	2 880	16	2 916	—	—	—	—	52	7 946	56	7 115	
Авт. Карельская ССР																
Карелдрев	85	2	1 450	23	4 421	3	540	—	—	2	62,5	30	6 473,5	45	5 236,2	
Московская область																
Союзлесдрев																
Мослесспром	22	—	—	7	400	10	730	—	—	—	—	17	1 130	10	1 348	
Союзмебель																
Мосмебель	3	—	—	—	—	2	45	—	—	—	—	2	45	18	1 313	
Итого	22	—	—	7	400	12	775	—	—	2	—	19	1 175	28	3 161	
Ивановская область																
Союзлесдрев																
Ивдрев	62	—	—	37	3 144,7	18	756,4	2	26,8	—	—	57	3 927,9	19	2 438	

Наименование районов и предприятий	Число рам	Первичные двигатели: Паровые турбины		Паровые машины		Локомобили		Двиг. внутрен. горен.		Водяные двигатели		Всего двигателей		Паровые котлы		Примечание
		Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Поверхность нагр. м²	
Горьковская область																
Союзлесдрев																
Горьдрев	49	3	1 880	13	896	17	150	1	37	—	—	34	2 963	26	2 030	
Чувашдрев	25	—	—	7	93	10	600	—	—	—	—	17	693	5	480	
Итого по Горьковской области	74	3	1 880	20	989	27	750	1	37	—	—	51	3 656	31	2 510	
Сталинградская область																
Всего	54	2	2 600	13	612	2	96	—	—	—	—	17	3 308	22	2 807	
В том числе:																
Ельшанская группа	29	2	2 600	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2 600	7	1 750	
Городская группа заводов	12	—	—	6	250	—	—	—	—	—	—	6	250	6	455	+ эл.-энергия 1,74 млн. квт/ч.
Бекетовская группа заводов	13	—	—	7	362	2	96	—	—	—	—	9	458	9	602	
Союзлесдрев																
Волгокаспийлес	94	—	—	27	2 020	6	534	8	104	—	—	41	2 658	33	2 632	+ эл. энергия 2,55 млн. квт/ч.
Итого по Сталинградской области	148	2	2 600	40	2 634	8	630	8	104	—	—	58	5 966	55	5 439	
Татарская АССР																
Союзлесдрев																
Татдрев	14	—	—	6	269	4	260	1	18	—	—	11	547	9	668	
Свердловская и Челябинская области																
Союзлесдрев																
Уралдрев	54	1	1 650	11	2 533	8	620	1	176	—	—	21	4 979	19	4 341	
Башкирская АССР																
Союзлесдрев																
Южн. Уралдрев	24	—	—	5	391	11	572	2	29	1	58,8	19	1 050,8	8	470	
БССР																
Союзлесдрев																
Белдрев	48	4	4 560	14	1 110	7	1 086	—	—	—	—	25	6 756	26	4 036	
УССР																
Союзлесдрев																
Укрдрев	70	—	—	33	1 409	38	1 892	2	28	—	—	73	3 329	59	3 008	

Наименование районов и предприятий	Число рам	Первичные двигатели: Паровые турбины		Паровые машины		Локомобили		Двиг. внутрен. горен.		Водяные двигатели		Всего двигателей		Паровые котлы		Примечание
		Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Поверхность нагр. м²	
Союзмебель																
Укрмебель	—	—	—	6	477	1	44	—	—	—	—	7	521	13	1 118	
Итого УССР	70	—	—	39	1 886	39	1 936	2	28	—	—	80	3 850	72	4 126	
Зап.-Сибирск. край																
Союзлесдрев																
Запсибдрев	37	—	—	9	449	16	1 665	11	143	—	—	36	2 257	22	1 233	
Вост.-Сибирск. область																
Союзлесдрев	9	—	—	4	665	2	370	—	—	—	—	6	1 035	6	600	
Востсибдрев	44	—	—	18	1 000	16	1 180	14	170	—	—	48	2 350	24	3 092	
Итого по Вост.-Сиб. краю	53	—	—	22	1 665	18	1 550	14	170	—	—	54	3 385	30	3 692	
ДВК																
Дальдрев	36	—	—	10	342	27	2 509	—	—	—	—	37	2 851	33	1 274	
Сев. Кавказ																
Союзлесдрев																
Севкавдрев	17	—	—	—	—	4	400	—	—	2	80	6	480	2	150	
Союзмебель																
Севкавмебель	—	—	—	1	100	3	554	—	—	—	—	4	654	6	517	
Итого по Сев.-Кавк.	17	—	—	1	100	7	954	—	—	2	80	10	1 134	8	667	
Азербайджанская, Грузинская и Армянская ССР																
Союзлесдрев																
Грузлесдрев	18	—	—	—	—	10	1 720	—	—	—	—	10	1 720	3	192	
Союзмебель	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	168,2	
Итого	18	—	—	—	—	10	1 720	—	—	—	—	10	1 720	10	360,2	

Наименование районов и предприятий	Число рам	Первичные двигатели: Паровые турбины		Паровые машины		Локомобили		Двиг. внутрен. горен.		Водяные двигатели		Всего двигателей		Паровые котлы		Примечание
		Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Поверхность нагр. м²	
Воронежская и Курская области																
Союзлесдрев																
Лесдрев	27	—	—	7	163,4	23	1 025	10	92	—	—	40	1 280	4	883	
Союзлесотара (в 7 районах)	34	—	—	14	850	4	493,[illegible]	—	—	—	—	18	1 343,5	15	1 648	
Лесгортоп (в 3 районах)	9	—	—	4	380	6	358	—	—	—	—	10	738	3	—548	
Всего	1 092	17	16 290	361	33 137,1	279	24113,[illegible]	52	823,8	5	201,3	714	74 566,1	591	61 024,4	

Таблица 3

Состав силового оборудования

Наименование объединений	Паров. турбины: Число	Мощность квт	Проц. по мощности	Паров. машины: Число	Мощность квт	Проц. по мощности	Локомобили: Число	Мощность квт	Проц. по мощности	Двиг. внутрен. горения: Число	Мощность квт	Проц. по мощности	Водяные двигатели: Число	Мощность квт	Проц. по мощности	Итого двигателей: Число	Мощность квт	Проц. по мощности
Главлесдрев																		
Число заводов 358	14	14 140	44,3	351	32 306,1	91,9	273	23 470,9	66,0	52	823,8	2,2	5	201,5	0,6	695	70 942,1	100
Союзлесмебель																		
Число фабрик 27	.	2 150	59,3	10	831	22,9	6	643	17,8	—	—	—	—	—	—	19	3 624	100
Итого	17	16 290	—	361	33 137,1	—	279	24 113,9	—	52	823,8	—	5	201,5	—	714	74 566	—

Деревообрабатывающие предприятия, имеющие турбоустановки, являются наиболее крупными по тем масштабам, которые существовали до второго пятилетия.

Следующую группу составляют предприятия, имеющие паровые двигатели — паровые машины и локомобили. Эти группы наибольшие по количеству установленных машин и по их мощности. Всего в этой группе машин 640 при мощности 57 251 квт. Из них паровых машин — 361 с 33 137,1 квт и локомобилей — 279 с 24 113,9 квт. Средняя мощность паровых машин — 89,5 квт и локомобилей — 86,5 квт и общая средняя мощность — по этой группе 88 квт, так что и та и другая мало отличаются между собой. Для паровых установок можно считать среднюю—90 квт или 122,4 л. с., что характеризует сравнительно малые установки. Число двигателей внутреннего горения 52 с мощностью 823,8,—что дает на один двигатель 15,8 квт или 23,5 л. с. Такая, сравнительно малая, мощность на один двигатель дает основание предполагать, что это нефтяные двигатели низкого сжатия, имеющие подсобное назначение для ремонтных мастерских в лесопильном производстве. И совсем малое количество водяных двигателей — всего 5 установок с мощностью 201,3 квт, в среднем, по 40 квт, имеющие только местное значение. Из всего количества двигателей составляют:

	По числу проц. всех двигателей	По общей мощности проц.
Паровые турбины	2,36	21,60
Паровые машины	51,04	45,01
Локомобили	38,69	32,02
Двигатели внутр. горения	7,21	1,09
Водяные турбины	0,70	0,28
Итого	100%	100%

Как видно из этих данных, наибольшее значение имеют группы паровых машин с локомобилями; по числу они составляют 89,73% и по мощности—77,03%, тогда как паровые турбины по числу—2,31%, но по мощности они составляют 21,6%, т. е. это двигатели более крупных новых предприятий, сооруженных, главным образом, в первое пятилетие. Паровые машины, преобладающие в теплосиловых установках лесопильных заводов, в настоящее время не строятся для стационарных установок, а потому можно высказать предположение, что эти машины — устаревшие и имеют возраст не менее 20—25 лет. Точно так же и локомобили в значительном большинстве старые, так как единственный завод, занимающийся построением локомобилей—Людиновский, не может снабдить новыми машинами деревообрабатывающие предприятия в виду громадного спроса на локомобили не только деревообрабатывающей промышленности, но и сельского хозяйства.

Количество котлов в лесопильных и столярно-мебельных предприятиях 591 при общей поверхности нагрева 61 024,4 м², в среднем, на 1 котел—103,2 м², а на одно предприятие поверхность нагрева—158,5 м².

Таблица 4

Основные энергетические показатели по деревообрабатывающей промышленности

Название объединения	Мощность двигателей—квт			Поверхность нагрева котлов м²	
	на одно предприятие	на один двигатель	на одну лесопильную раму	на одно предприятие	на один котел
Союзлесоэкспорт	352	156	74,5	281	106,5
Союзлесдрев	143	70	58	110	101
Союзмебель	134	190	—	200	96,5

Значение величины поверхности нагрева котлов соответствует среднему значению величины паровых машин в предприятиях деревообработки.

Но при рассмотрении отдельных отраслей деревообрабатывающей промышленности устанавливается значение отраслей лесопиления по группе экспортных заводов и заводов, обслуживающих внутренние потребности страны. В таблице 4 приведены „основные энергетические показатели по деревообрабатывающей промышленности“. На одно предприятие по Главному Управлению экспортных заводов приходится мощности 352 квт и на один двигатель 156 квт и по лесопилению мощность на одно предприятие—143 квт и на один двигатель—58 квт. Вместе с тем, на раму в экспортных заводах — 74,5 квт или 101 л. с., тогда как по Союзлесдреву на одну раму приходится 58 квт или 78,9 л. с. Мощность экспортного предприятия превышает мощность обычных заводов, которая составляет только 40% первой, да и расход мощности на раму составляет 77%. Величина поверхности нагрева котлов во всех лесопильных предприятиях мало отличается. Это указывает на то, что до настоящего времени лесопильные и мебельные предприятия оборудованы котлами простейших типов: например, жаротрубными и водотрубными.

Лесопильные заводы получали технологический пар от собственных теплосиловых установок. Количество пара, потраченное на технологические нужды в 1933 г., было 660,9 тыс. т. На одно предприятие по группе экспортных заводов израсходовано технологического пара 2,86 тыс. т; по лесопильным—0,92 тыс. т и по мебельным — 5,5 тыс. т.

В таблице 5 дана сводка по основному оборудованию теплосиловых станций лесопильных и мебельных фабрик, расход электроэнергии и пара.

Таблица 5

Название отраслей промышленности	Установленная мощность первичных двигателей—квт на 1/I 1933 г.		Общая поверхность нагрева паровых котлов м²		Выработка энергии на собственных установках млн. квт/ч.	Получено эл. энергии со стороны млн. квт/ч.	Отпуск электроэнергии на сторону млн. квт/ч.	Полное потребление электроэнергии млн. квт/ч.	Потребление технологического пара тыс. т
	на всех предприятиях	на одном предприятии	на всех предприятиях	на одном предприятии					
Главлесдрев	70 882,1	494	45 618	391	187,39	60,90	10,1	138,19	512,4
Союзмебель	3 624	134	5 406	200	11,11	8,26	4,80	14,57	148,5
Всего . . .	74 566,11	—	61 024	—	198,50	69,16	14,90	252,76	660,9

Характеристикой более мощного оборудования и большого совершенства технологического процесса в предприятиях Лесоэкспорта служит повышенный расход технологического пара на 1 раму, который расходуется в лесопильном производстве, главным образом, на сушку—0,6 тыс. т, тогда как по лесопильным заводам Союзлесдрева—0,38 тыс. т.

Деревообрабатывающая промышленность СССР в той части, которая сохранилась от дореволюционного времени, обладает мелкими силовыми установками, которые состоят, главным образом, из паровых машин и устарелых корнвалийских, ланкаширских и водотрубных котлов также устарелых типов. Наиболее значительный по своей деревообрабатывающей промышленности—Архангельский район на 21 заводе имеет 32 паровые машины с мощностью в 6040 л. с.; в среднем, на установку приходится 189 л. с. Паровые машины, применяемые для освещения, имеют совсем малую мощность—до 25 л. с. Котельные установки упомянутых выше лесопильных заводов, состоящие из старых корнвалийских и ланкаширских котлов, имеют общую поверхность нагрева 11 990 м² и давление от 7—8 кг/см². Среди них находятся котлы, установленные до 1900 г.

Не лучше обстоит дело в отношении теплосилового хозяйства деревообрабатывающих предприятий в Ленинградской области. Трест Севзаплес, обслуживающий лесопильную промышленность Ленинградской области, имеет 19 лесопильных заводов. Котельное хозяйство этих заводов состоит из 44 котлов с поверхностью нагрева 5325 м², что, в среднем, дает на 1 котел 121 м². По годам производства и возрасту котлы делятся на следующие группы (таблица 6):

Таблица 6

Год производства	Возраст котлов	Число котлов
До 1899	35 лет и выше	5
1903—1910	31—24	9
1911—1914	23—23	11
1923—1928	11— 6	8
1930—1931	4— 3	8

Самый старый котел построен в 1894 г. В 1931 г. построены 3 котла; неизвестного возраста—два водотрубные котла и локомобиль. Распределение котлов дано в таблице 7 по системам.

Таблица 7

Система котлов	Полное количество	Год производства	Количество котлов по годам
Батарейный	1	1911	1
Корнвалийский	2	1911	2
Ланкаширский	7	1894	1
		1905	2
		1911	1
		1928	2
		1930	1
Газотрубный	3	1912	1
		1924	2
Водотрубный	15	1898	3
		1899	1
		1907	1
		1908	1
		1909	1
		1912	1
		1913	3
		1930	2
		Неизвестный	2

По давлению котлы распределяются так (таблица 8):

Таблица 8

Давление $\frac{кг}{см^2}$ ман.	4	6	7	8—8,5	9	10—10,5	12	15
Число котлов	1	1	2	9	2	11	11	7

По времени установки, после выпуска котлов из производства котлы распределяются следующим образом (таблица 9).

Таблица 9

Время установки после производства	Число котлов
В тот же год, через год, два, три .	24
Через 6 лет	1
Через 13—17 лет	6
Через 29 лет	4
Не указано	9

Силовые установки Севзаплеса имеют мощность:

Паровых машин	3 570 л. с.
Локомобилей	3 966 л. с.
Всего	7 536 л. с.

В среднем, на установку—около 395 л. с.

Рассмотренные предприятия несколько крупнее архангельских, но все же оборудование их не лучше как по возрасту, так и по типу, и отличается только по давлению. Можно полагать, что и все энергетическое оборудование лесопильных заводов деревообрабатывающей промышленности в части, унаследованной от дореволюционного времени, совершенно не соответствует современным требованиям, которые предъявлены к ней развитием народного хозяйства во второе пятилетие. На 1/I 1930 г. числилось 357 лесопильных заводов с 965 рамами (без УССР), в среднем, на одно предприятие приходится 2,7 рамы; во второе пятилетие должно быть построено 69 лесопильных заводов, рам—338 и, в среднем, на одно предприятие—4,9 рамы. Размер лесопильных заводов возрастает, и дореволюционный завод, в среднем, составлял 55% современного.

Мощность, необходимая для новых лесопильных заводов, с внешним и внутренним обслуживанием транспортных средств, с освещением заводской усадьбы и поселка определяется, полагая на 1 раму 115 л. с., — в среднем, 663,5 л. с. Для полного снабжения энергией все новостроящиеся лесопильные заводы второго пятилетия потребуют 45 885 л. с.

С ростом деревообрабатывающей промышленности и усложнением производственного процесса, который, вследствие экономического развития СССР, не может закончиться на изготовлении необработанных изделий или полуизделиях, промышленные предприятия—деревокомбинаты повышают расход пара и энергии.

В настоящее время расход электроэнергии в лесопильных заводах составляет до 20 квт-час/м³ пиломатериалов. Расход энергии в фанерных и столярных фабриках на изделия колеблется от 100 до 125 квт-час/м³. Расход пара для сушки пиломатериалов составляет 0,6 — 0,7 т/м³ и в фанерном производстве — 2,5 т/м³.

В лесопильных заводах малой и средней производительности применяют, главным образом, паровые машины и локомобили, а при мощности выше 600—700 л. с.—и паровые турбины. Давление пара перед машиной принимают 25 кг/см² и выше в случае установки паровых машин и турбин больших мощностей. Вместе с тем, для больших машин применяется перегретый пар, и в последнее время в американских теплосиловых установках в деревообрабатывающих предприятиях находит применение промежуточный перегрев пара.

Паровые машины и турбины имеют отбор пара для технологических нужд и снабжаются конденсационной установкой.

Установка паровой машины имеет следующий тепловой баланс: при 100% тепла, полученных из топлива, потери в котле составляют 10%; потери тепла с уходящими газами в дымовой трубе—15%; потери тепла в трубопроводе—2%; механические потери в машине—5%; потеря тепла в отработавшем паре—56%; полезно используется на превращение в работу в машине—12%.

При использовании отходов в топках котлов из 1 кг лесопильных отходов получается от 2 до 3 кг пара, в зависимости от влажности топлива и полезности топки. При производстве механической энергии расход топлива от 1,5—2,5 кг/л. с.-час и при совместном использовании пара для механической и тепловой энергии от 2,5—5 кг/л. с.-час.

В новейших паровых машинах с конденсационной установкой расход пара изменяется от 4—6 кг/л. с.-час. В машинах с отбором и противодавлением расход пара изменяется в зависимости от давления пара перед цилиндром и противодавления (см. гл. XXIII, 3).

На 1 м³ кругляка получается 100—150 кг отходов, из которых опилки составляют 80—100 кг; расход топлива на 1 м³ пиловочника в установках без использования отработавшего пара составляет 30—50 кг и при отборе пара или противодавлении 50—100 кг. Приближенно можно считать, что из 1000 кал. теплотворности топлива можно получить 1 кг пара.

Приведенные расходные показатели[1] относятся к новейшим машинам, тогда как старые машины требуют значительно больше пара. В лесопильной промышленности СССР до сих пор еще имеются устарелые паровые машины, которые совершенно не соответствуют требованиям социалистической промышленности СССР. Развитие промышленности СССР, вообще, потребует усиления производительности лесопильных заводов, и паровые машины устаре-

[1] Braunshirn. Das Sägewerk.

лых типов будут заменены новейшими типами паровых машин высокого давления, работающих перегретым паром, которые снизят расход его.

Предприятия столярно-мебельного производства получают необходимую тепловую энергию чаще всего от котельных установок, устраиваемых в пределах предприятия; потребность в электрической энергии для привода станков и освещения удовлетворяется со стороны.

Столярно-механические фабрики, располагающиеся в больших промышленных центрах, пользуются током с районных центральных станций или больших электростанций соседних предприятий. Теплосиловое хозяйство рассматриваемых предприятий характеризуют основные величины:

1) Удельный расход электрической энергии на 1 м³ перерабатываемого сырья или на 1 м³ изделий.

2) Удельный расход пара для производства и хозяйственных нужд фабрики, как-то: на технологические процессы, сушку, отопление и вентиляцию.

3) Удельное количество располагаемого тепла в отходах производства, используемых в виде топлива.

Снабжение теплом и энергией столярно-мебельной фабрики может быть осуществлено одним из следующих способов:

1) Электрическая энергия получается от местной районной станции или большой электростанции соседнего предприятия. Пар дает собственная котельная установка низкого давления. Это наиболее часто встречающийся случай.

2) Электрическая энергия и пар для фабрики получаются со стороны.

3) Столярно-мебельная фабрика получает электрическую энергию и пар от собственной теплосиловой станции.

Второй случай, сравнительно реже встречающийся, так как возможность его осуществления обусловливается близостью теплосиловой станции, которая могла бы полностью обеспечить фабрику энергией и паром, и вместе с тем явилась бы потребительницей всех отходов, даваемых фабрикой.

Третий случай встречается еще реже: устройство своей теплосиловой станции было бы экономически невыгодно, так как столярно-мебельное производство принадлежит к числу мало энергоемких производств, не требующих одновременно большой затраты работы, но, с другой стороны, требующее большого количества пара для производства и других технических нужд.

Для фабрики, перерабатывающей 30 000 м³ сырья в год, необходимая мощность составит: 30 000 . 0,021 = 630 квт или 856 л. с., что для деревообрабатывающих предприятий представляет довольно значительную мощность, хотя, вообще, такая установка была бы все же сравнительно небольшой, дающей дорогую энергию. Здесь 0,021 квт/м³ — удельный максимум нагрузки на 1 м³ перерабатываемого сырья, определенный обследованием [1] существующих фабрик с поправками для новых станций.

[1] Материалы обследования предоставлены проф. В. Н. Михайловым.

Расход электрической энергии в столярно-мебельном производстве, в среднем, составляет 50 квт-час/м³ перерабатываемого сырья, но из этой величины 10 квт-час надо отнести на освещение. Такой сравнительно большой осветительный расход определяется условиями производства, располагающего значительным количеством мелких станков и разнообразием производственно-технических операций.

Новостроящиеся столярно-мебельные предприятия расходуют большое количество энергии, так как в настоящее время постановлениями охраны труда повышены нормы освещенности мастерских столярно-мебельной промышленности; точно так же усилено действие пневматических транспортных устройств, удаляющих отходы обработки древесины как крупные, так и мелкие, вредящие здоровью рабочих. Принимая во внимание эти требования, расход электрической энергии составляет 90 квт-час/м³ перерабатываемого сырья.

Удельный расход пара на производство и вентиляцию определяется в 1,36 т/м³ сырья по производственному обследованию столярно-мебельной промышленности.

Количество отходов при переработке древесины в мебельно-столярном производстве изменяется от 45 до 61%.

Производство стульев дает большое количество отходов, так на 1 м³ сырья по одной мебельной фабрике количество отходов равно 65—70%.

Влажность отходов мебельного производства колеблется от 10 до 45%.

В среднем, можно принять количество отходов 54% и влажность их—30%.

Расход энергии на технические нужды на 1 м³ плотной массы перерабатываемой древесины определяется по работе ленинградских фабрик от 35 до 40 квт-час, а на освещение—от 8 до 11 квт-час.

Расход электроэнергии в сушилах может быть принят 15 квт-час/м³ перерабатываемого сырья (начальная влажность 80% и конечная—9%.[1] Принимая во внимание, что сырье, поступающее в производство, имеет меньшую влажность, вообще, от 45 до 55% и реже 60%, а приведенный выше процент составляет исключение, расход энергии на вентиляцию сушил должен быть понижен в соответствии с действительным количеством влажности, тогда получится от 10 до 13 квт-час/м³ перерабатываемого сырья.

Удельный расход электроэнергии на технические потребности в новых предприятиях должен быть значительно повышен, предположительно на 30%. По данным проектных организаций, количество энергии на технические цели, принимая во внимание увеличение расхода на нагрев клеянок с электронагревом на 3% и на отопительные приборы с принудительным распределением тепла на 9%, будет равно:

$$40 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}03 \cdot 1{,}09 = 58{,}4 \text{ квт-час/м}^3.$$

Таким образом, удельный расход электроэнергии (квт) на 1 м³ перерабатываемого сырья будет:

[1] Селюгин. Вопрос об установлении нормы расхода пара и электрической энергии на сушку древесины.

1) Фабрики с отоплением без принудительной циркуляции при сушилах с естественной циркуляцией . . . . . 54 квт-час.
2) Фабрики с отоплением с принудительной циркуляцией при сушилах с естественной циркуляцией . . . . . 58 „
3) Фабрики с отоплением и сушилами, имеющими принудительную циркуляцию[1] . . . . . 72 „

Удельный расход электрической энергии в новых предприятиях должен быть значительно больше, чем в старых; по проектным и расчетным данным удельный расход электрической энергии для целей освещения должен быть принят около 30 квт-час на 1 м³ перерабатываемой древесины (при работе в 3 смены) для Ленинграда.

Для приближенного исчисления полного расхода электроэнергии в мебельной фабрике можно принять, что на 1 м³ плотной массы перерабатываемого сырья пойдет 90 квт-час. (30 + 60), при условии, что сушила имеют естественную циркуляцию.

Наибольшими удельными нагрузками в столярно-мебельных предприятиях считаются те, которые выдерживаются станками и электродвигателями в течение получаса без нагрева подшипников. Эти нагрузки, определенные по существующим предприятиям, в среднем, составляют в квт-час/м³ перерабатываемого сырья: для технологических потребностей—0,0105, для освещения—0,002, всего 0,0125.

Удельная установленная мощность электродвигателей на фабриках Лендревтреста, работающих в три смены, равна 0,029 квт-час/м³ плотной перерабатываемой древесины. Тогда в предприятиях с двухсменной работой удельная установленная мощность составляет 0,043 квт-час/м³ и в односменной—0,037 квт-час/м³. Эти значения вычислены по увеличенным удельным расходам.

Для определения установленной мощности электродвигателей новых предприятий предполагается, что мощность электродвигателей возрастает в той же мере, как и наибольшие значения удельных нагрузок, которые показаны в таблице 10.[2]

Таблица 10

Работа предприятий по сменам	Удельные установленные мощности в квт-час перерабатываемой древес.	
	Существующие предприятия	Новые предприятия
Предприятия с работой в 3 смены	0,029	0,051
То же в 2 смены	0,043	0,075
То же в 1 смену	0,037	0,152

Коэфициент наибольшего значения нагрузки столярно-мебельных фабрик определяется по отношению наибольшего значения нагрузки к установленной мощности.

[1] Действительное увеличение удельных расходов энергии возможно будет и меньшим в связи с усовершенствованием самого технологического процесса.

[2] В действительности увеличение мощности электродвигателей может быть не столь значительным из-за более рациональной их загрузки.

Таблица 11

Фанерная промышленность

Наименование районов и предприятий	Двигатели: Паровые турб. Число	Паровые турб. Мощн. квт	Паровые маш. Число	Паровые маш. Мощн. квт	Локомобили Число	Локомобили Мощн. квт	Итого Число	Итого Мощн. квт	Электрооборудование: Электродвигатели Число	Электродвигатели Мощн. квт	Генераторы Число	Генераторы Мощн. квт	Паровые котлы Число	Паровые котлы Общая поверхность нагрева м²
Северная область														
„Новатор“	—	—	—	—	2	103	2	103	6	35	1	55	3	233
Ленинградская область														
Ленинградский завод . .	—	—	—	—	—	—	—	—	45	303	—	—	3	654
Парфинский „ . .	—	—	—	—	5	380	5	380	79	580	7	611	5	742
Старорусский „ . .	1	100	2	313	1	132	4	545	68	611	3	437	6	1 043
Усть-Ижорский „ . .	—	—	—	—	—	—	—	—	28	188	—	—	3	358
Итого по Ленинградской обл. .	1	100	2	313	6	512	9	925	220	1 682	10	1 048	17	2 827
Западная область														
Нелидовский	—	—	2	112	—	—	2	112	2	6	2	22	2	231
Новомиляшинский . . .	—	—	—	—	2	261	2	261	3	12	1	49	3	316
Смоленский	—	—	1	37	1	166	2	203	32	168	2	185	3	217
Чернышевский	—	—	2	46	—	—	2	46	—	—	1	9	2	98
Итого по Западной области .	—	—	5	195	3	427	8	622	37	186	6	265	10	862
Ивановская область														
Костромской	—	—	2	119	—	—	2	119	11	186	1	9	2	395
Горьковская область														
Мантуровский	—	—	4	600	—	—	4	600	57	429	4	338	4	565
Муромский	2	760	—	—	—	—	2	760	134	880	2	760	4	1 000
Итого по Горьковской области	2	760	4	600	—	—	6	1 360	191	1 309	6	1 098	8	1 565
Свердловская область														
Завод „Пламя“	—	—	1	9	—	—	1	9	85	490	—	—	5	650
Татарская АССР														
Поволжский	—	—	3	480	—	—	3	480	172	630	3	395	3	700
Зеленодольский	—	—	4	318	—	—	4	318	15	151	3	151	3	465
Итого по Татарской АССР . .	—	—	7	798	—	—	7	798	187	781	6	546	6	1 165
ДВК														
Океанский	—	—	1	180	—	—	1	180	49	298	1	180	3	620

Продолжение

Наименование районов и предприятий	Двигатели: Паровые турб. Число	Паровые турб. Мощн. квт	Паровые маш. Число	Паровые маш. Мощн. квт	Локомобили Число	Локомобили Мощн. квт	Итого Число	Итого Мощн. квт	Электрооборудование: Электродвигатели Число	Электродвигатели Мощн. квт	Генераторы Число	Генераторы Мощн. квт	Паровые котлы Число	Общая поверхность нагрева м²
УССР														
Дарницкий	—	—	1	455	—	—	1	455	16	195	1	77	3	300
Одесский	—	—	1	110	—	—	1	110	14	63	1	110	2	241
Итого по УССР	—	—	2	565	—	—	2	565	30	258	2	187	5	541
БССР														
„Звезда"	—	—	1	220	—	—	1	220	22	229	1	214	2	185
„Кр. Октябрь"	—	—	2	133	1	132	3	265	33	313	3	151	4	455
Фанерный завод № 24	—	—	2	60	—	—	2	60	7	42	1	16	3	230,8
Бобруйский	Электрич. энергия и пар для теплов. хозяйства с ДОЗ								5	544	—	—	—	—
Им. „Коминтерна"	Пар с ДОЗ, энерг. от район. ст.								—	—	—	—	—	—
Витебский	Энергия со стороны								43	336	—	—	4	676
Итого по БССР	—	—	5	413	1	132	6	545	139	1 595	5	381	13	1 546,8
Башкирская АССР														
Уфимский	—	—	1	55	—	—	1	55	7	50	1	50	1	169
Итого по фанерной промышл.	3	860	30	3 246	12	1 176	45	5 283	1 072	7 170	39	3 819	73	10 573,8

Мощность двигателей на 1 предприятие . . . . . 278 квт.
„ на 1 двигатель . . . . . 117,4 квт.

Поверхность нагрева паровых котлов:

на одно предприятие . . . . . 459,7 м²
на один котел . . . . . 144,8 „

Эти значения изменяются от 0,35 до 0,48 и, в среднем, можно принять 0,37. В новых фабриках коэфициент наибольшей загрузки будет, вследствие усиления работы обслуживающих механизмов, больше—от 0,40 до 0,50.

2. Фанерная промышленность

Таблица 11 дает энергетическое оборудование 25 фанерных заводов СССР, а именно количество паровых турбин, паровых машин, локомобилей, электродвигателей, генераторов и паровых котлов. В теплосиловом хозяйстве фанерной промышленности паро-

вых турбин всего 3 (6,6% — по числу), паровых машин — 30 (66,7%) и локомобилей 12 (26,6%), и соотношение по мощностям: паровые турбины составляют 16,3%, паровые машины — 61,5% и локомобили — 22,3%.

В таблице 12 приведен состав двигателей, работавших в фанерной промышленности на 1/I 1934 г.

Таблица 12

Наименование двигателей	Число	Мощность квт	Процент по мощности
Паровые турбины	3	860	16,28
Паровые машины	30	3 247	61,46
Локомобили	12	1 176	22,26
Итого паровых двигателей	45	5 283	100

Мощность двигателей на одно предприятие составляет—278 квт или 378 л. с. и на один двигатель—117,4 квт 159,66 л. с., округленно 160 л. с.

Паровые котлы распределяются так: на одно предприятие 459,7 м² и на один котел—144,8 м² поверхности нагрева. В силовом хозяйстве фанерных заводов имеется значительное количество генераторов и электродвигателей, так что электрификация производственного процесса проведена в значительной мере; имеются заводы, электрифицированные полностью: Ленинградский, Усть-Ижорский, Бобруйский, им. „Коминтерна" и Витебский.

Как в лесопильной, так и в фанерной промышленности (таблица 13) теплосиловое хозяйство организуется при предприятиях. Выработано энергии по плану 1933 г. на своих станциях—16 183 тыс. квт-час., что составляет 56% полного потребления энергии, и получено со стороны 12 806 тыс. квт-час.—44% полного количества энергии. Расход пара—964,29 тыс. т, количество пара своей выработки равно 113,73 тыс. т—12%. В отличие от лесопильной промышленности фанерная, вследствие меньшего количества отходов, которые используются—как топливо, должна получать значительное количество энергии со стороны. Снабжение технологическим паром производится со своих станций.

В таблице 14 дан перечень силовых установок, построенных и введенных в эксплоатацию в первую пятилетку (1928—1932) и переустроенных предприятий фанерной промышленности. Три завода обладают достаточно мощным по роду производства теплосиловым оборудованием: Муромский завод имеет 2 турбины—одну Юнгстрема (500 квт) и другую—Шкода (260 квт) с давлением 15 кг/см² ман.; котлы, установленные на Смоленском и Поволжском заводах,—новые (1929 и 1930 гг.).

Таблица 13

Энергетические балансы по фанерной промышленности по плану 1933 г.

Название районов и предприятий	Выработка энергии тыс. квт.-час.	Потребность энергии со стороны тыс. квт.-час.	Полное потребление электроэнергии в тыс. квт.-час.	Выработка пара в тыс. т.	Получено пара со стороны	Полное потребление пара т.	Примечание
Северная область							
„Новатор"	337	—	337	16,4	—	16,4	
Ленинградская область							
Ленинградский	—	1 240	1 240	24,75	—	24,75	
Парфинский	2 270	—	2 270	68,38	—	68,38	
Старорусский	1 770	—	1 770	62,58	—	62,58	
Усть-Ижорский	—	1 365	1 365	22,75	—	22,75	
Итого по Ленинградской области	4 040	2 605	6 645	178,46	—	178,46	
Западная область							
Нелидовский	109	—	109	20,16	—	20,16	
Новомиляшинский	109	—	109	18,50	—	18,50	
Смоленский	702	—	702	18,72	—	18,72	
Чернышевский	22	—	22	9,24	—	9,24	
Итого по Западной обл.	942	—	942	66,62	—	66,62	
Ивановская область							
Костромской	1 360	1 000	2 360	37,0	—	37,00	
Московская область							
Сущевский	—	1 224,7	1 224,7	50,0	—	50,0	
Горьковская область							
Мантуровский	1 184	—	1 184	59,2	—	59,2	
Муромский	1 265	—	1 265	31,5	—	31,5	
Итого по Горьковскому краю	2 449	—	2 449	90,7	—	90,7	
Свердловская и Челябинская области							
„Пламя"	—	907,2	907,2	22,7	—	22,7	
Татарская АССР							
Поволжский	1 900	—	1 900	75,46	—	75,46	
Зеленодольский	680	—	680	40,83	—	40,83	
Итого по Татарской АССР	2 580	—	2 580	116,29	—	116,29	

Продолжение

Название районов и предприятий	Выработка энергии тыс. квт-час.	Потребность энергии со стороны тыс. квт-час.	Полное потребление электроэнергии в тыс. квт-час.	Выработка пара в тыс. т.	Получено пара со стороны	Полное потребление пара т	Примечание
ДВК							
Океанский	509	130	639	27,06	—	26,06	
УССР							
Дарницкий	1 600	—	1 600	32,00	—	32,00	
Одесский	280	380	630	18,90	—	18,90	
Итого по УССР	1 880	380	2 230	50,90	—	50,90	
БССР							
„Звезда"	960	—	960	28,56	—	28,56	
„Красный Октябрь"	1 560	—	1 560	42,33	—	42,33	
Фанерный завод № 24	396	—	396	13,25	—	13,25	
Бобруйский	—	2 430	2 430	—	64,84	64,84	Эл.-энергия и пар с ДОЗ
Им. „Коминтерна"	—	980	980	—	26,14	26,14	Эл.-энергия от район. ст., пар с ДОЗ
Витебский	—	1 540	1 540	24,85	—	24,85	
Итого по БССР	2 916	4 950	7 866	108,99	90,98	199,97	
Башкирская АССР							
Уфимский	170	—	170	6,44	—	6,44	
Черниковский	—	840	840	—	22,75	22,75	
Итого по Башкирской АССР	170	840	1 010	6,44	22,76	29,19	
ЗСФСР							
Батумский	—	800	800	25,00	—	25,00	
Итого по фанерной промышленности	16 183	12 806	28 989	850,56	113,73	964,29	

Таблица 14

СПИСОК

силовых установок, построенных и введенных в эксплоатацию в период первой пятилетки (1928—32 гг.) и переустроенных предприятий фанерной промышленности

Название районов и предприятий	Место нахождения	Первичные двигатели		Паровые котлы		Год пуска	Характеристика основного энергетического оборудования
		Число	Установленная мощность, квт	Число	Общая поверхность нагрева, м²		
Западная область							
Смоленский фанерный завод	Смоленск	1	180	3	217	1930	Локомобиль—мощность 180 квт. Паровые котлы—3, из них 2 судового типа, поверхность нагрева 67 и 50 м³—1925 г., один водотрубный: поверхность нагрева 100 м²—1930 г. Завод электрифицирован—32 электродвигателя, общая мощность—168 квт.
Горьковская область							
Муромский фанерный завод	Муром	2	760	4	1 000	1932	Паровые турбины—2, из них одна „Юнгстрема"—мощн. 500 квт, и одна „Шкода" — мощность 260 квт, давление—15 кг/см². Паровые котлы—4 „Фицнер и Гампер"—общая поверхность нагрева—1000 м².
Татарская АССР							
Поволжский фанерный завод	Зеленодальск	3	480	3	700	1929—30	Паровые машины—3, общая мощность 480 квт. Паровые котлы—3; водотрубные—2 по 250 м² и один 200 м², год изготовления 1929 г. Завод электрифицирован — 172 электродвигателя, общая мощность—630 квт.
БССР							
Бобруйский фанерный завод	Бобруйск	—	—	—	2	1929—30	Паросиловое хозяйство общее с ДОЗ, с которого Ф. З. получает 2,4 млн. квт-час/год и пара 64 тыс. т, завод электрифицирован—55 электродвигателей, мощностью 544 квт.
Витебский фанерный завод	Витебск	—	—	4	676	1927—28	Ф. З. получает электрическую энергию со стороны, в количестве 1,5 млн. квт-час/год; пар для технологических нужд и отопления—от своей котельной из 4 котлов.
Черниковский фанерный завод . . .	Уфа	—	—	—	—	1932	Электроэнергия и пар от Уфимской районной ТЭЦ, по программе 1933 г., потреблено при выработке 7,8 тыс. м³ фанеры 840 тыс. квт-час. и пара 22 750 т.
Итого по 6 предприятиям . .	—	6	1 420	14	2 593		
При переустройстве почти всех заводов установлено с 1922 г. по 1/V 1933 г.	—	7	86	16	2 687		
Всего установлено в фанерной промышленности	—	13	2 006	30	5 280		

В таблице 15 приведены данные по 10 фанерным заводам, касающиеся числа постоянных рабочих, занятых в фанерной промышленности, точного количества потребленной энергии и числа отработанных человеко-часов. По этим величинам можно представить так называемую энерговооруженность рабочего, т. е. количество энергии, затраченной на один человеко-час. Эта величина, выраженная в квт-час., характеризует степень механизации производственного процесса. Значение энерговооруженности колеблется от 0,74 до 1,97 и, в среднем,—1,25 квт/человеко-час.

Для заключения вопроса о состоянии фанерной промышленности необходимо еще вернуться к таблице 14. В ней указывается, что при переустройстве почти всех заводов установлено с 1922 г. по 1/I 1933 г. 7 первичных паровых двигателей с мощностью 586 квт и 16 котлов с поверхностью нагрева 2687 м², так что всего в фанерной промышленности установлено 13 первичных двигателей с 2006 квт и 30 котлов с 5280 м² поверхности нагрева. В среднем, на 1 первичный двигатель—154 квт или 209 л. с. и на 1 котел—176 м².

ица 15

Энерговооруженность рабочего фанерной промышленности в 1932 г.

Фанерные заводы	Полное потребление количества энергии в тыс. квт-час.	Число проработанных чел.-часов в тыс. час.	Энерговооруженность рабочего в квт
Старорусский	1 770	2 138	0,82
Поволжский	1 900	2 056	0,92
Парфинский	2 270	1 925	1,18
Мантуровский	1 184	1 555	0,76
Бобруйский	2 430	1 454	1,67
Дарницкий	1 600	1 021	1,60
„Кр. Октябрь"	1 560	1 052	1,49
Витебский	1 540	940,8	1,63
Океанский	639	858,5	0,74
Смоленский	702	355	1,97
В среднем, по фанерному тресту	28 989	23 916	1,25

Паросиловое хозяйство крупных фанерных заводов с производительностью 25—30 тыс. м³ требует силовой установки мощностью, в среднем, 500—600 л. с. Расход энергии составляет, в среднем, 43 квт 1 м³. Фанерные заводы сухой клейки потребляют, в среднем, 44—50 квт-час./м³, а сырой клейки—15—31,1 квт-часа/м³. На технологической операции в лущильном цехе, в среднем, идет 6,2 квт-часа/1 м³ шпона или 8,4 квт-часа/м³ фанеры. В обрезном отделении расход энергии изменяется от 5 до 8 квт-час./м³. Существующие предприятия фанерной промышленности оборудованы разнообразными машинами: локомобилями, паровыми машинами вертикальными и горизонтальными, двойного и тройного расширения с охлаждением. Имеются и турбинные установки.

Для теплосилового хозяйства фанерных заводов с производительностью 25—30 тыс. м³ необходима довольно значительная котельная установка в 1000 м². Учитывая же расход пара на паровую машину в 500—600 л. с., производительность поверхности нагрева достигает 20—25 т пара в час.

Для установки могут быть применены котлы Шухова или Бабкок-Вилькокс со средней поверхностью нагрева в 250—300 м². Топки должны быть шахтные со ступенчатыми колосниками для дробленых отходов шпона; при временном недостатке отходов приходится работать на дровах. Расход топлива в заводах сухой клейки составляет, в среднем, 0,9—1 м³/м³ клееной фанеры, а принимая во внимание все отбросы производства,—до 2—3 м³ на 1 м³ клееной фанеры.

Топливо фанерных заводов—главным образом, отходы производства: кора, рванина и сухие фанерные обрезки, колобашки и оторцовки, которые получаются при распиловке кряжей на чураки.

Средняя влажность отходов колеблется от 37 до 43%. Средняя теплотворность топлива 2560 кал/кг, средняя влажность 33%, понижение теплотворности может быть до 2400 кал/кг. Средний часовой расход топлива для котла Шухова при 272 м² поверхностного нагрева 2200 кг/час., напряжение решетки 230 кг/м² час. Поверхность решетки 9,4 м и объем топки 32 м³.

Среднесуточный расход пара при такой установке составит 12 636 кг, что дает 100 кг-час./м³ выработки фанеры. Эта величина относится к летнему времени, зимой эту величину необходимо повысить до 125 кг/час.

Расход дров на 1 м³ необработанной фанеры—2,85 м³, в том числе на производство—2,09.

Технологический расход пара составляет в общем балансе пара 60%—летом и 80%—зимой. Для сбора горячей воды, получающейся из сгущенного пара, использованного в производстве, необходимо иметь общий приемник, откуда вода перекачивается для питания котлов. Употребляющиеся для этой цели баки и барабаны старых котлов должны быть установлены ниже уровня конденсационных установок для свободного стока воды.

Насос, откачивающий горячую воду из бака, ставится так, чтобы он был заполнен водой.

Для улучшения качества пара, даваемого тепловой установкой, т. е. для уменьшения влажности пара, в одном из котлов следует иметь перегретый пар, который будет перемешиваться в общем паропроводе с влажным паром и понижать его влажность.

Для технических целей фанерного производства применяется исключительно сухой пар, а потому скорость пара в трубопроводах незначительная, не выше 30 м/сек., вследствие чего в сети трубопроводов должно быть достаточно большое число водоотделителей, кроме того, паропровод должен быть хорошо изолирован.

3. Лесохимическая промышленность

В таблице 16 показано основное энергооборудование предприятий лесохимической промышленности по 24 заводам. Лесо-

Основное энергооборудование предприятий лесохимической промышленности Союзлесхима на 1/I 1933 г.

Таблица 16

Наименование районов и предприятий	Первичные двигатели: Паровые машины		Локомобили		Водяные двигатели		Двигатели внутр. горения		Итого двигателей		Электрооборудование: Генераторы		Электродвигатели		Паровые котлы	
	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Мощность квт	Число	Поверхность нагрева м²
Северная область																
Плесецкий завод	2	120	1	13	—	—	—	—	3	133	2	22,5	11	33	2	324
Зап. область																
Навлинский завод	5	85,3	—	—	—	—	—	—	5	85,3	2	54	4	8	3	176
Московская область																
Ривицкий завод	1	30	2	15	—	—	—	—	2	45	2	72	1,2	35,6	2	149,5
Ивановская область																
Дмитровский завод	2	35	—	—	-	—	1	18	3	53	1	17,6	30	282	3	502
Горьковская область																
Вашенский завод	—	—	2	287	—	—	—	—	2	287	2	250	24	338	6	606
Горьковский „	1	9	—	—	—	—	—	—	1	9	1	10	4	77,2	1	150
Домополянский „	2	100	1	20	—	—	—	—	3	120	2	75	6	44	1	132
Красно-Баковский „	2	15	—	—	—	—	—	—	2	15	2	20	—	—	2	344
Ветлужский „	1	50	—	—	—	—	—	—	1	50	1	51	—	—	1	150
Итого по Горьковск. обл.	6	174	3	307	—	—	—	—	9	481	8	406	34	459,2	11	1 382
Куйбышевская область																
Инзенский завод	2	39	1	12	—	—	—	—	3	51	1	40	—	—	2	74,5
Итого по областям	2	48	1	73,5	1	80	2	15	6	216,5	7	236,7	118	1 423	16	2 448
Башкирская АССР																
Никольский завод	—	—	1	18	—	—	—	—	1	18	1	12,5	—	—	2	235
Зап.-Сибирский край																
Барнаульский завод	1	20	—	—	—	—	—	—	1	20	1	20	13	29,5	4	161
Вост.-Сибирская область																
Камышинский завод	—	—	1	4	—	—	—	—	1	4	1	4,8	—	—	2	16,5
УССР																
Киевский завод	—	—	1	9	—	—	—	—	1	9	—	—	10	54,4	3	370
Славутский „	1	4	2	13	—	—	—	—	3	17	1	3	—	—	2	28
Святогорский „	—	—	1	34	—	—	—	—	1	34	1	40	5	40,2	2	106
Итого по УССР	1	4	4	56	—	—	—	—	5	60	2	43	15	94,6	7	504
БССР																
Борисовский завод	1	6	1	34	—	—	—	—	2	40	1	12,5	—	—	1	27
Н.-Белицкий „	1	58	—	—	—	—	—	—	1	58	—	—	3	62	1	74
Итого по БССР	2	64	1	34	—	—	—	—	3	98	1	12,5	3	62	2	101
Воронежская и Курская области																
Маршанский завод	—	—	—	—	—	—	1	9	1	9	—	—	17	89,3	2	280
Итого по Союзлесхиму	24	619,3	14	532,5	1	80	4	42	43	1 273,8	29	1 001,6	257	2 516,2	58	6 353,5

химическая промышленность по своему теплосиловому оборудованию—мелкая промышленность, что и соответствует производственному процессу. Всего в лесохимической промышленности 43 первичных двигателя с мощностью 1273,8 квт (на 1/I 1933 г.), из них: паровые машины 24 с мощностью 619,3 квт, что составляет 48,58%; локомобили—14 с мощностью 532,5 квт или по мощности 41,72%. Двигатели внутреннего горения составляют по мощности 3,4%, числом 4, с мощностью 42 квт и водяной двигатель—1 с мощностью 80 квт, что составляет по мощности 6,3%. Сводка дана в таблице 17, где показан состав первичных двигателей, работающих в предприятиях Союзлесхима на 1/I 1933 г.

Таблица 17

Состав первичных двигателей, работающих на предприятиях Союзлесхима на 1/I 1933 г.

Наименование двигателей	Число двигателей	Установленная мощность квт	Процент по мощности
Паровые машины	24	619,3	48,58
Локомобили	14	532,5	41,72
Двигатели внутрен. горения	4	42	3,4
Водяные двигатели	1	80	6,3
Всего	43	1 273,8	100

Таблица 18

Энергетическая характеристика предприятий Союзлесхима в 1933 г.

Наименование показателей	
Мощность силовых установок (первичных двигателей) на 1 завод . квт.	53,07
Поверхность нагрева паровых котлов на 1 завод . . . . . м²	264,6
Мощность на 1 двигатель . . . . . квт	29,6
Поверхность нагрева на 1 котел . . . . . м²	105,76
Коэфициент электрификации . . . . . %	78
Энерговооруженность рабочего . . . . . квт-чел.	0,77

В энергетическом оборудовании лесохимической промышленности паровым машинам принадлежит первое место, как в лесопилении и в мебельной промышленности; затем идут локомобили. Двигатели внутреннего горения и водяные вместе составляют около 10% и являются случайными. Электрификация лесохимических предприятий определяется мощностью электродвигателей 2 516,2 квт,—в среднем, на предприятие 105 квт, что составляет значительную величину по сравнению с другими отраслями деревообработки. То же относится к мощности первичных двигателей, приходящейся

на одно предприятие, которое равно 53 квт. Если же примем условную величину, характеризующую использование энергии, выработанной на своих станциях, к количеству энергии, полученной со стороны, то это отношение представляет коэфициент электрификации, который для лесохимической промышленности равен 78%.

В таблице 18 показана энергетическая характеристика предприятий Союзлесхима в 1933 г. Мощность силовых установок первичных двигателей на 1 завод—53,07 квт и мощность на 1 двигатель—29,6 квт. Машинные установки, как видно из этих значений,—малой величины; но поверхность нагрева характеризует теплосиловые установки со стороны использования пара в производственных целях. Так, на одно лесохимическое предприятие приходится поверхности нагрева котлов 264,6 м² и на один котел—105,76 м².

Энерговооруженность рабочего, выраженная в квт/чел.,—0,77, показывает недостаточную электрификацию производственного процесса, меньшую, чем имеется в фанерной промышленности. Количество энергии, выработанное на своих установках по плану 1933 г., равно 3 965 тыс. квт-час., что составляет 78% полного количества потребленной энергии—5 080 тыс. квт, и получено со стороны 20% полного количества энергии—1 015 тыс. квт-час.

Соотношение между количеством энергии, выработанной на своих установках и полученной со стороны, показывает, что лесохимическая промышленность обслуживается в значительной степени своими установками и очень мало получает от центральных источников снабжения энергией.

Количество пара, потребленное в производстве, получено в своих теплосиловых установках—67 тыс. т и со стороны пара не поступало. Отношение количества выработанного пара к полному количеству потребленного пара, равное 0,13 т квт-час., показывает, что в теплосиловом хозяйстве лесохимического производства преобладает тепловая часть, так как основной расход тепла вызывается условиями производства, требующими больших количеств пара.

Для установления развития лесохимической промышленности в таблице 19 приведены сведения о мощности энергооборудования, введенного в эксплоатацию по предприятиям Союзлесхима за первое пятилетие (1928—1933 гг.).

Таблица 19

Мощность энергооборудования, введенного в эксплоатацию по предприятиям Союзлесхима за первое пятилетие (1928—1933 гг.).

Установленная мощность первичных двигателей квт	Поверхность нагрева котлов м²	Процент введенной мощности двигателей к общей мощности на 1/I 1933 г.	Процент введенной поверхности нагрева котлов к общей поверхн. на 1/I 1933 г.
1 105	5 056	86,8	79,6

Примечание. В 1933 г. установлено и пущено в эксплоатацию 6 паровых котлов, с общей поверхностью нагрева 1 170 м² и турбогенераторов—800 квт.

БИБЛИОТЕКА имени

Процент введенной мощности двигателей к общей мощности на 1/I 1933 г.—86,8, а поверхности нагрева котлов к общей на 1/I того же года—79,6%. В 1933 г. установлено и пущено в эксплоатацию паровых котлов с общей поверхностью нагрева 1 170 м² и турбогенератор—800 квт.

Лесохимическая промышленность, до сих пор, по преимуществу, кустарная и полукустарная, вырабатывала: скипидар, сосновую смолу, пек и вар, уксусный порошок, пихтовое масло, древесный спирт и деготь. Установки лесохимической промышленности состояли, главным образом, из 25 канифольно-терпентинных заводов малой мощности, потреблявших небольшое количество пара. Расход энергии в этих заводах тоже был незначительный.

Лесохимическое производство в области сухой перегонки древесины в 1927/28 г. переработало 420 тыс. м³ древесины, в 1933 г.—580 тыс. м³, из них государственные заводы переработали 4 тыс. м³. Кустарные установки давали из 1 м³ древесины 22 кг уксусного порошка (58%), из которого при дальнейшей переработке получалось 8,8 кг уксусной кислоты (100%). Более крупные предприятия полупромышленного характера дают на 1 м³ 12,2 кг уксусной кислоты (100%) и, наконец, новый завод промышленного типа даст из 1 м³ 16 кг уксусной кислоты (100%). Точно так же и по другим лесохимическим продуктам сопоставление выработки кустарных предприятий с выработкой крупных лесохимических указывает на преимущество крупных предприятий.

Так, из 1 м³ древесины при сухой перегонке дают (табл. 20):

Таблица 20

Характер предприятия	Древесный спирт гк	Смола кг	Уголь кг
Кустарное предприятие	2,5	10	80
Полупромышленное предприятие .	4,2	17	101
Новый лесохимический завод . .	5,0	24	110

Для превращения полукустарной лесохимической промышленности в крупную индустриальную с развитой техникой уже выстроены и строятся во второе пятилетие 26 промышленных лесохимических предприятий.

Значительная часть лесохимических предприятий строится вблизи сырьевых районов. Непосредственная связь с деревообрабатывающими предприятиями и близость к сырьевым районам, где ведутся крупные лесозаготовки, имеет целью переработку колоссальных количеств отходов лесосечной и лесопильной древесины, которые до настоящего времени не используются в производственных целях.

Таблица 21

Род предприятий	Расход пара в тоннах					Расход энергии в квт.-час.			Отходы			
	На 1 м³ осмола	В 1 час			В год	На 1 м³ осмола	Средняя мощность	Годовой расход энергии	Щепы тонн в год	Влажность в %	Теплотворность кал/кг	Расход воды м³/м³ осмола
		Наибольший	Средний	Наименьший								
Канифольно-скипидарный завод на 100 000 м³ (скл.) осмола в год	1—1,2	20	13—15[1]	10	110 000,4 кг/см² абс.	15	500	1 500 000	21 100	10	3 600	25
Канифольно-мыльный завод на 40 000 м³ (скл.) осмола в год	0,5	10,0	7,5	5	20 000,4 кг/см² абс.	15	250—300	600 000	19 900	60	2 000	6

1 Из 13 т/час. 10 т/час. насыщ. пара 4 кг/см.² абс.
3 „ перегрет. „ 200°

Канифольные и канифольно-мыльные заводы дают отходы своего производства—сосновую щепу, которая может быть использована, как топливо или сырье для целлулозно-бумажного производства. Эти заводы могут комбинироваться с бумажными и деревообрабатывающими предприятиями, давая первым сырье, а вторым—топливо.

Для своего производственного процесса все отрасли лесохимической промышленности расходуют большое количество технологического пара и мало энергии.

Часовой расход пара в канифольно-скипидарном производстве изменяется в течение суток незначительно, тогда как канифольно-мыльные заводы работают со значительными колебаниями, но не продолжительными.

В таблице 21 показаны расход пара и энергии в канифольно-скипидарном и канифольно-мыловаренном производствах и количество отходов в них.

При большом расходе пара в канифольном и канифольно-мыльном производствах установленная мощность для этих производств весьма малая, так, в канифольном производстве при значительной производительности—не превышает 207 квт, а в канифольно-мыльном—не превосходит 85—100 квт.

Для теплосилового хозяйства канифольного и канифольно-мыльного производства имеет существенное значение использование отходов в газогенераторах; однако, эти отходы различны по влажности, качеству и свойствам.

4. Целлулозно-бумажная промышленность

В таблице 22 показано паросиловое оборудование этой отрасли промышленности по пятнадцати районам, где имеются целлулозно-бумажные предприятия. По Узбекской ССР подробных характеристик нет, а потому в дальнейших подсчетах не будем принимать во внимание той установки, которая там находится.

Всего в таблице собраны сведения, касающиеся предприятий в 14 областях. Паросиловое оборудование относится к 1932 г. В целлулозно-бумажной промышленности к концу первого пятилетия было паровых котлов 312 с поверхностью нагрева 68 846 м², что составляет на один котел 204 м², и общее число двигателей в целлулозно-бумажной промышленности—321 при мощности 138 262 л. с. или на двигатель 424 л. с. Эти величины резко отличают целлулозно-бумажную промышленность от других отраслей деревообработки и переработки. Здесь, в среднем, установки более крупных размеров с значительным числом паровых турбин—30, с общей мощностью 84 280 л. с. или 2809 л. с. на одну турбину и водяных турбин—90 с мощностью 14 912 л. с. или на одну турбину, в среднем, 165 л. с. Наибольшее число турбин—58 как паровых, так и гидравлических, находится в Ленинградской области, что составляет 64% общего числа турбинных установок. Количество паровых турбин в Ленинградской области составляет 30% всех паровых турбин.

И все количество работающих первичных двигателей по установленной мощности составляет в процентах:

1) паровые турбины	59,8
2) паровые машины	22
3) локомобили	2,4
4) двигатели внутреннего горения	5,3
5) водяные турбины	10,5

Из сопоставления этих данных видно, что среди двигателей паровые турбины занимают первое место, и, как было показано, на одну паровую турбину приходится мощности 2809 л. с., что соответствует значительной величине предприятий при котлах, имеющих поверхность нагрева, в среднем, 204 м².

Среди действующих предприятий имеются такие, которые работают на пределе загрузки своих двигателей — и даже с недостатком энергии фабрики: „Каменка“, „Пролетарий“, „Новая Ляля“, „Красная Звезда“.

Выработка пара и энергии на своих паросиловых установках характеризуется следующими цифрами, по плану Главбумпрома, по производственным районам в 1933 г.: всего по всем районам — 7 043,3 тыс. т брутто, из них на производство 4 239,0 тыс. т или 60,2%, на энергию — 2 743,9 тыс. т или 39,9% и для отдачи на сторону—0,9%.

Большое количество технологического пара, потребного для варки целлулозы, сушки бумаги и других операций, должна давать котельная установка, что создает особо трудные условия для работы котельной. Варка целлулозы требует больших количеств пара.

Так, для варки соломенной целлулозы, необходимо для изолированного котла пара 1750 кг/час и в месте отбора—1800 кг/час при давлении 7,5 кг/см² абс.; затем для отбелки и сушки половины выработки—5400 кг/час. и в точке отбора 5700 кг/час. Отбелочный пар имеет 3 кг/см² абс.—итого 7150 кг/час. и у отбора —7500 кг/час. При изготовлении древесной целлулозы, для варки крафт-целлулозы на 1 кг воздушно-сухой при неизолированных котлах необходимо пара 2 кг, а при изолированных котлах—около 1,75 кг при давлении 9 кг/см². Для сушки, выпаривания щелоков и других операций от 5,7—6 кг пара при давлении 3 кг/см² абс., в общем, от 7,45 до 8 кг пара на 1 кг-час воздушно-сухой целлулозы. Мощность, необходимая на 100 кг воздушно-сухой целлулозы, составляет 1,8 л. с. в 24 часа. Предполагая для примера суточную выработку 60 000 кг воздушно-сухой целлулозы, мощность силовой установки должна быть в 1080—1100 л. с. Для технологических целей понадобится от 18 600—20 000 кг пара в час. Экономически выгодной установка будет только при совместном использовании пара для силовых и технологических целей. Используя технологический пар сперва в турбине и получая из него энергию, можно располагать от 17,2—18,2 кг пара на 1 л. с.-час, что даст установки с противодавлением.

Таблица 22

Паросиловое оборудование целлюлозно-бумажной промышленности в 1932 г.

Название областей	Оборудование паросиловое											
	Паровые котлы			Первичные двигатели								
						В том числе						
						Паровых			Гидравлических			
	Число	Общая поверхность нагрева м²		Число	Мощность л. с.	Число	Мощность л. с.		Число	Мощность л. с.		
Ленинградская область	85	18 905		106	44 089	11	28 300		47	108 881		
Карельская АССР	3	1 850		1	4 750	1	4 750		—	—		
Западная область	37	8 077		23	13 809	3	4 480		5	280		
Северная область	10	4 705		7	10 984	4	10 640		—	—		
Куйбышевская область	13	2 651		18	1 061	—	—		7	482		
Горьковская область	29	6 515		23	17 425	3	15 140		5	493		
Свердловская и Челябинская области	29	6 896		27	19 316	5	14 416		4	609		
Башкирская АССР	2	400		7	1 167	—	—		2	612		
Северо-кавказский край	4	908		—	—	—	—		—	—		
Московская область	7	516		12	445	—	—		5	180		
Ивановская область	20	7 522		24	2 818	—	—		3	130		
Воронежская и Курская области	3	300		4	325	—	—		—	—		
БССР	31	4 866		24	12 319	3	6 595		3	200		
УССР	39	5 233		65	9 754	—	—		9	1 045		
Узбекская ССР	2	с в		е д	е н	и й	н		е т			
Итого	314	68 846		321	138 262	30	84 281		90	14 912		

При колебании расхода пара во время технологического использования или потребления энергии необходима установка теплособирателя (аккумулятора) Рутса. Следует заметить, что в СССР такая установка теплособирателя имеется на Сясьском комбинате.

Количество энергии, выработанное на предприятиях в млн. квт-час., распределяется на следующие группы по способу ее получения.

В 1933 г. выработано 546,9 млн. квт-час. Паровой энергии выработано на своих станциях: 89,9%, гидравлической — 5,4% и в дизель-двигателях — 4,7%. Водяная энергия вырабатывалась в семи районах и более всего в Ленинградской области—14,8 млн. квт-час., т. е. 50% всей водяной энергии, которая является подспорьем в снабжении бумажных фабрик энергией.

Энергия от дизель-двигателей в значительном количестве получена только в УССР—21,9% млн. квт-час., почти 85% всей. В УССР на бумажных фабриках этот вид энергии имеет существенное производственное значение. Необходимо признать, что преобладание этого вида энергии, по сравнению с другими, неправильно. И действительно, паровые двигатели дали всего 5,7 млн. квт-час., и водяной энергии было получено — 3,2 млн. квт-час., а всего было получено, включая и энергию дизель-двигателей,—30,8 млн. квт-час. Энергия от дизель-двигателей составила—71%, паровая энергия—18% и водяная—10%. В пределах УССР находится Донецкий угольный бассейн и, несомненно, доставка угля к бумажным фабрикам ближе, чем подвоз нефти по железнодорожным путям из Баку или морем с перегрузкой в портах.

Определяя по общей выработке пара 349,6 тыс. т и энергии 5,7 млн. кв-час., получим расход пара на 1 квт-час—61 кг. При распределении этого расхода на производство и энергию на 1 квт-час выходит 14 кг, а на технологические нужды и отопление—47 кг. Отсюда можно предположить, что украинские бумажные фабрики получали энергию в большей части от дизель-двигателей, затем в небольшой мере от паровых установок и пар для технологических нужд—от особых котельных установок низкого давления.

Если обратиться к таблице 23, где дана сводка расхода основных видов топлива бумажной промышленности по плану второй пятилетки на 1933 г., видно, что украинские бумажные фабрики сожгли 21,1 тыс. м³ дров, 44,6 тыс. т донецкого угля и 4,04 тыс. т нефти.

При определении расхода нефти в дизель-двигателях на 1 л.с.-час получается 184 г, что и соответствует среднему расходу в этих двигателях. Считая расход пара на 1 квт-час—14 кг и принимая испарительность угля—7 кг, расход угля составит 11,4 тыс. т. Этот расход составляет 25% всего расхода угля. Таким образом, значительная часть топлива, а именно все дрова 21,1 тыс. м³ и 33,2 тыс. т угля пошли на получение пара низкого давления для технологических целей.

При отказе от получения энергии дизель-двигателей и установке паровых машин или турбин с отбором пара и противодавлением можно было бы получить всю энергию, которую дают дизель-

двигатели за счет донецкого угля, на что понадобилось бы 43,8 тыс.т угля, и, прибавляя затрачиваемое количество угля на уже получаемое количество энергии от паросиловых установок 11,4 тыс. т, полный расход угля определится в количестве 52,2 тыс. т. Таким образом, подвоз угля должен быть увеличен на 7,6 тыс. т, взамен подвоза 4,04 тыс. т нефти. При этом полученный пар в количестве 386,4 тыс. т, отработавший в машинах, мог быть использован для целей производства. При этом отпала бы необходимость в расходовании дров в таком большом количестве — 21,1 тыс. м³ (складских).

По таблице 23 видно, что дрова являются главным топливом, в целлулозно-бумажной промышленности они составляют 65% (в усл. топливе); затем угли дают 20,6% (из них донецкий — 18,1%) и далее торф — 12,3% и жидкое топливо — 2,1%. Преобладание дров объясняется тем, что целлулозно-бумажные фабрики располагаются в районах лесных массивов, откуда идет сырье. Но нельзя не отметить малое использование торфа в топливном балансе целлулозно-бумажного производства. Особенно обращает внимание черта в графе „торф“ против Ленинградской области, Ивановской области и малое количество торфа по Северной области.

По сводке получения целлулозно-бумажными предприятиями электрической энергии со стороны и подачи на сторону по плану Главбума в 1933 г. значится всего энергии со стороны 222 700 тыс. квт-час. и отдано 11 350 тыс. квт-час., что составляет по отношению к первому количеству ничтожную величину — 9%.

Значительное получение электрической энергии производится в Ленинградской области, Горьковской области и БССР от больших электростанций. Силовые установки в целлулозно-бумажной промышленности имеют паровые котлы с давлением 35 кг/см² абс. в следующих фабриках: „Волжский комбинат“, „Сясь“, „Сокол“, „Окуловка“, „Герой Труда“, им. Горького, „Кондопога“, „Новая Ляля“, „Балахна“—картонная—и „Вишерский комбинат“. В 1927—1932 гг. было установлено 37 паровых котлов с давлением 26—35 кг/см² абс. с поверхностью нагрева 168 тыс. м² и 13 паровых турбин с общей установленной мощностью—50 тыс. квт. Повышенное давление пара в силовой установке дало возможность бумажной промышленности не только обеспечить экономичность процесса получения пара для энергетического использования, но и получить пар для нужд производства устройством отбора пара и соответствующего противодавления. Турбины с отбором пара и противодавлением дают возможность использовать пар повышенного давления сперва для получения энергии, понижая давления с 35 кг/см² до 7,5 кг/см² абс., при котором пар отбирается, а затем при выходе из турбины пар с давлением 3,5 кг/см² идет для технологических целей.

В течение второго пятилетия с 1933—1937 гг. паросиловое хозяйство бумажных фабрик определяется ростом потребности в энергии и паре в зависимости от увеличения производительности бумажных фабрик вместе с новостроящимися.

По принятым основным положениям все оборудование должно удовлетворять нижеследующим условиям:

1) Паровые турбины с давлением перед впускным вентилем 29 кг/см².

Таблица 23

ТОПЛИВО И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Расход основных видов топлива бумажной промышленности на 1933 г. по отдельным районам

Наименование районов	Дрова тыс. м³ склад	Торф тыс. тонн	Угли: Донецкий	Угли: Подмосковный	Угли: Кузбасский	Угли: Уральский	Угли: Ср.-азиатский	Угли: Всего	Нефтетопливо: Мазут	Нефтетопливо: Нефть	Всего в условном топливе 7 000 кг
Ленинградская область	959,1	—[1]	91,3	—	—	—	—	91,3	—	—	300,1
Карельская АССР	161,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,2
Северная область	450,6	5,0	4,6	—	—	—	—	4,6	—	—	108,5
Московская область	4 1,6	13,5	17,3	36,0	—	—	—	53,3	—	0,4	18,1
Западная область	410,2	100,1	0,2	—	—	—	—	0,2	0,9	0,99	154,6
Горьковская область	709,0	—	—	—	—	—	—	—	4,4	0,12	135,2
Северный Кавказ	—	—	8,8	—	—	—	—	8,8	—	—	6,3
Куйбышевская область	31,5	36,0	0,2	—	—	—	—	0,2	—	0,46	29,3
Ивановская область	196,2	—	—	—	3,4	4,2	—	7,6	—	0,07	37,1
Свердловская и Челябинская области	479,2	20,0	—	—	—	—	—	—	4,3	0,24	114,9
Башкирская АССР	48,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,1
Воронежская и Курская области	—	—	3,5	—	—	—	—	3,5	—	—	3,4
БССР	198,5	95,0	28,2	—	—	—	—	28,2	—	—	103,1
УССР	21,1	—	44,6	—	—	—	—	44,6	—	4,04	53,5
Узбекская АССР	—	—	—	—	—	—	4,1	4,1	—	—	2,5
Итого	3 705,4	218,6	198,7	36,0	3,4	4,2	4,1	246,4	9,6	6,32	1 106,8
В процентах условного топлива	65,0	12,3	18,1	1,6	0,3	0,3	0,3	20,6	1,3	0,8	100

[1] В настоящее время бумажные фабрики: Сясьская, ВЦСПС и „7-й годовщины Октябрьской Революции“ частично переведены на торф.

2) Новые котлы бумажных фабрик должны удовлетворять следующим условиям: паросъем не ниже 35 кг/см²-час, полезность[1] котлов—80%, расход условного топлива на 1 т пара—130 кг, при давлении 32 кг/см² ман. и 400°.

Поверхность нагрева котлов по СССР — 68 846 м², из них по бумажным предприятиям Наркомлеса — 52%; выделены котлы, находящиеся в резерве, что составляет — 25% общего числа.

В среднем, на одну фабрику по СССР приходится 650 м² поверхности нагрева, а по бумажным предприятиям Наркомлеса — 1466 м² поверхности нагрева котлов.

На один котел приходится, в среднем, поверхность нагрева 219 м² (по СССР) и по предприятиям Наркомлеса — 290 м².

Котельное хозяйство по отдельным фабрикам состоит из следующих котлов (таблица 24).

Таблица 24

Название фабрик	Число котлов	Давление кг/см² манометр.	Поверхность нагрева 1 котла м²	Общая поверхность нагрева м²
„Балахна"	7	35	500	3 500
„Сясь"	4	35	600	2 400
„Сокол"	3	33	1—745 2—841	2 427
Окуловская	6	35	355	2 130
„Герой Труда"	4	35	300	1 200
Им. Горького	3	32	450	1 350
Кондопожская	3	32	450	1 350
„Балахна" карт.	1	30	265	265

Всего котлов высокого давления 31 с общей поверхностью нагрева 14 622 м². Эти котлы составляют 25% всей поверхности нагрева котлов, установленных в целлулозно-бумажных предприятиях в СССР. По объединениям Наркомлеса котлов повышенного давления—27 с общей поверхностью нагрева 13 422 м².

По возрасту котлы целлулозно-бумажной промышленности распределяются на следующие группы (таблица 25):

Таблица 25

Группы	По СССР		По Наркомлесу	
	по количеству	по поверхн. нагрева	по количеству	по поверхн. нагрева
	в процентах			
Котлы новые до 7 лет	16	30,4	30	45
Котлы среднего возраста, 10—25 лет	40,9	38,0	39	34
Котлы старые, свыше 25 лет	43,1	31,6	31	21

Установленная мощность работающих силовых двигателей на бумажных фабриках определяется в 100—140 квт.

Основные двигатели теплосиловых станций целлулозно-бумажной промышленности в СССР — это паровые двигатели 84,2% и по

[1] Термин „полезность" взамен обычного термина „коэффициент полезного действия" впервые введен по инициативе автора. (*Примеч. ред.*).

Наркомлесу — 94,9%. Из них паровые турбины составляют 59,8% и 80,7%. Меньшее значение имеют двигатели внутреннего горения,— по СССР они составляют 5,3%.

Гидравлические турбины составляют 5,3% и по системе Наркомлеса — 4,3%. Средняя установленная мощность всех двигателей на одну фабрику составляет 1165 квт по СССР и 3140 квт по Наркомлесу; на один двигатель приходится 305 квт по СССР и по Наркомлесу — 920 квт.

Бумажная промышленность располагает сравнительно исправным теплосиловым оборудованием, что определяется возрастом установленных двигателей. Так, паровые турбины распределяются на следующие возрастные группы:

до 10 лет	82%	по мощности
от 10—20 лет	10	„ „
свыше 20 лет	8	„ „

Группа паровых машин, сравнительно с паровыми турбинами, старше, а, следовательно, с большим процентом износа. Около 50% паровых машин—неизвестного возраста и значительная часть их состава устарела, и только 20—25%—среднего возраста (около 20—25 лет).

Локомобили по возрасту распределяются на группы (в процентном отношении):

Сравнительно новые	25
Среднего возраста	35
Устаревшие	10
Неизвестного возраста	30

Двигатели внутреннего горения:

Новые	20
Среднего возраста	30
Устаревшие	20
Неизвестного возраста	30

Водяные турбины:

Новые	57
Среднего возраста	30
Устаревшие	13

В целлулозно-бумажной промышленности преобладают паровые турбины, составляя в СССР по бумажной промышленности около 60% мощности. Из них новых—82%.

В целлулозно-бумажном и древесно-массном производстве расходуется много пара для целей производства, а потому турбины могут быть следующих типов:

1) с холодильником (для древесно-массных фабрик);
2) с отбором пара и холодильником;
3) с противодавлением;
4) с отбором пара и противодавлением.

Неравномерность в расходе пара в производстве зависит от влияний сезонного характера — колебания наружной температуры. Расход пара для сушки 1 т газетной бумаги значительно изменяется летом и зимой, от 3,6 т/т до 4,1 т/т при приточно-вытяжной вентиляции. В комбинатах с большим производством расход пара

на отопление зимой доходит в холодное время до 8—10 т/час. Но неравномерность в расходе пара может быть и в течение суток по часам в зависимости от хода производственного процесса.

Варочный отдел целлулозной фабрики расходует больше остальных отделов. Варочный процесс разделяется на две части:

1) заварка длится 1—3 часа с расходом пара до 65%;

2) доварка продолжается 8—14 часов с расходом пара 35% полного количества тепла, идущего на всю варку в данном варочном котле.

Такое неравномерное распределение пара в варочном отделе целлулозной фабрики придает суточному графику расхода пара на варку целлулозы вид ломаной линии с резкими изменениями. Так, график расхода пара на варку целлулозы на фабрике с производительностью 68 т/сутки имеет „пики" в течение 2 часов и „провалы" в течение 3 часов с наибольшим расходом до 10 т/час. и наименьшим расходом 4 т/час.

Резкие изменения в расходе пара отражаются на работе паровых турбин и машин и, в особенности, на состоянии котла. Для выравнивания расхода пара в котле необходимо применять в теплосиловых установках целлулозно-бумажных фабрик теплособиратели.

Остальные цеха бумажных фабрик имеют равномерный расход пара и энергии, и расход пара возрастает пропорционально росту производительности.

При комбинировании древесно-массных фабрик, целлулозных и бумажных фабрик необходимо иметь в виду, что древесно-массная фабрика требует больших количеств электро-энергии и расходует пар только на отопление.

Целлулозные фабрики расходуют большое количество пара и мало энергии. Бумажные фабрики расходуют много пара и энергии. При ведении производственного процесса в таком сложном предприятии руководитель теплосиловой установки должен иметь в виду, что, при наличии целлулозной и древесно-массной фабрики, расход пара для варки бумаги будет увеличиваться с возрастанием производительности целлулозной фабрики. Количество отборного пара возрастает пропорционально расходу целлулозы, идущей на производство бумаги; так, например, расход пара при давлении 7,5 кг/см² ман. вдвое больше при расходе 60% целлулозы, чем при 30%.

На фабриках бумажной промышленности с увеличением производства бумаги возрастает потребность в технологическом паре, а, следовательно, должна возрастать выработка отбросной энергии, вырабатываемой турбинами. Поэтому вполне выгодно объединение теплосилового хозяйства целлулозно-бумажных фабрик с такими производствами, у которых потребление пара преобладает над расходом энергии.

При соединении бумажных фабрик с такими, у которых расход энергии возрастает, количество избыточной отбросной энергии может быть повышено следующими мерами. Давление пара перед турбиной может быть повышено, что вызывает возрастание теплового перепада, так как противодавление, при котором используется пар, остается постоянным.

В предприятиях целлулозно-бумажной промышленности, у которых расход пара меньше 60 000 т/год, установка котлов с давлением выше 35 кг/см² экономически невыгодна, вследствие их высокой стоимости в настоящее время. Высокие давления в котлах от 35 до 110 кг/см² могут быть применены только тогда, когда возможно получаемую избыточную энергию использовать в другом предприятии. Это может быть выполнено при установках с паропроизводительностью, начиная с 40 тыс. — 60 тыс. т и при посторонних потребителях.

Рабочее давление в производственных приборах, потребляющих пар, должно быть возможно понижено в соответствии с требованиями технологического процесса, так что в сульфитном производстве варочные котлы устраиваются с подводом греющего пара для длительного подогрева щелоков, понижая давление от 5—6 кг/см² до 2 кг/см² ман. Выравнивание колебаний в расходе технологического пара и силового пара производится теплособирателем. В сульфитных фабриках имеются отходы из окорочного отделения и в сульфатных — горючие отходы в черных щелоках, которые должны быть использованы как топлива. Топки для сжигания древесных отходов должны быть рассчитаны на большие удельные веса сжигаемого топлива и на меньшие тепловые напряжения удельного объема, по сравнению с углем, вследствие различной влажности и неоднородности состава отходов. Котел с паропроизводительностью 10000 кг/час, требует от 10 до 15 м³ древесных мелких кусковых отходов в час.

Состояние теплосилового хозяйства в бумажной промышленности Наркомлеса представлено за 1931 г. в следующих величинах:

1) Выработано энергии	247 207 600 квт-ч.
2) Получено от районных станций	122 540 880 „
3) Отдано энергии на сторону	10 990 000 „
4) Всего потреблено энергии	358 758 480 „
5) Покупная энергия составила:	
а) от выработки своей энергии	55,5%
б) от полного количества потребляемой энергии	35,2 „
в) отданное количество энергии от выработанного	4,4 „
6) Выработка пара (по норм. пару 640 кал.)	373 000 т
7) Средняя напряженность поверхности нагрева котла	21,2 кг-час/м²
8) Колебания напряженности поверхности нагрева	15—36 кг-час/м²
9) Средний расход условного топлива на 1 т нормального пара (нетто)	126 кг
10) Средняя полезность котла	72%
11) Средняя стоимость тонны приведенного пара (нетто)	6 руб. 10 коп.
В том числе топливной слагаемой	4 „ 46 „
12) Средняя стоимость паровой энергии 1 квт-час	4,34 коп.
В том числе стоимость пара	3,51 „
13) Средняя стоимость энергии дизель-двигателя 1 квт-час	5,26 „
14) Средняя стоимость водяной энергии 1 квт-час	1,16 „
15) Средняя стоимость всех видов энергии на 1 квт-час	4,26 „
16) Средняя стоимость покупной энергии	3,38 „
17) Средняя стоимость смешанная (своей и покупной энергии)	3,94 „

III. ДРЕВЕСИНА — КАК ТОПЛИВО

1. Общие свойства

В деревообрабатывающей промышленности топливом является исключительно древесина в различных формах: отходы лесопильного

производства — опилки, рейки, обрезки, горбыли — дробленые, колотые, пиленые; отходы вспомогательных производств: столярного, фанерного, бондарного и других, в виде стружки, щепы, околков и обрезков.

В тех производствах, где недостаточно отходов, древесина очень часто применяется, как топливо, в виде дров, так как деревообрабатывающие предприятия располагаются недалеко от сырьевой базы, а, следовательно, почти всегда возможен подвоз дровяного топлива.

Древесное топливо, в каком бы из вышеперечисленных видов оно ни употреблялось, по своим тепловым свойствам в абсолютно-сухом состоянии является единообразным. Все отличие в теплотворности различных сортов и видов древесного топлива обусловливается влажностью; трудность сжигания зависит от величины кусков топлива: крупно-кусковое топливо — дрова (швырок) сгорают без особых затруднений в топках котлов обычного типа с плоской колосниковой решеткой.

Древесное топливо в виде метровых поленьев (длинник) требует специально приспособленных топок, точно так же, как и мелкое древесное топливо: опилки, стружки, щепа требуют для успешного сжигания топок особого устройства.

Древесина, которая образует основу всех названных выше видов топлива, состоит из толстостенных растительных клеток, соединенных особым склеивающим веществом — лигнином, образующимся из смеси различных органических веществ. Масса древесины представляется правильно слоистой; внутренняя часть слоя древесины составлена из толстостенных элементов, а наружная — из широкополостных клеток.

Стенки клеток древесины состоят из клетчатки или целлулозы, состав которой определяется формулой $C_6H_{10}O_5$. В клетках древесины содержатся остатки протоплазмы и клеточного сока, которые состоят преимущественно из органического вещества и отчасти из минерального.

В древесине различают: заболонь, самую древесину и ядро. Заболонь составляют наружные слои древесины, покрытые корой, образовавшиеся за последние годы; клетки заболони мягкие с большим содержанием воды и крахмала. Спелая часть древесины — твердая и сухая, по сравнению с заболонью; такое состояние ее объясняется тем, что водопроводящие сосуды закупориваются отмирающими клетками. Вместе с тем, закрываются смоляные ходы, вследствие отложения смол и камедей или разрастания паренхиматических клеток, врастающих внутрь через кору стенок. В этой части древесины находятся клетки древесной паренхимы и сердцевинных лучей.

Наиболее старые слои отмирают, их клетки обезвоживаются, разложившиеся органические вещества окрашивают древесину, заполняя клетки смолистыми соединениями.

Эта часть древесины называется ядром. Центральную часть ядровой древесины называют сердцевиной.

Древесина, подвергнутая сушке при 105°, по своему элементарному составу мало отличается у различных пород (таблица 26).

Таблица 26

Элементарный состав абсолютно сухой древесины различных пород

Название пород	Углерод	Водород	Кислород
	в процентах		
Береза	48,6	6,4	45,0
Бук	48,5	6,3	45,2
Вяз	50,2	6,4	43,4
Дуб	49,4	6,1	44,5
Ель	49,95	6,40	43,65
Ива	51,0	6,25	42,75
Клен	49,8	6,3	43,9
Липа	49,4	6,9	43,7
Лиственница	50,1	6,3	43,6
Ольха	49,1	6,23	44,67
Осина	49,55	6,20	44,25
Сосна	49,6	6,4	44,0
Тополь	49,7	6,3	44,0
Ясень	49,4	6,1	44,5

Выводя средние величины, можно полагать, что абсолютно сухая древесина или органическая масса древесины содержит (в процентах):

углерода (C) 49,6,
водорода (H) 6,3,
кислорода (O) . . . . . 44,1.

К процентному содержанию кислорода нужно отнести содержание азота, которое колеблется от 0,7 до 1,3%, в зависимости от породы дерева.

Вычисляя состав клетчатки по формуле $C_6H_{10}O_5$, получаем следующие величины:

$$C = \frac{72 \cdot 100}{160} = 44{,}4\%;$$

$$H = \frac{10 \cdot 100}{160} = 6{,}2\%;$$

$$O = \frac{80 \cdot 100}{160} = 49{,}4\%.$$

В древесине, кроме клетчатки, содержится, как было отмечено выше, лигнин—инкрустирующее вещество, а также белковые вещества, смолы и минеральные вещества, растворенные в древесном соке, которые попадают, вместе с водой, из почвы по сосудам—трубкам, образовавшимся из ряда клеток.

Лигнин, белковые вещества и смолы содержат больше углерода, чем клетчатка, а потому среднее содержание основных эле-

ментов в сухой древесине отличается от состава клетчатки. Средний состав сухой древесины может быть представлен так (в процентах):

углерод (C)	49
водород (H)	6,3,
кислород (O)	42,7,
азот (N)	1,0,
зола (A)	1,0,
Итого	100

Зола образуется из минеральных веществ после сжигания древесины и отличается тугоплавкостью, так как в ней преобладают весьма тугоплавкие соединения: CaO, MgO, K_2CO_3. Количество золы в древесине колеблется от 0,5 до 1,5%. Содержание золы в дереве распределяется неодинаково. Так, содержание золы в отдельных частях дерева, выражая ее количество в процентах веса абсолютно сухой древесины, такое (в процентах):

в коре	2,5—3,
в стволе	0,7—2,
в мелких ветвях	3 —4,
в листьях	до 7.

Зольность дров повышается, в зависимости от способа доставки при сплаве, вследствие загрязнения песком, содержание золы достигает 4—5%, при доставке дров по железной дороге зольность не превышает 1,5—2%. В среднем, зольность древесины по стволу можно принять 1,4—1,5%.

Древесное топливо содержит некоторое количество гигроскопической воды, которое зависит от времени рубки дерева, от его породы, возраста, условий местопроизрастания и способа хранения.

Дерево, только что срубленное, содержит от 40—60% влаги; дерево, подвергнутое воздушной сушке,—от 15—20%. Содержание влаги в отходах деревообработки колеблется в очень широких пределах. Так, в опилках количество влаги колеблется от 40—65%, в зависимости от времени года и выдержки перед распиловкой на берегу или в бассейне. Отходы столярных производств содержат влаги не свыше 15—20%, так как древесина поступила в обработку после предварительной сушки. Отходы фанерного производства также имеют переменную влажность от 20—30%, в зависимости от условий пропарки фанеры, склеивания и прессования.

Отходы лесосечной древесины так же, как срубленное дерево, имеют влажность в пределах 40—60%. Но если срубленное дерево только через год лежания на воздухе приобретает так называемое воздушно-сухое состояние, то лесосечные отходы высыхают до такого состояния в течение 3—4 месяцев.

В таблице 27 собраны данные элементарного анализа отходов лесосечной древесины, произведенных в теплотехнической лаборатории ЛТА. По этой таблице можно сделать заключение, что по элементарному составу отходы лесосечной древесины мало отличаются от состава ствола, и только кора имеет несколько повышенное содержание углерода, а также возрастает зольность хвои и коры.

Повышение зольности в отходах—незначительно, а потому использование отходов, как топлива, для газофикации не может составить затруднения.

Таблица 27

Элементарный состав отходов лесосечной древесины (в процентах от сухого веса)

Порода	Часть дерева	Углерод	Водород	Кислород	Зола	Влага	Летучие	Целлюлоза	Лигнин
Сосна	Древесина	50,78	6,02	42,71	0,49	21,61	80,82	57,33	27,81
	Кора	50,02	6,28	41,50	3,20	27,27	69,25	—	—
	Хвоя	49,66	6,72	40,28	3,34	14,04	73,85	—	—
Ель	Древесина	51,81	5,97	41,41	0,81	49,37	85,25	60,56	28,28
	Кора	51,09	6,11	38,85	3,95	14,28	68,74	—	—
	Хвоя	49,68	6,31	39,50	4,51	8,66	79,38	—	—
Ольха	Древесина	49,92	6,44	43,20	0,44	48,33	84,43	54,70	24,88
	Кора	52,13	6,62	38,84	2,41	46,40	68,50	—	—
Береза	Древесина	49,90	6,37	42,98	0,75	39,22	80,13	61,42	23,27
	Кора	52,37	6,62	38,31	2,70	42,19	73,83	—	—

2. Теплотворность древесины

Каждое топливо, независимо от его происхождения и свойств, может быть разделено на две части: органическую или горючую, которая состоит из соединений углерода (C), водорода (H), кислорода (O), азота (N), горючей серы (S), и балласт, в который входит зола (A), несгораемая сера (S) и гигроскопическая вода (W). Так как в древесине нет серы, то из дальнейшего рассмотрения она исключается.

Обозначим балласт $Б = A + W$, выражая составляющие его части в процентах веса топлива. Полагая, что горючая или органическая часть топлива содержит углерод, водород, кислород и азот в количествах, выраженных в процентах веса этой части, которые обозначим C_o, H_o, O_o, N_o, будем иметь такое выражение:

$$C_o + H_o + O_o + N_o = 100.$$

Зная величины содержания элементов, составляющих органическую часть топлива, можно произвести пересчет органического вещества состава топлива на рабочее топливо, а именно:

$$C_p = \frac{100 - Б}{100} C_o.$$

$$H_p = \frac{100 - Б}{100} H_o.$$

$$O_p = \frac{100 - Б}{100} O_o.$$

$$N_p = \frac{100 - Б}{100} N_o.$$

После пересчета на рабочее топливо, зная содержание W и A, будем иметь такое равенство:

$$C_р + H_р + O_р + N_р + W + A = 100.$$

По заданному составу топлива определяется его теплотворность или рабочее значение теплотворности[1].

Теплотворность топлива может иметь высшее или низшее значение. Высшее значение теплотворности—это то количество тепла, которое выделяется топливом при сгорании в предположении, что водород при сгорании образует воду, но не пар.

Низшее значение—это количество теплоты, выделенное топливом за вычетом теплоты, пошедшей на испарение гигроскопической воды топлива, и воды, образовавшейся от сгорания водорода.

Если топливо содержит H кг водорода, то при сгорании топлива образуется 9 H кг воды, а вместе с W кг гигроскопической воды всего образуется пара при сгорании топлива—(9 H + W) кг.

Теплота парообразования 1 кг воды при 100° равна 637 кал.; полагая, что топочные газы охлаждаются до 20° без изменения состояния испаренной воды, можно принять потерю теплоты при этом (100—20) · 0,48. Каждый килограмм пара унесет в трубу: 637 — (100 — 20) · 0,48 = 599 кал/кг; округляя, можно принять—600 кал/кг. Следовательно, полная потеря тепла с водой, превращенной в пар:

$$600\ (9\ H + W)\ \text{кал/кг}.$$

Если же H и W выражены в процентах, то это выражение будет написано так:

$$600\frac{(9\ H + W)}{100}.$$

Следовательно, нижнее значение или рабочая теплотворность может быть написана так:

$$K_{раб} = K_в - 600\ (9\ H + W)$$

или

$$K_{раб} = K_в - 6\ (9\ H + W),$$

если составные части топлива выражены в процентах.

Для определения теплотворности топлива применяются следующие формулы:

Формула Дюлонга:

$$K_в = 8140\ C + 34\,200\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500\ S.$$

Если составные части топлива выражены в процентах от веса топлива, то каждый член формулы должен быть разделен на 100.

Формула Менделеева отличается от формулы Дюлонга не только коэфициентами, но еще и тем, что кислород, по предположению Менделеева, связан с серой, а не с водородом. Он принял теплотворность водорода в 30 тыс. кал., для серы—2600. После

[1] Термин „теплотворность" применен автором взамен обычного термина „теплотворная способность". *(Примеч. ред.).*

обработки, на основе проделанных испытаний, Менделеев дал формулу:

$$K_в = 8100\ C + 30\,000\ H + 2600\ (S - O),$$

которая применима для всяких твердых топлив.

Рабочая теплотворность, принимая во внимание вышесказанное, получится в виде таких формул:

Формула Дюлонга:

$$K_{раб} = 8140\ C + 34\,200\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500\ S - 600\ (9\ H + W)$$

или, учитывая потерю теплоты на испарение воды в количестве 600 · 9 H, получим теплотворность водорода не 34 200, а 34 200 — — 9 · 600 = 28 800 кал.

$$K_{раб} = 8140\ C + 28\,800\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500\ S - 600\ W.$$

Формула Дюлонга после некоторых изменений коэфициентов предложена Союзом немецких инженеров:

$$K_{раб} = 8100\ C + 29\,000\left(H - \frac{0}{8}\right) + 2500\ S - 600\ W.$$

Формула Менделеева:

$$K_{раб} = 8100\ C + 30\,000\ H + 2600\ (S - O) - 600 \cdot (9\ H + W).$$

Вес древесины зависит от изменения ее удельного веса. Если рассматривать плотную массу древесины, то ее удельный вес называется **действительным**, а удельный вес древесины с воздухом и водой, находящимися в ней, называют кажущимся.

Действительный удельный вес изменяется около 1,5; кажущийся удельный вес сухой древесины—от 0,39 до 0,85, а влажной—на 25—50% более приведенного для сухой древесины. В таблице 28 показаны значения веса 1 куб. м швырковых расколотых дров плотной укладки абсолютно сухих и воздушно-сухих с влажностью 25%.

Таблица 28

Порода	Влажность	
	Абс. сухие	Воздушно-сухие
	Вес 1 куб. м/кг	
Дубовые	405	542
Березовые	355	473
Сосновые	287	488
Осиновые	270	373
Еловые	264	346

На удельный вес сложенных дров, кроме влажности, имеет существенное влияние плотность укладки, т. е. величина промежутков между поленьями, которая составляет (в процентах) для:

крупных дров 20,
обыкновенных . . . . . 25—35,
сучьев . . . . . 28—43,
хвороста . . . . . 40—85.

Вес складочной меры древесины зависит, главным образом, от „полнодревесности", т. е. от отношения плотной массы древесины к занимаемому ею объему.

Полнодревесность зависит от следующих условий:

а) длины поленьев,—чем больше длина дров, тем менее полнодревесность;

б) толщины поленьев,—чем толще поленья, тем выше полнодревесность;

в) породы—дуб и береза имеют меньшую полнодревесность, чем сосна, ель и осина;

г) чистоты обрубки сучьев;

д) плотности укладки;

е) способа укладки,—так, поленница с клетками по концам имеет меньшую полнодревесность, чем поленница в кольях.

Теплотворность органической массы древесины различных пород не характеризует топливных свойств дерева достаточно полно для целей практических, так как теплотворность дров следует оценивать по объему, а не по весу. Нужно теплотворность топлива (кал/кг) умножать на удельный вес данной породы древесины, тогда оценка, сделанная таким способом той или другой породы, даст правильное представление о теплотворности единицы объема породы древесины. Получающиеся при этом величины видим в таблице 29.

Таблица 29

Дрова	Теплотворность (орг. массы) н/знач.	Уд. вес абс. сух. дерева	Удельная теплотворность
Дуб	4 530	0,64	2 899
Береза	4 590	0,57	2 616
Сосна	4 740	0,42	1 991
Ольха	4 540	0,43	1 952
Ель	4 510	0,38	1 714
Осина	4 450	0,37	1 647

После теплотворности величиной, характеризующей топливо, является его жаропроизводительность. Под этим названием разумеют ту наибольшую температуру, которая получается при наивыгоднейших условиях сгорания топлива. При таком сгорании топлива должны получиться продукты полного окисления при теоретически необходимом количестве воздуха, т. е. С сгорает в CO_2 и Н—в H_2O. Затраченное топливом тепло идет на нагрева-

ние продуктов горения, если потерь во внешнюю среду нет. Жаропроизводительность топлива есть теоретический предел, к которому следует стремиться при сжигании топлива.

Жаропроизводительность древесины — 1547°. Испарительность—3,8.

Характер горения различных пород дров обусловливается разным составом летучих веществ, тогда как количество летучих в них почти одинаково—80—85%.

Береза и некоторые хвойные породы дают богатое углеродом сильно излучающее пламя, тогда как осина горит прозрачным пламенем синеватого оттенка с содержанием окиси углерода.

Различное содержание углеводородистых соединений в пламени различных пород древесины обусловливает характер горения дров в печах. Так, наиболее жаропроизводительным топливом будут дрова березовые или горной сосны; далее пойдут дрова из дуба и простой сосны; средними можно считать еловые и ольховые и маложаропроизводительные—осиновые.

Все породы древесины легко воспламеняются и дают длинное пламя, особенно хвойные породы.

В большинстве современных топочных устройств при котельных установках деревообрабатывающих предприятий опилки, стружки и другие мелкие отходы сжигаются с иными отходами: горбылями, рейками, щепой и часто с дробленкой, т. е. с крупными отходами, предварительно подвергнутыми измельчению в особых дробилках. Сжигание отходов деревообработки производится в топках весьма разнообразного устройства.

Для более успешного сжигания опилок к ним следует примешивать кусковые отходы, но все же не слишком крупные, так как они могут произвести закупорку топки и нарушить весь процесс горения. Лучше всего идет процесс горения при опилках с примесью дробленки размерами не крупнее 10—15 см. С такой добавкой паропроизводительность котла повышается.

Опилки, применяемые в топке, дают плотный слой на колосниковой решетке с большим сопротивлением прохождению воздуха.

Прибавка в опилки дробленки или щепы разрыхляет слои, усиливая пористость массы топлива, и горение становится более интенсивным, вследствие правильности и равномерности притока воздуха, охватывающего мелкие частицы топлива.

Опилки и другие виды мелкого древесного топлива, находясь в слое на колосниковой решетке, не сохраняют постоянства положения, так как струи воздуха, проходящего через живое сечение решетки, перемещают частицы топлива с одного места на другое там, где имеются утоненные места в слое. Нарушение толщины слоя, начавшись в одном месте, будет развиваться непрерывно, так как воздух устремится по линии наименьшего сопротивления. В результате, устойчивость процесса горения нарушится при некоторых условиях; в том месте, где произойдет скопление опилок, процесс горения приостановится совсем. Это будет там, где в слое после засыпки через загрузочное отверстие обрушатся опилки. Такое самонарушение процесса при горении мелких отходов в топке

требует постоянного вмешательства кочегара в работу топки. Правильный подвод воздуха в слой топлива при постоянных изменениях в его толщине и плотности фактически становится невозможным. Вмешательство кочегара может лишь временно устранить естественно происходящие неправильности в распределении топлива по решетке, но затем влияние случайных причин скажется в полной силе. Необходимо отметить, что для правильного воздействия на ход топки нужен хорошо подготовленный состав кочегаров, что не всегда бывает на деревообрабатывающих предприятиях. Присадка к опилкам дробленого топлива несколько улучшает и делает состояние слоя топлива более устойчивым. Но в крупных установках с большим расходом топлива сохранение постоянства толщины слоя еще более затруднительно, так как перемещение руками кочегара больших скоплений топлива крайне трудно, а иногда и невозможно. Из дальнейшего описания топочных устройств будет видно, что значительное большинство их работает неудовлетворительно, и только так называемые финляндские топки дают сравнительно удовлетворительный процесс сжигания опилок. Значительным затруднением при сжигании опилок и древесины вообще является наличие в древесине большого количества летучих—до 85%—и большой унос топлива. Развитие топочной камеры и придание ей надлежащей формы представляет самую трудную сторону проектирования опилотопок. Подвод вторичного воздуха и подогрев его должны быть устроены так, чтобы смешивание летучих с вторичным воздухом произошло в той части топочной камеры, где будет обеспечено при достаточно высокой температуре возможно более полное сгорание летучих. Распределение тепла в топке должно быть таково, чтобы температура в ней была возможно выше, так как древесные отходы, как топливо с большим содержанием влаги, требуют большого количества тепла для подсушки. Поэтому в таких топках необходимо особенно внимательно отнестись к распределению теплособирающих и излучающих сводов, и „прямая отдача" тепла должна быть направлена с возможно меньшим понижением температуры в топке.

Наиболее правильным способом сжигания опилок и мелких отходов явилось бы сжигание этого топлива во взвешенном состоянии, так как только при таком способе обеспечивается правильное смешение опилок с воздухом, а, следовательно, и возможно более полное сгорание. Но сжигание опилок во взвешенном состоянии еще не получило никакого разрешения, и целый ряд явлений, от которых зависит сжигание топлива таким способом, не выяснен.

3. Подготовка крупных отходов деревообработки для сжигания в топках котлов

Крупные отходы, как горбыли, рейки, торцевые обрезки, перед подачей в топку должны быть раздроблены и превращены в так называемую дробленку. Размеры и производительность дробильных машин зависят от количества отходов и расхода их в котельной. Успешность сжигания древесины зависит от размеров кусков, степени их влажности и способа подачи в топку. Так как

крупные отходы деревообработки лесопиления отличаются большим содержанием влаги, то сжигание даже крупных дробленых отходов с этой стороны представляет большие затруднения. Для мелкого дробления крупных древесных отходов применяют разнообразные станки—дробилки. Длина кусков дробленки колеблется для котельных топок от 30—50 мм, для транспортных газогенераторов длина дробленки должна быть 6—8 мм, а для непередвижных газогенераторов—10 мм; а в поперечном сечении куски древесины должны иметь 25 см². В таком виде дробленка становится удобной для перемещения в самых разнообразных транспортных устройствах. Дробильный станок системы Робертфорса показан на рис. 1 (внешний вид) и на рис. 2—схематический внутренний вид устройства дробилки. Дробильный станок имеет следующее устройство. Ножевой вал представляет вращающийся цилиндр с сегментами, к которым прикреплены ножи болтами с гайками. За ножами на сегментах имеются установочные винты для поддержки и регулировки положения ножей. Внизу подводящего жолоба находится неподвижная наклонная плоскость, в которую упираются концы отходов, подлежащих дроблению. С помощью особого установочного винта наклонная плоскость может быть перемещена ближе к ножам или далее от них. Верхний край подающего жолоба имеет фланец для укрепления жолоба транспортера. К фланцу ножевого вала прикреплен рабочий шкив, который одновременно является маховиком. Приводной вал на обоих концах имеет установочные кольца; на этом валу укреплен ножевой вал и шкив. Приводной вал лежит в упорных и кольцевых подшипниках с кольцевой смазкой, вкладыши которых залиты белым металлом. Ножевой вал закрыт особым предохранительным кожухом, который для больших дробильных станков изготовляется из листового железа, а для малых—из чугуна. Станок установлен на чугунной фундаментной плите, отлитой с ребрами для устойчивости. Весь станок устанавливается на каменном фундаменте из кирпича или бетона.

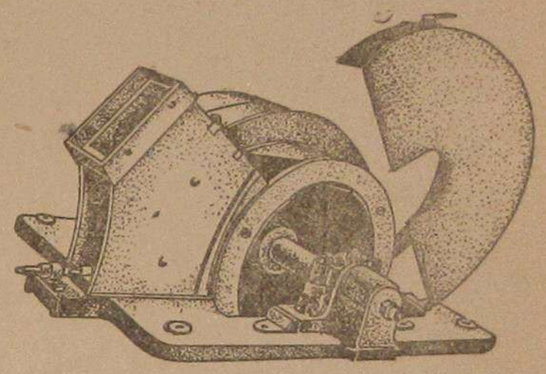


Рис. 1. Дробильный станок для отходов лесопильных заводов для отопления паровых котлов.

Дробильный станок питается при помощи жолоба отходами: рейками, горбылями и кругляками в диаметре до 125 мм, которые дробятся в куски длиной 30—50 мм. Отходы, двигаясь своей тяжестью в наклонном жолобе, падают на сегменты поверхности вала, где они при вращении его дробятся при каждом проходе ножа мимо наклонной плоскости, дающей направление длинным отходам. Дробленка падает в транспортер, находящийся под станком, который передает ее в складочный сарай в котельной или в бункер при топках котлов.

Дробильные станки изготовляются трех размеров. С ножами шириной в 280, 230 и 160 мм. Станок с ножами в 280 мм устана-

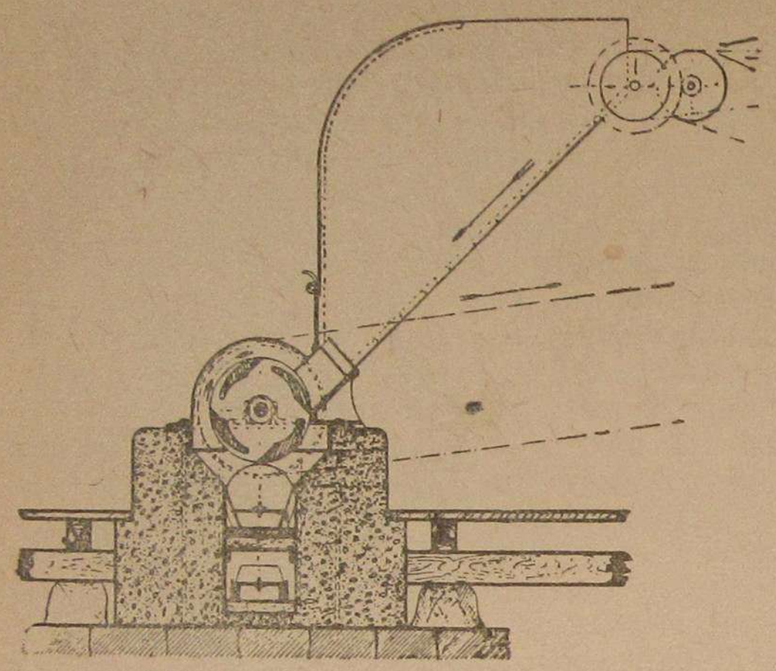
вливается в лесопильных заводах для мельчения более крупных отходов: реек, горбылей и обслуживает две лесопильные рамы. Этот станок может быть использован для дробления сучьев и кругляка до 125 мм в диаметре. Станок с ножами в 230 мм подходит к лесопильным заводам средней производительности и столярным мастерским для дробления отходов от 1—1,5 рам. Станок с ножами в 160 мм устанавливается в столярных мастерских для размельчения мелких отходов. В таблице 30 даны размеры и производительность дробильных станков малой и средней производительности, изготовляемых шведскими фирмами.

Вес станков приблизительно: №№ 1 и 2—1,8 т, №№ 3 и 4—1,52 т и №№ 5 и 6—0,72 т.

Более крупные станки-дробилки заводов Svenska Maskinverken дают производительность от 30 м³/час до 100 м³/час и выше.

Характеристика и назначение этих станков-дробилок даны в таблице 31.

Кроме вышеописанных дробилок, названная фирма строит дробилки для отходов лесосечной древесины: сучьев, веток, вершинок, хвороста, кустарника. В дробленом виде отходы лесосечной древесины являются ценным топливом для котлов и газогенераторов. Эти дробилки приводятся в движение нефтяными двигателями или электродвигателями. По испытаниям, произведенным в паровых установках, определено, что $4^1/_2$ гл отходов по теплотворности равны 1 гл каменного угля. Необходимая мощность для дробилки—15 л. с., число ножей—4, число оборотов в минуту—1400; размеры



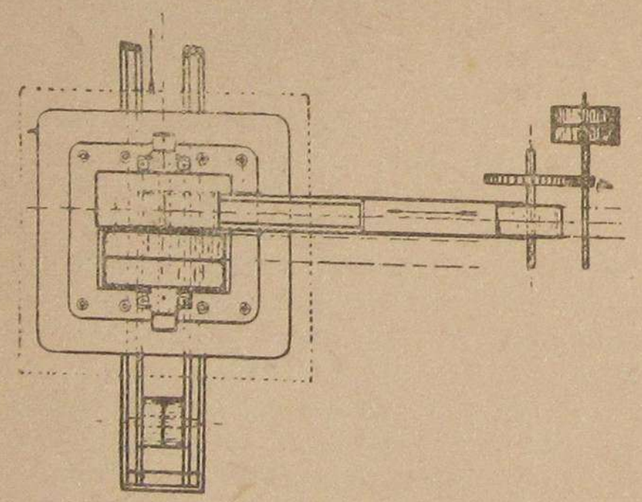


Рис. 2. Установка дробильного станка.

шкива—300 · 160 мм, размеры приемного отверстия—600 · 340 мм и площадь установки—900 · 1100. Производительность таких дробилок от 30—50 гл/час. Дробилка в основании имеет чугунную плиту для установки на деревянном фундаменте. На валу машины два шкива—рабочий и холостой.

Таблица 30

Размеры и производительность дробильных станков малой и средней производительности

Тип станков	Ножи		Жолоб		Производит. в м³/час	Шкивы		Число оборотов в мин.	Мощность л. с.	Площадь, занимаемая станком, размер в мм
	Ширина мм	Количество штук	Длина мм	Ширина мм		Диаметр мм	Ширина мм			
№ 1 правый	280	4	280	250	25	945	205	280	9—12	1400 · 1500
№ 2 левый	280	4	280	250	25	945	205	280	9—12	1400 · 1500
№ 3 правый	230	4	280	200	20	945	205	300	8—10	1400 · 1500
№ 4 левый	230	4	280	200	20	945	204	300	8—10	1400 · 1500
№ 5 правый	160	4	180	150	8	580	155	500	5— 7	1010 · 875
№ 6 левый	160	4	180	150	8	580	155	500	5— 7	1010 · 875

Кроме перечисленных машин-дробилок, применяются дробилки особого типа (рис. 3) для дробления отходов строгательных станков на такие мелкие части, чтобы их можно было удалять при помощи пневматической установки. Дробилка ставится на 1,5—2 м ниже стола строгательного станка, стружки и обрезки падают в приемник, находящийся в верху дробилки. После дробления стружки падают в особый ящик, связанный с вытяжной трубой. Дробилка приводится в действие от вала строгательного станка или при помощи передачи от этого вала. Вращающийся ножевой вал, установленный на шариковых подшипниках, снабжен 8 ножами, для смены ножей вал можно вынуть из дробилки. Диаметр вращающейся шайбы—175 мм, ширина—220 кг. Объем дробилки—0,57 м³. Для резки отходов лесосечной древесины и корней толщиной до 220 мм на куски определенной длины для выжигания из них угля в ретортах сухой перегонки, для использования в топках котлов или в газогенераторах применяется резальная машина—рис. 4. Подача производится вручную, и длинные отходы древесины можно резать на куски, в зависимости от назначения. Машина имеет чугунную массивную фундаментную плиту, мощный кривошипно-шатунный механизм и маховик, который одновременно является шкивом.

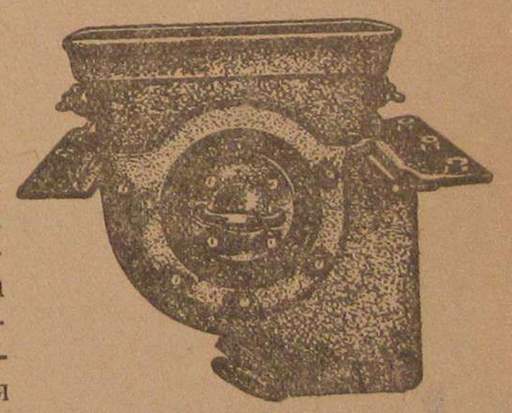


Рис. 3. Станок для размельчения стружки.

Таблица 31

Крупные станкодробилки

Тип дробилки	Производительность в м³/час	Число оборотов в мин.	Необходимая мощность л. с.	Размеры шкива мм	Вес дробилки кг	Число ножей	Размер отверстия приемника мм	Назначение дробилки и ее особенности
№1	30	1000	10—15	375 · 200	850	4	210 · 125	№ 1—малый тип машины для небольших лесопильных заводов, строгательных цехов, столярных и ящичных мастерских, для дробления мягких пород; дробленка средней ровности и равных размеров. Эти машины того же типа строятся с рабочим и холостым шкивами и выносным подшипником для больших нагрузок—вес 950 кг
№2	50	1000	25	500 · 250	1350	6	310 · 175	№ 2—машины среднего типа для средних размеров для размельчения крупных отходов; дробленка менее ровная и не столь однородная, как у дробилки № 1. Машина предназначена для дробления отходов лесосечной древесины и тонкого длинника для газогенераторов. Тот же тип, но с рабочим и холостым шкивами; с внешним подшипником; вес 1,5 т
№3	70	1000	35	500 · 250	1200	10	310 · 175	№ 3—машины для больших лесопильных заводов для дробления всяких отходов—мелких и больших. Дробленка тоньше и ровнее, чем у машины № 2. Такая же машина с двумя шкивами—рабочим и холостым. Вес 1400 кг
№4	100	800	75	712 · 340	2250	12	370 · 300	№ 4 машины для дробления толстых отходов и обыкновенного длинника или мягких брусков для целлулозного производства. Дробилка предназначена для больших лесопильных заводов и дробления большого количества отходов на топливо, для целлулозно-бумажного производства и для газогенераторов. Дробленка ровная и равномерная. Машина имеет два шкива и удлиненный вал с внешним подшипником

Продолжение

Тип дробилки	Производительность в м³/час	Число оборотов в мин.	Необходимая мощность л. с.	Размеры шкива мм	Вес дробилки кг	Число ножей	Размер отверстия приемника мм	Назначение дробилки и ее особенности
№5	200—250	725	150	650 · 525	5500	12	500 · 400	№ 5—мощная дробилка для круглого длинника до 250 мм в диаметре и крупных отходов лесозаготовок—корней сухостоя; предназначена для больших лесопильных заводов, целлулозных фабрик, бумажных фабрик, для дробления отходов на топливо и для металлургических заводов для дробления крупных дров на топливо в печах.

Маховик соединен с фланцевой муфтой, насаженной на валу при помощи деревянных штифтов; при чрезмерном сопротивлении при

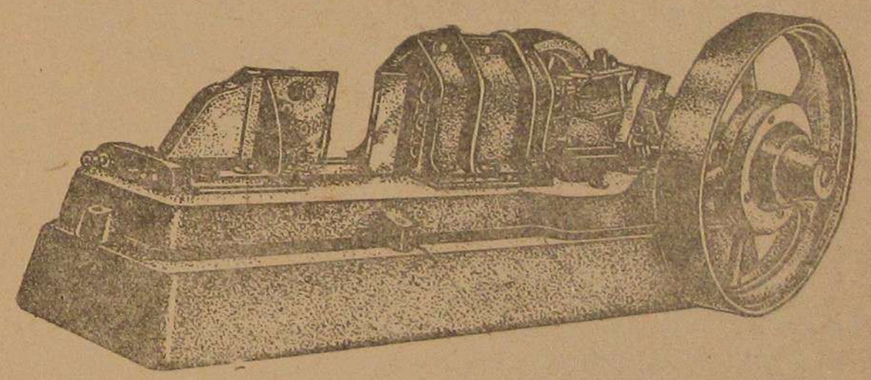


Рис. 4. Станок для дробления реек, корней и сучьев, идущих на переугливание.

резании древесины деревянные штифты срезаются, чем ножи предохраняются от излома, и маховик вращается вхолостую. Машина имеет следующие размеры:

Диаметр шкива	1 200 мм.
Ширина	2 210 „
Число оборотов в минуту	180
Необходимая мощность	15 л. с.
Наибольшее расстояние между ножами	300 мм.
Наибольшая высота ножей	300 „
Число режущих ходов в мин.	60
Размеры фундаментной плиты	3500 · 600 мм.
Вес машины	2 500

На заводе „Белый бычок“ при газогенераторной установке имеется дробилка системы „Виддерс“ с производительностью 800 м³

в сутки или 33 м³/час. Дробилка дает дробленку для питания газогенераторов. Дроблению подвергаются кругляки длиной 1,5 м, диаметром до 200 мм, а иногда и крупнее. Дробилка приводится в движение электродвигателем мощностью 300 л. с. и обслуживается 4 чернорабочими и 4 слесарями в смене. На скребковый транспортер затрачивается 16 л. с. и на ленте, подводящей дробленку к газогенераторам,—9 л. с. Скорость 0,5 м/сек. Чрезмерно большая мощность электродвигателя при дробилке объясняется неравномерностью толщины подаваемого длинника, так как попадаются отрезы и до 30—35 см в поперечнике.

В американской практике применяют дробилки с качающимися билами. Дробилка этого типа состоит из тяжелого стального вала, на котором насажены диски с качающимися билами; при вращении вала била ударяют по кускам засыпанного топлива, а в нижней части дробилки установлены ножи с режущими краями. Кусковые отходы, попадая на ножи, под ударами расщепляются на мелкие куски, которые проваливаются в зазоры между ножами.

4. Хранение древесных отходов и дробленки

Хранение древесных отходов—опилок и дробленки—требует больших площадей, так как этот вид топлива имеет большой удельный объем. Опилки при долгом хранении отсыревают и превращаются в плотную массу, требующую механического раздробления. Поэтому в больших лесопильных предприятиях с большой производительностью, от 50 т—100 тыс. м³, где ежедневное количество опилок достигает 15—30 тыс. кг, следует при помещении опилок в склады подвергать их сушке. Для этой цели применяют сушила башенного типа для отходов; отходы подаются элеватором на верх сушила. Сушило состоит из двух концентрических башен из листового железа с наклонными подовыми плитами для поддержки древесины. Топочные газы пропускаются через сушильную башню во внутреннюю полость при помощи вентилятора и уходят через отверстия в стенах башни с парами выделяющейся воды в дымовую трубу. При загрузке древесных отходов по лотку с элеватора тяжелые куски падают ближе к внутренней трубе сушила, а легкие и мелкие части размещаются у наружной стенки сушила. Дымовые газы проходят, сперва соприкасаясь с крупными кусками, а затем—с мелочью. Засыпанное топливо спускается вниз башни, высушиваясь постепенно. Внизу башни имеется вращающееся коническое днище, с которого топливо сползает и далее транспортером направляется в склады. Башня должна быть все время заполнена древесиной. Емкость башни—70 м³. Открытые склады под навесами для отходов обслуживают экскаваторы, а закрытые бетонные сараи снабжаются конвейерами. В котельную отходы—опилки и дробленка—подаются в приемные бункеры при помощи ленточных, скребковых или винтовых транспортеров, а оттуда в распределительные бункера, из которых топливо рукавами разводится по топкам котлов. Объем бункеров должен быть рассчитан на 2—4-часовой запас топлива на случай порчи транспортной системы для обслуживания котлов.

IV. ТОПКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

1. Общие положения

Процесс горения древесины в топке разделяется на два периода.

Первый период—горение топлива на колосниковой решетке, который может быть подразделен на следующие процессы: подсушку топлива, возгонку и горение угля.

Второй период—горение в топочном пространстве,—горение летучих.

Возможно более полное горение летучих в топочном пространстве обеспечивается таким подводом воздуха в топку, при котором летучие части горючего после их выделения и достаточно высокого подогрева смешивались бы с необходимым и достаточным количеством кислорода воздуха. Необходимый для сжигания летучих кислород подводится с вторичным воздухом, который не проходит через слой топлива, а непосредственно поступает в топочное пространство через особые каналы в обмуровке с выходом в своде топки или в огневом пороге.

Пропускаемое через слой топлива количество воздуха всегда недостаточно для сжигания летучих. При уменьшении толщины слоя процесс горения будет протекать с большими потерями в уходящих газах и большим содержанием кислорода в продуктах горения. При достаточно толстом слое топлива, вследствие окисления топлива, по его поверхности в топочном пространстве окажется недостаток кислорода для окисления выделившихся летучих, следствием чего будет возрастание потерь от химического недожога.

Несмотря на недостаточность, с одной стороны, первичного воздуха при толстом слое топлива или его избыточности при тонком, все же нельзя целиком создать процесс горения летучих за счет вторичного воздуха. Необходимо в топке на колосниках создать слой такой толщины, чтобы через него проходило достаточное количество воздуха в топочное пространство, где произойдет процесс горения летучих при вторичном воздухе в качестве добавочного.

Опыт ряда испытаний дает толщину слоя для дров от 500 до 1400 мм, для древесных опилок 500—600 мм и для торфа 300—350 мм. Большая толщина допускается для влажного и крупного топлива.

Приток воздуха через слой топлива должен быть равномерным, что возможно при одинаковой толщине слоя и равномерной его пористости. Неравномерная пористость слоя вызывает прорывы воздуха, вследствие чего увеличивается коэфициент избытка воздуха и потеря с уходящими газами. Избыток воздуха неблагоприятно отражается на температуре топки, что увеличивает потерю от неполноты сгорания.

Сжигание в топке дров или крупных отходов—нарезанных или дробленых горбылей и реек—не требует никаких особенностей в устройстве колосниковой решетки. Колосники могут быть в виде брусковых балочек длиной в 700 мм, с просветами между ними 20—30 мм. Колосники с прозорами меньших размеров ставят при сжигании древесного топлива твердых пород, дающего много мелкого угля при сжигании, который, догорая в зольнике, является

потерянным. Излишнее уменьшение прозоров приводит к накапливанию на колосниках золы, что осложняет уход за топкой и приводит к ухудшению процесса горения, вследствие уменьшения живого сечения и создания излишнего сопротивления при проходе воздуха.

Топливо, вместе с золой в топке на колосниковой решетке, создает сопротивление проходу воздуха.

Это сопротивление в топке, измеренное над колосниковой решеткой, равно 2—6 мм водяного столба при напряженности зеркала горения от 700—15 000 кал/м²-час. Дрова, как топливо с малой теплотворностью, требуют частого забрасывания в топку и частых открытий дверцы в нее, что вызывает усиленный приток воздуха, а, следовательно, увеличение коэфициента избытка воздуха и возрастание потерь в уходящих газах, химического недожога и понижения температуры. Для уменьшения потерь следует возможно реже открывать дверцу и соответственно установить размер загружаемых порций топлива, в зависимости от устройства котла, свойств топки и, прежде всего, в зависимости от объема топочного пространства. Непрерывная автоматическая подача топлива наиболее удобна, так как устраняет участие кочегара в самом важном действии—в питании топки, оставляя за ним только наблюдение за исправным действием питателя и непрерывностью потока топлива. Но автоматическое питание топки возможно не при всяком топочном устройстве и не при всяких размерах древесного топлива. Автоматическая загрузка возможна только при мелком дробленом топливе и опилках и в тех топках, где может быть устроена самодвижущаяся цепная колосниковая решетка. Использование отходов деревообработки под котлами возможно только при значительном их количестве, так как полезность действия котла на отходах колеблется от 40 до 50%[1], вследствие их значительной влажности.

Для сухих отбросов количество подводимого в топку воздуха может быть ограничено; однако, при сжигании мокрых отбросов приходится принимать особые меры для сохранения достаточно высокой температуры горения, подводя в топку предварительно подогретый воздух.

При низкой теплотворности древесных отходов, от 1800 до 2800 кал., необходимо загружать это топливо в топку большими порциями для достижения того же теплового действия, как при сухом топливе.

Для сжигания древесных отбросов наиболее пригодны наклонные и ступенчатые колосниковые решетки—особенно последние для мелких сортов топлива, например, для опилок при угле наклона немного меньше естественного угла откоса.

Отношение живого сечения колосниковой решетки к полной ее поверхности может быть принято 1:7 и сила тяги в дымоходах не должна превышать 10—12 мм вод. столба. Отдельные ступени ступенчатой колосниковой решетки имеют толщину 10 мм при высоте ступени 35 мм и ширине 100 мм.

[1] Эти цифры относится к устаревшим установкам на существующих предприятиях. В современных установках к. п. д. котельной установки при работе на отходах получается значительно выше. (*Примеч. ред.*).

Отношение между поверхностью колосниковой решетки и поверхностью нагрева котлов будет для топлива с влажностью 25% следующее:

для котлов с жаровыми трубами $\frac{1}{20} - \frac{1}{25}$,

„ локомобилей . . . . . $\frac{1}{25} - \frac{1}{30}$,

„ водотрубных . . . . . $\frac{1}{30} - \frac{1}{35}$.

Топки для древесного топлива делаются всегда внешние впереди или под котлом; топливо сжигается на плоских, наклонных, ступенчатых или колосниковых решетках или в шахтных топках. При выборе котлов следует предпочитать водотрубные котлы, так как при них можно развить камеру сгорания, что особенно важно для сжигания древесных отходов.

Наклонные и ступенчатые топки делаются всегда передние или под котлом. Ступенчатые решетки предназначаются для опилок мягких пород дерева, для коротких машинных стружек и отходов лесосечной древесины.

Если же приходится забрасывать длинные деревянные обрезки в топки, то они вводятся по направлению оси котла, тогда как при наклонных топках их вводят вкось относительно оси котла, чтобы они не провалились в щели колосниковой решетки. У наклонных и ступенчатых решеток на нижнем конце устраивают короткую горизонтальную решетку для задержания топлива при его спуске по наклону колосниковой решетки.

Для улучшения работы топки, а вместе с тем и всей котельной установки влажные древесные отходы подвергают предварительной сушке. Для воздушной сушки служат крытые навесы, которые очень скоро окупаются, так как при хранении под ними отходов теплотворность топлива быстро возрастает.

При наличии брикетного пресса можно даже при незначительном нагревании отбросов древесины и сдавливании их превратить в достаточно прочные брикеты. Для брикетирования опилок и стружек нет необходимости в связующем веществе, брикеты и без него будут вполне крепки, так что их можно сжигать на обыкновенной горизонтальной решетке. Несмотря на затраты по брикетированию, все же такая обработка опилок выгодна, так как низкосортное топливо—опилки—после брикетирования становятся более теплотворными, и котел лучше держит пар. При сжигании опилок врассыпную значителен унос опилок в дымоходы, вследствие чего неизбежны сильные колебания паропроизводительности. Длинные отбросы—рейки, обрезки, горбыли—необходимо подавать в топку колотыми и нарезанными в кусках длиной не более 50 см; иначе при загрузке в топку топочные дверцы придется держать долго открытыми, что вызвало бы понижение температуры в топке. Вследствие усиленного притока холодного воздуха понижается полезное действие топки, а, следовательно, ухудшается полезность всей установки.

2. Сжигание опилок в топке

Опилки, как отход лесопильного производства, являются самым дешевым топливом. Один из видов топки, применяющийся для сжигания опилок,—так называемая шведская топка с плоской колосниковой решеткой, на которой опилки сгорают в коническом слое. Опилки в такой топке сгорают при небольшой влажности—25—30% вполне удовлетворительно, но при большой влажности, выше 50%, горят плохо. На лесопильных заводах после распиловки бревен, извлекаемых из бассейна, опилки имеют влажность 60% и даже выше. Влажность опилок уменьшается по мере подсыхания распиловочной древесины, но все же влажность опилок, сжигаемых в опилотопках котельных лесопильных заводов, значительна и изменяется в широких пределах. При возрастании влажности опилок напряженность поверхности нагрева оказывается недостаточной по сравнению с расчетной. Это обстоятельство может быть объяснено несоответствием объема топки, который становится недостаточным при возрастании влажности.

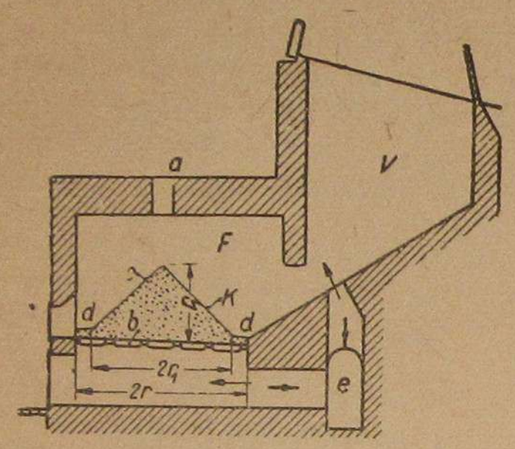


Рис. 5. Шведская топка.

Объем топочного пространства определяется по тепловым напряжениям, т. е. по количеству выделяющейся теплоты при сжигании топлива на 1 м³/час полного объема топочной камеры.

Объем топочного пространства определяется по формуле

$$V_т = \frac{BK_{раб}}{q_т},$$

где B —количество топлива, сжигаемое в кг/час,
$K_{раб}$—рабочее значение теплотворности топлива кал/кг,
$V_т$ —объем топочного пространства м³,
$q_т$ —тепловое напряжение топочного пространства кал/м³час,
$q_т$ —для опилок из сплавного леса на наклонной решетке ($W = 40\%$)—240 т—270 т $\frac{кал.}{м^3\ час.}$
$q_т$ —сжигание опилок в взвешенном состоянии 160 т—190 т кал/см³ час.

На рис. 5 изображена шведская топка. Подача опилок производится через окно a в перекрытии топочной камеры F. Опилки образуют конус C на колосниковой решетке b. Процесс горения происходит, главным образом, по кольцу d у основания конуса. Опилки подсыхают постепенно при сползании по поверхности конуса. Топочная и зольниковая дверцы во время топки должны быть закрыты плотно. Воздух для процесса горения подводится

через колосники по слою d, вторичный воздух подается через канал e в горловину топочной камеры, где он перемешивается с несгоревшими продуктами возгонки и в камере V осуществляется полное сгорание. Подвод первичного и вторичного воздуха регулируется заслонками. При автоматической подаче топлива шведская топка не представляет затруднений при обслуживании. При исправной подаче топлива шуровки его почти не требуется, чистка топки может производиться после длительных промежутков времени.

Пределы напряженности колосниковой решетки при сухих опилках определяются высшей возможной величиной тяги, высшей температурой в топке и объемом топочного пространства и камеры сгорания. При мокрых опилках напряженность топочного пространства становится ниже, так как часть тепла необходимо затратить на испарение воды до начала процесса полного сгорания.

Напряженность колосниковой решетки при сжигании опилок (для естественной тяги):

Опилки и другие влажные отходы лесопиления . .	400 $\frac{кг}{м^2\ час.}$
То же воздушно-сухие	200—250 „
„ в шведских топках	200 „
Корье ($K_{раб} = 1100—1300$ кал.) на наклонной решетке в зависимости от влажности	140—230 „

При проектировании шведской топки нужно обратить особое внимание на процесс подсушки опилок.

Подсушка опилок проходит, главным образом, по поверхности конуса. Количество опилок, которое может быть подсушено на колосниковой решетке, определяется следующим расчетом.[1]

Поверхность колосниковой решетки R можно принять приблизительно равной площади круга с некоторым радиусом r (обозначения рис. 5),

$$R = \pi r^2.$$

Боковая поверхность конуса топлива

$$F = 2\pi r_1 \frac{\sqrt{r_1^2 + r_1^2}}{2} = \pi r_1^2 \sqrt{2},$$

угол конуса в основании примем равным 45°, r_1—радиус основания корпуса.

Отношение $\frac{r}{r_1}$ зависит от величины опилок и силы тяги в топке, под влиянием которой будет изменяться конус топлива.

Радиус основания конуса топлива можно принять $r_1 = 0{,}8\ r$, тогда поверхность конуса

$$F = \pi r_1^2 \sqrt{2} = \pi \cdot 0{,}64 r^2 \sqrt{2} = 0{,}9 R.$$

[1] Die Wärme. 1932, № 47.

Подсушка опилок на поверхности конуса происходит вследствие излучения от нагретой обмуровки и действия горячих газов.

Поверхность конуса получает лучеиспусканием следующее количество тепла:

$$Q = 4F\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4 = 3{,}6\,R\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4 \text{ кал-час.}$$

Это количество тепла идет на испарение воды из опилок, вес которых обозначим через P.

Испарение происходит при атмосферном давлении и при температуре 100°, тогда теплота нагрева опилок и испарения воды будет:

$$Q = P(100 \cdot 0{,}6 + 600 \cdot W_{\text{оп}}) \text{ кал.-час.}$$

Здесь 0,6—теплоемкость мокрых опилок.

Сопоставляя оба выражения для Q, можно определить количество опилок P, которое может быть высушено на колосниковой решетке:

$$P \cdot (100 \cdot 0{,}6 + 600 \cdot W_{\text{оп.}}) = 3{,}6\,R\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4,$$

откуда

$$P = \frac{3{,}6\,R\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4}{600\,W_{\text{оп.}}+60}.$$

При помощи этого выражения определится напряженность колосниковой решетки при подсушке опилок:

$$B = \frac{P}{R} = \frac{3{,}6\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4}{600\,W_{\text{оп.}}+60} = \frac{0{,}06\left(\frac{t_{\text{топ.}}+273}{100}\right)^4}{100\,W_{\text{оп.}}+1}.$$

Эта величина зависит от температуры в топке и от влажности топлива.

При предварительной основательной подсушке опилок и доведения влажности до 10% $\frac{B}{R}$ может быть доведено до 500 кг/м²час при подогреве воздуха до 200°. Такое увеличение напряженности колосниковой решетки возможно при достаточном развитии пространств топочного и дожигательного.

Шведская топка при правильно выбранных размерах топочного пространства и камеры догорания и умелом регулировании подвода первичного и вторичного воздуха пригодна для сжигания древесных отходов со всякой степенью влажности.

3. Топки для отходов деревообработки

Выносная топка с ручной загрузкой

На рис. 6 представлена одна из самых простых топок для опилок и других отходов деревообработки—стружек и мелких

обрезков. Отходы для этой топки на заводе, где она установлена, поступают вполне сухие, так как древесина до обработки подвергается сушке. Представленная на чертеже топка пристроена к корнвалийскому котлу с поверхностью нагрева 53 м². Колосниковая решетка имеет площадь 2,66 м² и собрана из балочных колосников. Емкость топочного пространства—3,77 м³ в пределах выносной топки. В этой топке при употреблении сухого топлива в рыхлом слое с легкой воспламеняемостью и малым сопротивлением проходу воздуха развивается высокая температура, вследствие чего в топке оплывают и разрушаются стенки и своды топки.

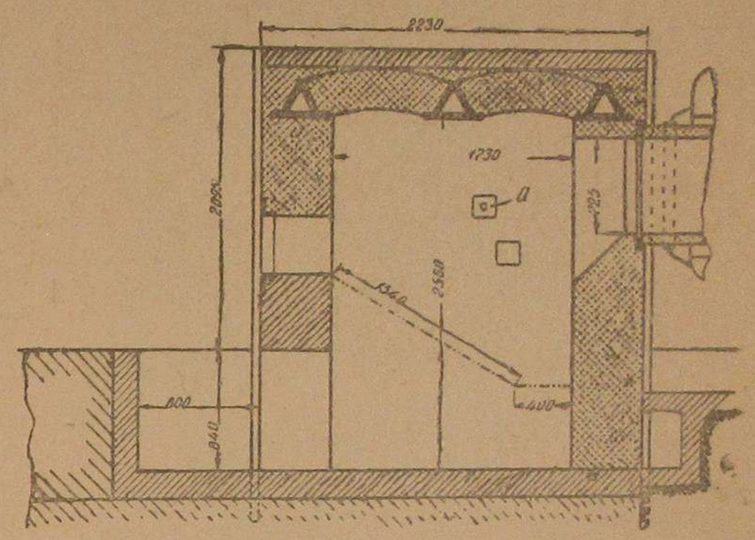


Рис. 6. Выносная топка с ручной заброской топлива. *а*—точка для анализа газов.

Произведенные Теплотехническим институтом испытания этой топки, как и всех последующих, дали следующие величины. При очень сухом топливе с 11,5% влажности и высокой теплотворности $K_p = 4000$ кал. напряженность топочной камеры 666 тыс. кал/м³-час, а с учетом объема половины жаровой трубы—395 тыс. кал/м³-час.

Температура газов в топке, в среднем, была 1230°, но иногда доходила до 1400°, за котлом в борове температура была 426°.

Напряженность колосниковой решетки—184 кг/м² оказалась небольшой, вследствие размеров колосниковой решетки, несоответствующей объему топочной камеры и поверхности нагрева котла при отношении

$$\frac{R_{\text{к. реш}}}{H_{\text{к}}} = \frac{1}{20}.$$

При незначительном сопротивлении в слое топлива (4 мм вод. ст.) напряженность поверхности нагрева котла доходила до 38 кг/м³-час при средней величине 27,8 кг/м²-час.

Плохая работа топки зависела не только от неудовлетворительной конструкции топки, но и от неправильности обслуживания топки. Загрузка топки производилась с большими промежутками и большими порциями по 60 лопат в один прием. Большие порции топлива, загруженные одновременно, вызывают большие потери, вследствие плохого сгорания углеводородистых соединений. Полезность котла с этой топкой оказалась $\eta_{\text{к}} = 48\%$. Описанная топка непригодна для работы на сухих отходах, вследствие незначительности прямой отдачи, отчего в топке развивается высокая темпе-

ратура, разрушительно действующая на обмуровку. Коэфициент избытка воздуха в топке оказался $\alpha = 1{,}18$ (за жаровой трубой). При таких условиях горения происходит большая потеря от химического недожога—11,11%. Для улучшения процесса горения в топке этой конструкции необходимо устройство подвода вторичного воздуха через боковые стенки.

Неправильное ведение топки с частым открыванием топочных дверец вызывает охлаждение топки, чем нарушается режим, а это усиливает потерю от химического недожога, связанного с большими загрузками топлива.

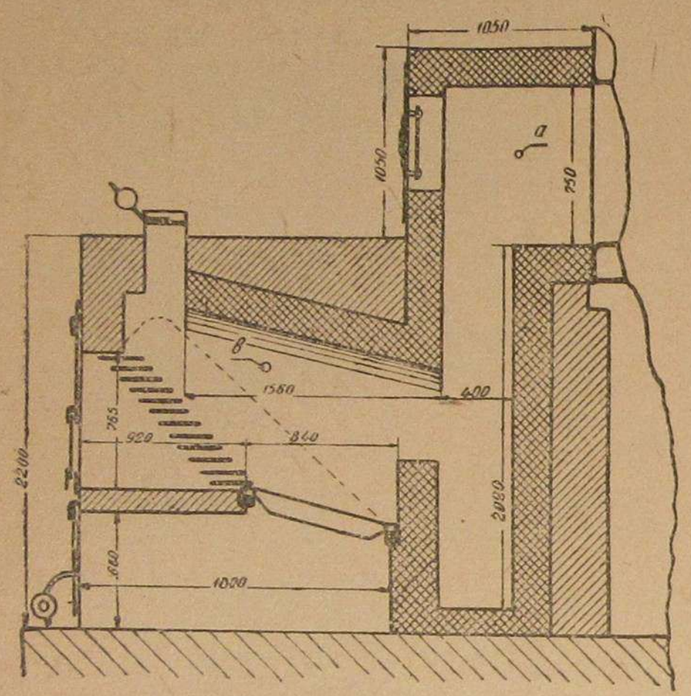


Рис. 7. Выносная топка с дожиг. камерой *а*, *в*—точка для анализа газа.

Выносная топка с дожигательной камерой (рис. 7)

Эта топка устроена при локомобильном котле с поверхностью нагрева 26,5 м², с перегревателем 26,9 м². Топка имеет ступенчатую колосниковую решетку с балочкой внизу, емкость топочной камеры—2,7 м³. Вследствие недостаточности тяги в топке (1 мм вод. столба) топка работает только на обрезках и рейках и очень затруднительно — на опилках, вследствие недостаточности топочного объема. Первичный воздух подводится через зазоры колосниковой решетки в слой топлива, а вторичный воздух подводится через нижнюю колосниковую решетку у огневого порога при прогорании топлива. Однако, при прогорании топлива просветы на решетке уменьшаются, вследствие сдвига топлива, и подвод вторичного воздуха постепенно уменьшается. Достаточно высокий порог и свод, наклоненный к порогу, обеспечивают перемешивание продуктов неполного горения с вторичным воздухом, так что процесс сгорания в вертикальной шахте протекает удовлетворительно. При значительной влажности топлива—52,2% и малой температуре, нижнее значение теплотворности равно 1881 кал/кг и при довольно значительной напряженности топочной камеры—286 тыс. кал/м³, сгорание в дожигательной камере, имеющей большой объем и представляющей развитие топочного объема, идет вполне удовлетворительно. По анализу газов в верху дожигательной камеры углекислоты оказалось—14,6%, в этом же поясе температура газов—907°, тогда как в подготовительной камере—510°. Напряженность поверхности нагрева—27,8 кг/м²-час. При большом объеме подготовительной камеры и повышении в ней температуры горение в дожигательной

камере углеводородов происходило бы полностью. Развитие подготовительной камеры особенно желательно, принимая во внимание короткие пути продуктов горения в топке.

Шведская топка

Такая топка (рис. 5) устроена под котлом „Бабкок“ судового типа на заводе „Пролетарий“ Кареллеса. Котел имеет 250 м² и перегреватель 85 м². Устройство топки с загрузкой уже описано выше. Воздух проходит только по краям колосниковой решетки через наименьшую толщину слоя. Площадь колосниковой решетки — 13,5 м²; объем топочного пространства $V = 28—30$ м³. При испытаниях были получены следующие характеристики:

При топливе — опилки с дробленкой при 50% влажности—напряженность колосниковой решетки—167 кг/м²-час, топочного пространства—165 тыс. кал/м³-час и напряженность поверхности нагрева — 17,4 кг/м²-час. Разрежение в топке, вследствие большого сопротивления слоя, было 7 мм вод. ст. При неравномерной загрузке топки работа ее характеризуется неустойчивостью состояния. Хотя топка по конструкции прочная и дешевая, все же экономичности в расходовании топлива добиться не удается при обычном небрежном отношении кочегаров и отсутствии надлежащего инструктажа.

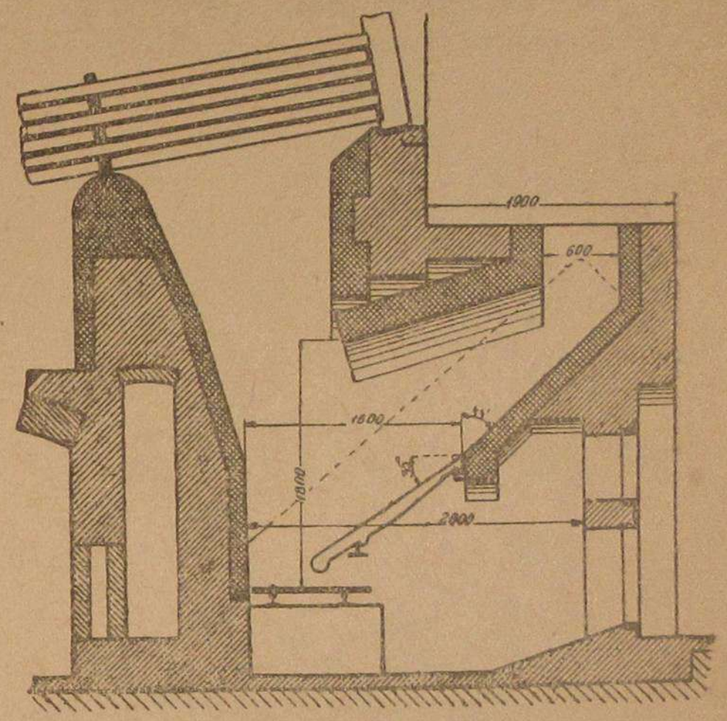


Рис. 8. Нижняя топка с наклонной шахтой.

Нижняя топка с наклонной шахтой

Топка этой конструкции (рис. 8) установлена под котлом „Бабкок“ на лесопильном заводе. Котел имеет поверхность нагрева 100 м², колосниковая решетка $R = 2{,}79$ м² при объеме топочного пространства $V = 5{,}8$ м².

Один из котлов работал на опилках (влажность—47%), другие—отапливались смесью опилок с дровами (от 6,3—11,75% по весу).

По своим очертаниям шахты и топочного свода топка не дает подсушки топлива, а при большом угле наклона колосниковой решетки в топке непрерывно происходят завалы решетки сырым топливом и горящее топливо затухает. Объем топки оказался крайне

недостаточен, и процесс горения летучих настолько неудовлетворителен, что была мала напряженность поверхности нагрева котла. Испытания котла показали: при опилках с дровами поверхность нагрева давала пара 15,11—18,92 кг/м²-час и на одних опилках—17,99—19,2 кг/м²-час. Полезность котла оказалась низкой—61%. Тепловое напряжение топочного пространства 270—300 тыс. кал/м³-час.

Финская топка

Финская топка установлена впервые на фабрике Warkaus. Приведенная на рис. 9 топка устроена под котлом „Гарбе" в Архангельске. Котел имеет поверхность нагрева 600 м² с перегревателем 175 м². При котле—две одинаковые топки с общей площадью колосниковой решетки $R = 25{,}52$ м² и объемом топочного пространства $V = 63$ м³. Топливо—опилки или опилки с дробленкой—засыпаются через отверстие продолговатой формы в верхнем перекрытии топки, вследствие чего на колосниках получается слой достаточно равномерной толщины. На верхней колосниковой решетке происходит подсушка и некоторая возгонка опилок. На краях этой решетки, вследствие незначительности толщины слоя, происходит горение топлива, теплотой которого подсушивается остальная масса топлива в слое.

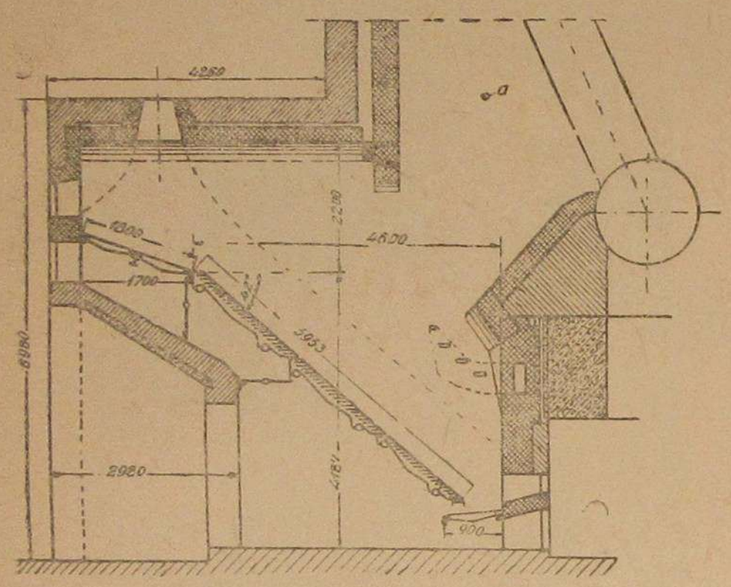


Рис. 9. Финская топка с большим углом наклона ступенчатой решетки.
а—точка для анализа газа.

Проваливающееся топливо и падающее на свод под колосниками загорается, вследствие нагрева свода, и своим теплом тоже подсушивает топливо.

Ступенчатая решетка имеет угол наклона немного более 42°, так что топливо сползает вниз, образуя внизу колосниковой решетки толстый слой до 1 м, что затрудняет проход вторичного воздуха, закупоривая прозоры в нижней колосниковой решетке. Для устранения этого обстоятельства вторичный воздух подводится в боковых стенках к порогу и сверху в верхнем своде. В испытаниях этой установки применялось влажное топливо—опилки с влажностью от 47,4 до 55,3%; напряженность колосниковой решетки оказалась 192—495 тыс. кал/м³-час, при этом тепловое напряжение топочного пространства во время испытаний было: 77,8; 120, 130; 195 и 201 тыс. кал/м³-час. Температура перегретого пара: 331,8°; 368°; 383°; 434°; 434°. Такая высокая температура перегрева обусловливается догоранием газов в месте расположения перегревателя.

Высокая напряженность топочного объема объясняется значительной толщиной слоя и создаваемым тем самым большим сопротивлением проходу газов—15,3 мм вод. ст.

Топливом во время испытания были опилки в смеси с дробленкой; большая часть испытаний была проведена при значительно меньших величинах сопротивления слоя—9,4 и 12,1 мм вод. ст. Характерная особенность этой топки—большое содержание окиси углерода в газах, что должно быть объяснено большой толщиной слоя на колосниковой решетке и недостаточностью добавочного воздуха. Сгорание окиси углерода не могло произойти в топочном пространстве, а вследствие отсутствия перевальной стенки в топке газы прямо из топки проходили в перегреватель, где и происходило догорание.

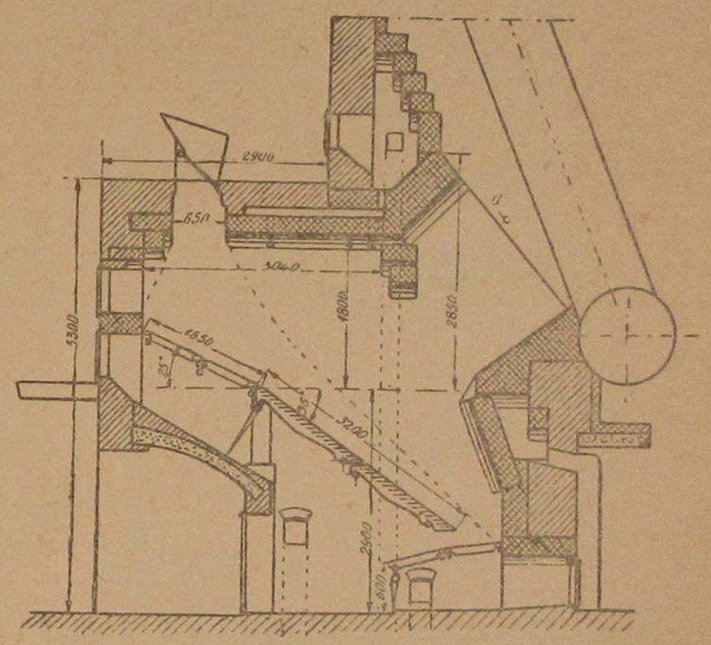


Рис. 10. Финская топка с вентиляторным дутьем и малым углом наклона ступенчатой решетки.

Финская топка с вентиляторным дутьем

Установка этой топки (рис. 10) сделана под котлом „Гарбе" с поверхностью нагрева 225 м², с перегревателем 93 м² и объемом топочного пространства 21,7 м³. Особенность этой топки составляет малый угол наклона колосниковой решетки: верхняя часть имеет наклон 25°, а ступенчатая решетка—36° и загрузочный ковш сдвинут к фронту котла. Вследствие такого устройства слой топлива тоньше на основной решетке как на ее верху, так и внизу. При более тонком слое топлива воздух легче проникает через него и потому образуются прогары. В топке имеется холодное дутье при помощи вентилятора, подведенное под нижнюю и среднюю колосниковые решетки через окно в обмуровке. В этой же топке имеется подача вторичного воздуха через щели в огневом пороге.

Сравнение этой топки с финляндской топкой с крутым наклоном приводит к заключению, что очертания и углы наклона здесь выбраны удачно; процесс горения идет устойчиво, вследствие подачи верхнего вторичного воздуха и нижнего дутья через колосники, что способствует изменению напряженности поверхности нагрева котла в широких пределах. Успешность ведения процесса горения в этих топках зависит от умелого управления дутьем, так

как подвод горячего воздуха под верхнюю и среднюю решетки способствует подсушке топлива и увеличению температуры в топке. Эта топка была испытана на еловых опилках с влажностью 49%. Напряженность колосниковой решетки—283—316 кг/м²-час, при тепловом напряжении топочного пространства 279—321 тыс. кал/м³-час. Напряженность поверхности нагрева—21,2—27 кг/м²-час. Температура в топке—905°.

Ступенчатая топка с цепной решеткой

Топка такой конструкции (рис. 11) установлена под котлом „Бабкок" на Архангельской ГЭС; поверхность нагрева котла 606 м² и перегревателя — 200 м². Котел имеет 2 топки: площадь наклонных решеток $2 \cdot 5{,}2 = 10{,}4$ м², рабочая часть площади цепных решеток — $2 \cdot 6{,}4 = 12{,}8$ м² и полная площадь цепных решеток размером

$$2 \cdot 9{,}4 = 18{,}8 \text{ м}^2.$$

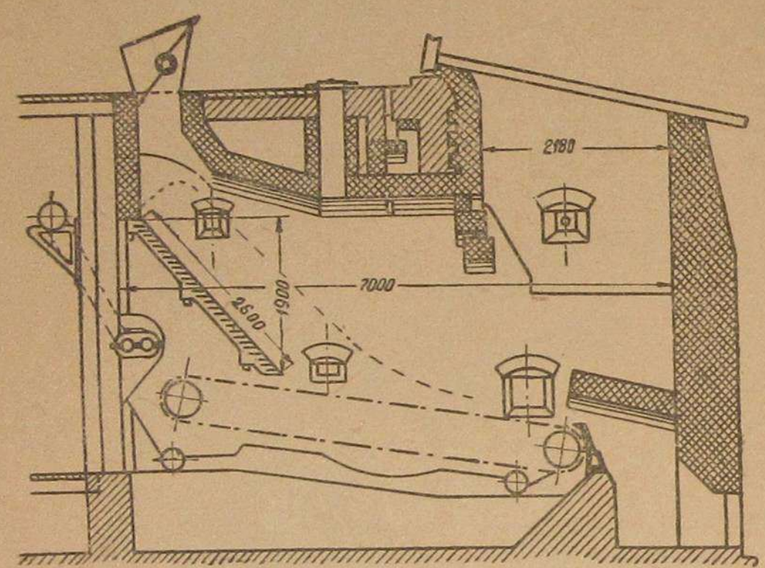


Рис. 11. Ступенчатая топка с цепной решеткой для дробленки.

Объем топочного пространства—48 м³. Топливо—дробленка с влажностью 60%. Цепные решетки приводятся в движение электродвигателем в 5 л. с. с первой скоростью 2,6 м/час, вторая скорость—4,2 м/час—оказывается чрезмерной, и топливо не успевает сгорать; напряженность колосниковой решетки 400 кг/м²-час и топочного пространства —257—284 тыс. кал/м³-час; напряженность поверхности нагрева—17—19 кг/м²-час и наибольшая температура в топке 895°. Потеря с уходящими газами—21,3—23,8% и от химической неполноты горения—4—10%. Полезность котла, в среднем,—54% и перегревателя—9%. В этой топке недостаточен объем, вследствие чего недостаточна напряженность поверхности нагрева. Большая влажность топлива требует ускорения подсушки при помощи подогретого дутья. Полезность топки, в среднем, 74—81%, ниже, чем в финляндских топках, вследствие значительного химического недожога и большого избытка воздуха.

Из рассмотрения всех приведенных выше топок можно сделать заключение: в топках для сжигания древесины с большой влажностью следует устраивать дожигательную камеру с небольшими тепловыми нагрузками. Прибавление в опилки дробленки улучшает процесс горения, вследствие придания рыхлости слою топлива.

В древесных топках следует устраивать подвод вторичного воздуха, особенно под решетку для улучшенного перемешивания воздуха с газами для их дожигания. При употреблении влажных древесных отходов полезно вводить в топку подогретый воздух, что предохраняет подогреватель воды от загрязнения унесенными частицами золы и сажи. Для уменьшения потери от химического недожога и потери от уноса следует тепловые напряжения топочного объема брать не выше 250—275 тыс. кал/м³-час.

Лучшей топкой является финская топка с вентиляторным дутьем и малым углом наклона ступенчатой решетки. В этой топке обеспечивается более совершенный подвод воздуха в толщу слоя, который имеет небольшой размер по сравнению с другими топками.

Главное условие успешности сжигания опилок и мелких отходов деревообработки—это равномерность подвода воздуха по всем направлениям в слое. При большей толщине слоя топлива на колосниковой решетке горение ограничивается только его поверхностью, тогда как внутри слоя идет подогрев, да и то часто недостаточный. При выпадении с поверхности слоя сгоревших опилок через прозоры с ними выпадет много несгоревших частиц топлива, которые в слое не подверглись даже сухой перегонке. Финская топка с малым наклоном дает лучшие результаты именно потому, что доступ воздуха, прогрев, подготовка опилок и других отходов происходят равномерно по всему слою.

Лучший способ использования опилок и других мелких отходов, как топлива,—это сжигание их во взвешенном состоянии с предварительным подогревом воздуха; этот способ обеспечивает полноту подвода воздуха и равномерности притекания его к каждой частице топлива. Однако, в осуществлении этого способа имеются трудности: опилки и мелкие стружки имеют сравнительно большой вес и для приведения их в состояние взлета нужно достаточно сильное дутье; к тому же необходимо дутьем создать вихревые потоки в топочной камере, чтобы устранить унос. До настоящего времени не появилось ни одной топки, в которой была бы удовлетворительно решена эта задача. Представляет интерес новая топка для сжигания опилок и стружек во взвешенном состоянии, поставленная в котельной катушечной фабрики в Ленинграде по проекту Теплотехнического института. В этой топке дутье для взлета отходов производится снизу; под топки подставляют кирпичную колосниковую решетку для дожигания выпадающих тяжелых частиц. Топка еще не подвергалась длительным испытаниям.

Наклонные и ступенчатые решетки

В топках с наклонными колосниками решетку образуют обыкновенные колосники, поставленные наклонно. Топливо перемещается по колосниковой решетке, подогреваясь и зажигаясь за счет лучистой теплоты свода над решеткой.

В такой топке можно сжигать только в достаточной мере сухое топливо, так как для сырого топлива излучения, получаемого от сводов, недостаточно для сушки и подогрева для возгонки. Сдвиг топлива по наклонным колосникам идет сравнительно легко, только

угол наклона решетки должен быть немного меньше угла естественного откоса, так как иначе топливо будет падать вниз. Но все же во время работы этой топки топливо приходится проталкивать вниз, и мелочь проваливается через прозоры в колосниковой решетке в зольник.

В ступенчатой топке (рис. 12) колосниковую решетку образуют ступеньки, уложенные поперек топки на двух косоурах. Топливо, попадающее на ступеньки, остается лежащим на них, сгорая постепенно и зажигая слой топлива, движущийся по решетке. Очень влажные опилки можно все же сжигать на ступенчатой топке. Опилки на ступенчатой решетке не проваливаются через зазоры под

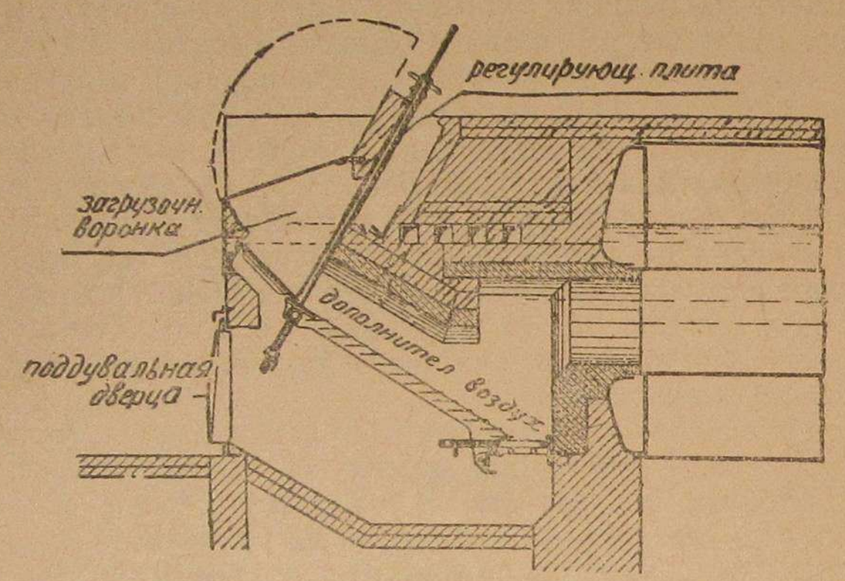


Рис. 12. Ступенчатая решетка.

колосники, и, в случае засорения колосников при шуровании в зазорах, топливо сбрасывается вниз на горизонтальную решетку, где и догорает. При наличии таких зажигательных очагов на колосниках в течение некоторого времени топливо сгорает, и образуется скопление золы, мешающей дальнейшему горению новых порций топлива, для которого надо очистить место на колосниках от золы. Следовательно, ступенчатая топка нуждается в постоянном вмешательстве кочегара.

На рис. 13 представлена разновидность финляндской топки; настоящая топка со ступенчатой колосниковой решеткой, поставленной очень круто, так что топливо сползает вниз до горизонтальной нижней решетки. Топочную камеру перекрывает свод с перегородкой, к ее отверстию подходят газы и перемешиваются с вторичным воздухом, который подается в топку по каналам, проходящим в своде. Для уменьшения прямой отдачи и повышения температуры в топке уменьшено выходное отверстие из топочного пространства, сюда же через порог подведен вторичный воздух, так что топочные газы перемешиваются с воздухом при выходе из топочной камеры.

4. Топки для сжигания дров

Обыкновенная дровяная топка с ручной загрузкой

На рис. 14 представлена обычная топка с плоскими колосниками с низким топочным пространством, с плоской немного наклоненной к порогу колосниковой решеткой. На фронтовой стенке котла имеется топочная дверца, ведущая в топку. Эта топка отличается следующими недостатками:

1) Неудобство загрузки в топку топлива с большим объемом, вследствие недостаточности проема топочного отверстия.

2) Прорыв в топку больших количеств холодного воздуха при загрузке топлива, которое при малом объеме топки требует частого открывания дверцы.

3) Незначительный объем и толщина слоя топлива, обусловленные размерами колосниковой решетки и ее положением относительно дверец.

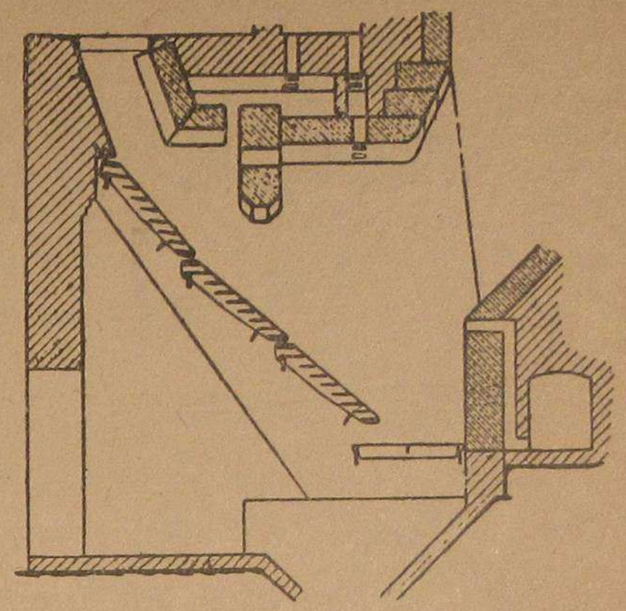


Рис. 13. Топка финского типа для древесных отходов с ступенчатыми колосниками.

4) Недостаточная высота топочного пространства, вследствие чего создается большое понижение температуры в топке от лучеиспускания на близко расположенную к топливу поверхность нагрева.

5) Недостаточное сгорание летучих, вследствие малости объема топочного пространства и близости поверхности нагрева котла, охлаждаемой водой.

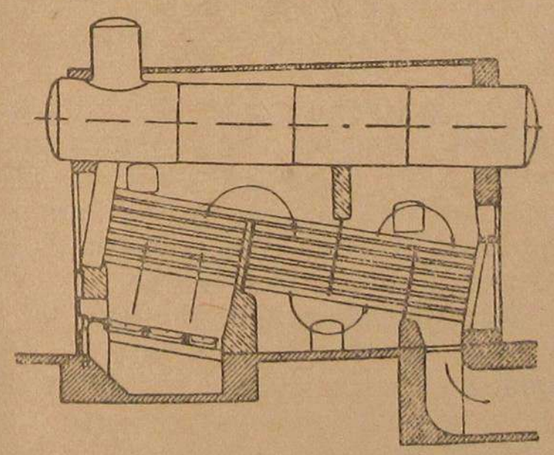


Рис. 14. Обыкновенная дровяная топка с ручной загрузкой.

Нижняя топка с увеличенным топочным пространством

На рис. 15 представлена топка названного типа, отличающаяся от топки на рис. 14 следующими особенностями:

1) увеличенным объемом топочного пространства;
2) удлиненным путем движения газов;
3) значительно уменьшенным лучеиспусканием;
4) в топке имеются два отражательных сводика для отражения лучистой теплоты и изменения направления движения газов.

Эти особенности топки обусловливают повышение температуры в слое топлива и в самом топочном пространстве, вследствие чего улучшается процесс горения. Сводики содействуют перемешиванию газов с вторичным воздухом, отчего они догорают более полно, чем в обыкновенной топке. Однако, и эта топка не лишена существенных недостатков: в описанной топке, как и в обыкновенной, при открытии топочного отверстия для шуровки или загрузки топлива в топку врывается большое количество холодного воздуха и, вместе с тем, неудобна загрузка топлива, имеющего большой объем. Так, для отходов—щепы и опилок—эта топка непригодна. Действие топки может быть улучшено устройством дутья нагретого воздуха под колосники.

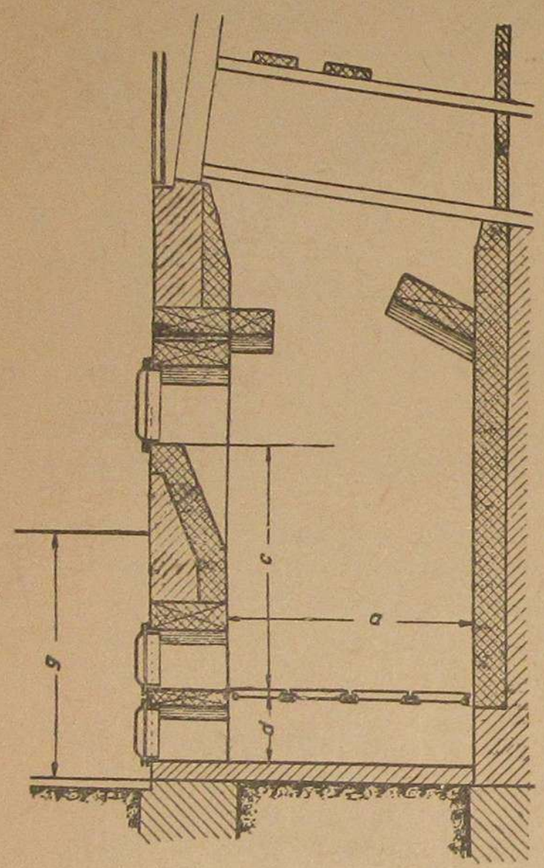


Рис. 15. Нижняя топка с увеличенным топочным пространством.

Топке этого типа для удобства загрузки следует придать следующие размеры. Длину решетки не следует делать более 2500 мм—при ширине не свыше 1000—1300 мм на каждую дверцу для загрузки. Длина колосниковой решетки делается несколько больше полена или двух на 100—150 мм. Нижняя кромка загрузочного отверстия должна быть над полом не ниже 500 мм и не выше 800 мм. Наиболее удобная высота дверцы 650 мм. Загрузочная дверца может иметь размеры 450 · 400 с прозором для наблюдения за топкой.

Поддувальной дверке придают размеры, полагая, что скорость воздуха может быть до 3 м/сек., высота нижней кромки поддувочного проема—от 100—200 мм, глубина зольника—d=300—600 мм.

Устройство этой топки возможно только там, где под кочегаркой имеется свободное помещение для подвала, где можно развить топочное пространство с достаточной толщиной слоя и надлежащим расположением топочной дверцы; для удачного устройства этой топки нужно размеру g придать значение от 2000—2200 мм.

Для удобства чистки зольника канал делается таких размеров: глубина—g=1000 мм и ширина a=1000 мм, с перекрытием его решеткой для уменьшения сопротивления при подводе воздуха в топку через зольник. Размер c делают от 800 до 1000 мм. Очистка зольника производится вперед, выгребая в канал или лучше в бок от топки. Объему топочного пространства этих топок придают такие размеры, что напряженность его для дров могла быть от 300 до 400 тыс. кал/м³-час. Для уменьшения прямой отдачи при топливах с влажностью 40—50% топку перекрывают отражательными

сводиками, что показано на рис. 15. В пролете между сводиками, во избежание излишних сопротивлений, скорость не должна быть больше 10—15 мм.

Внутренняя топка

Топка в жаровой трубе с плоской колосниковой решеткой может иметь в длину 1800—2000 мм, при чем она должна быть опущена ниже центра жаровой трубы на 50—150 мм, в зависимости от диаметра жаровой трубы. Для влажного топлива (40—50%) жаровую трубу в части над решеткой обмуровывают кирпичом, при чем у огневого порога в топливе образуются прогары, и в топку прорывается большое количество холодного воздуха.

Для устранения этого недостатка проф. К. В. Кирш построилособую внутреннюютопку с укороченной наклонной колосниковой решеткой (рис. 16)[1]. На передней колосниковой решетке дрова подсыхают. Укороченная колосниковая решетка отливается из чугуна с ребрами жесткости со щелями по ее поверхности шириной 20—25 мм и длиной в 75 мм; под нижним концом колосниковой решетки делается проход для удаления золы 100—150 мм. Длина топки $k+l$ должна быть больше длины полена на 200 мм. Для правильного действия описанных выше топок нужно особо тщательно выбрать при проектировании основные величины, характеризующие топку.

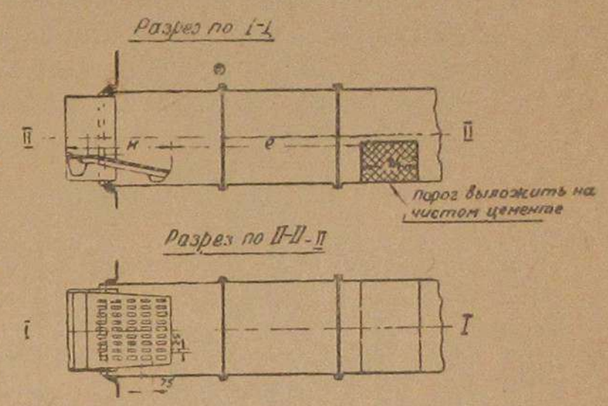


Рис. 16. Внутренняя топка (Кирша).

Сопротивление слоя топлива может быть определено для простой колосниковой решетки по формуле:

$$\Delta h = 3 \cdot \left(\frac{B/R}{400}\right)^2 \cdot \left(\frac{12}{CO_2}\right)^2 \text{— мм вод. ст.}$$

и для топки с укороченной колосниковой решеткой

$$\Delta h = 13 \cdot \left(\frac{B/F}{1000}\right)^2 \cdot \left(\frac{14}{CO_2}\right)^2.$$

В этих формулах: B—количество топлива, сжигаемое в час, при $K_р$=3000 кал/кг, если же $K_р$ не равно 3000 кал/кг, то B пересчитывается по формуле $B = \frac{B_1 K_р}{3000}$, где B_1 — количество дров, сжигаемое на колосниковой решетке в кг/час, R—площадь колосниковой решетки в м², F—поверхность жаровой трубы в м² и CO_2—в топке в процентах.

[1] Называемую часто „фартучной" топкой.

Шахтная топка

На рис. 17 показана топка инж. Сильницкого, представляющая переходный тип между топками с наклонными колосниками к топкам шахтным. Эта топка назначена для сжигания сырых дров и в ней же можно сжигать всякие древесные отходы. Эта топка представляет углубленный очаг с колосниковой решеткой, которая расположена глубоко под полом кочегарки. Через отверстие происходит загрузка. Высота топочного пространства от колосников до трубок котла—6 м. Топка загружается дровами так, что они образуют наклонный слой и укладываются торцом вперед; вновь загруженные дрова скользят по слою топлива в глубину топки. В этой топке имеется самотяга в топочном пространстве. При 1000°

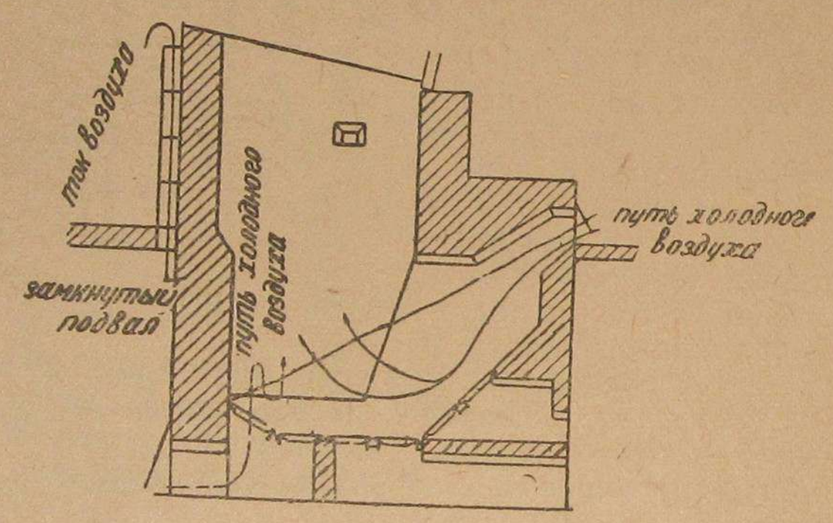


Рис. 17. Топка наклонно-шахтная.

в топке каждый метр высоты топочного объема создает тягу около 1 мм вод. ст. При высоте топки в 6 м самотяга достигает 6 мм. Газы протекают в топке вверх и при сопротивлении слоя от 2 до 3 мм только часть напора газов, движущаяся снизу вверх, расходуется на преодоление сопротивления слоя, остальная часть напора сохраняется. Над самым слоем топлива имеется разрежение в 3 мм вод. ст. По мере подъема газов разрежение постепенно уменьшается и, наконец, на некоторой высоте в топке создается избыточное давление над наружным. Наличие самотяги в топке создает особо благоприятные условия для саморегулирования движения воздуха в топку. В топке устанавливается непосредственно правильное количественное соотношение воздуха в процессе горения, так как каждая струя холодного воздуха, в силу большей плотности по сравнению с нагретыми газами, опускается вниз к колосникам и, перемещаясь с газами, участвует в процессе горения. В больших котельных установках в таких топках делают зазоры между колосниками в 40 мм, так как при меньших зазорах зола не успевала бы высыпаться в зольник и тем самым затруднила бы проход воздуха в топку. Как в других топках, так и в этой топке при большом расходе топлива для правильного действия необходимо наблюдать за равно-

мерностью подачи топлива не чрезмерно большими порциями, во избежание длительности открытия топочной дверки; вместе с тем, топливо не должно загружаться малыми порциями, во избежание частых открытий топки.

Шахтная топка с утончающимся слоем или с наклонной поверхностью горения (сист. К. В. Кирша) шахтная топка, измененная Теплотехническим институтом

В основу топок этой системы (рис. 18) положено такое распределение воздуха по слою и в топочном пространстве, при котором возможно наилучшее его использование, при этом поверхность горения получается достаточной длины. Значительная часть воздуха, необходимая для горения летучих, проходит внизу шахты—там, где колосники нагреваются в наибольшей степени. Это обстоятельство улучшает работу нижних колосников, охлаждая их.

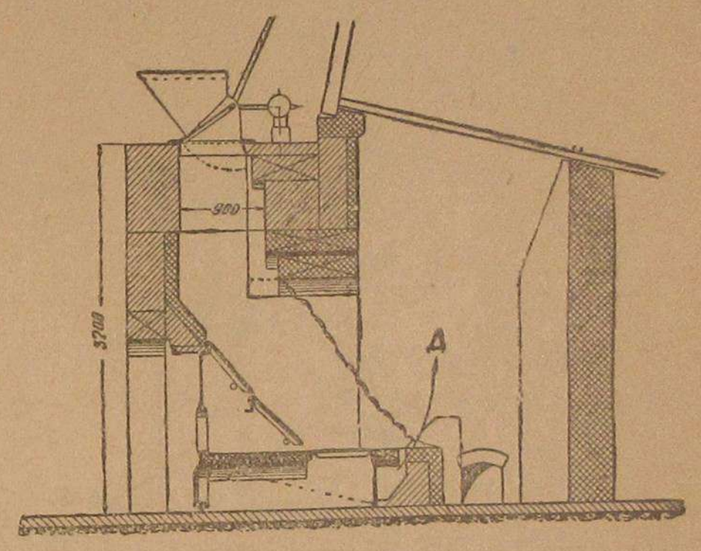


Рис. 18. Шахтная топка с утончающимся слоем или с наклонным зеркалом горения сист. проф. К. В. Кирша.

Загрузка топлива производится с верху топки в шахту; топливо, вследствие изменения плотности горящего топлива, оседает вниз и постепенно опускается на колосники. При толстом слое топлива в этой топке обеспечивается равномерность перехода топлива в пояс горения, где топливо охватывается нагретыми газами и вступает в процесс горения.

Топки описанного типа на дровах с небольшой влажностью 25—30% работают вполне удовлетворительно; при загрузке отходов в шахтную топку угол откоса топлива может быть круче, а потому нижние колосники делаются короче для устранения мест, не заваленных топливом, через которые будет прорываться воздух.

При загрузке сырых дров с влажностью 45—50% они постепенно проникают под горящий слой и, попадая в струю холодного воздуха, охлаждаясь сами, затрудняют процесс горения. Сырые дрова на колосниковой решетке оттесняют пояс горения к поверхности горения, где он ограничивается небольшой частью засыпанного топлива. В шахтных топках с утончающимся слоем толщина топлива изменяется от 700 до 1300 мм, в зависимости от размеров и влажности дров. Наименьший размер в 700 мм между колосниками и сводами *b* (см. рис. 19) определяется необходимостью свободного прохода дров без повреждения свода.

Шахтная топка проф. Кирша (рис. 18) подверглась изменениям на основании опыта в эксплоатации Теплотехническим институтом, который дал свою конструкцию. Теплотехнический институт внес следующие изменения в прежнюю конструкцию и разработал тип топки, представленный на рис. 19.

1. Для предотвращения заброски дров в зольниковую камеру необходима установка порога в конце поверхности горения.

2. Уничтожена камера D в виду заноса ее золой, которая назначена для подачи вторичного воздуха; заслонка под горизонтальной колосниковой решеткой должна быть такая, чтобы при опущенном положении все же около нее проходил воздух, иначе будут гореть колосники.

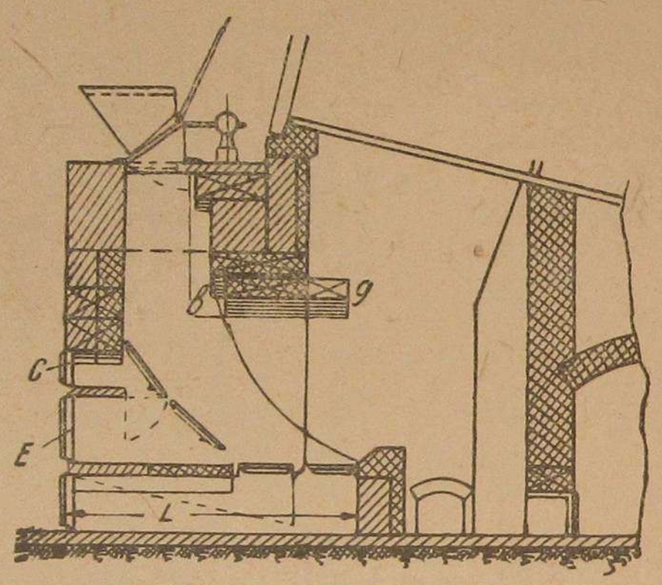


Рис. 19. Шахтная топка проф. К. В. Кирша, измененная Теплотехническим институтом.

3. Загрузочную коробку следует устанавливать на особой чугунной плите, так как железные балки подвергаются при прогарах в шахте короблению; чугунная плита охраняет каменную кладку от возможных ударов при загрузке дров.

4. В больших топках с длинной поверхностью горения следует делать подвод воздуха в три яруса для удобства регулирования процесса горения, так как особенно при влажном топливе и при переходе с дров на торф возможна неравномерность процесса горения в больших объемах отдельных частей топки.

В такой топке подвод воздуха рассчитан так, что при переходе с дров на торф нет необходимости в переделке подвода воздуха, так как надо только установить балки, охлаждаемые водой, при работе на торфе. Балки, поддерживающие колосники, следует делать из железа для устранения возможности повреждения при прогаре шахты, когда шахта загружается новыми дровами.

Для усиленного процесса горения необходимо регулировать

подвод воздуха, закрывая верхнюю дверку c так, чтобы при загрузке сырых дров уменьшить доступ холодного наружного воздуха, проникающего в охлаждаемую часть шахты с сырым топливом. Высоте загрузочной части шахты придают размер от 1,2—1,5 м, над сводом b, во избежание скольжения уровня дров в шахте ниже свода b, так как иначе образовался бы свободный проход воздуха через шахту к поверхности горения. Для полноты процесса горения летучих при перемешивании с кислородом воздуха необходимо принять напряженность топочного пространства от 300—400 тыс. кал/м³-час. Для повышения температуры топки, уменьшая прямую отдачу, следует топку в той части, где идет процесс горения летучих, вооружить отражательными сводиками g, тем более, что подобные сводики способствуют перемешиванию газов.

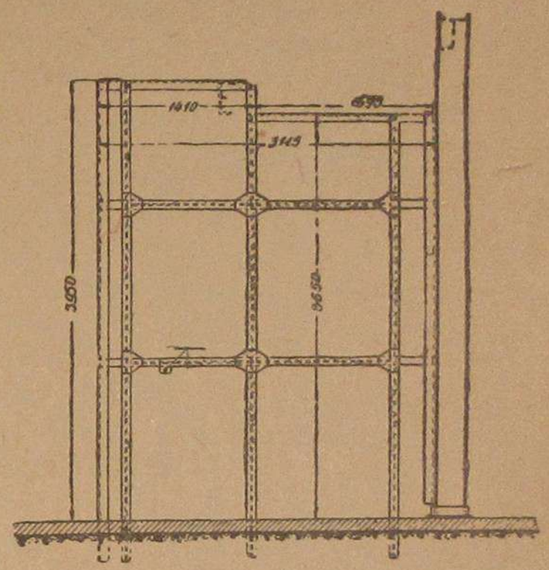


Рис. 20. Расположение балок каркаса шахты.

Разрежение в топке может быть определено по формуле:

$$\Delta h = 5\left(\frac{B/R}{500}\right)^2 \cdot \left(\frac{14}{CO_2}\right)^2.$$

Здесь B/R—кг/м²-час поверхности горения; B — определяется из расчета, что $K_p = 3000$ кал/кг; CO_2 выражается в процентах.

Напряжение для шахтной топки с наклонной поверхностью горения принимают $B/R = 400 - 500$ кг/м²-час и тепловую нагрузку $Q/R = 1200 - 1500$ тыс. кал/м²-час.

Размеры шахты делают такие, чтобы обеспечить удобство ухода за топкой, а также достаточную прочность, особенно имея в виду возможность повреждений при загрузке топки.

Ширину шахты делают по длине полена, добавляя 100—150 мм, но не более 1,5—1,8 м. При больших размерах своды шахты и балки под колосниками могли бы пострадать от напряжений при забросе топлива и от чрезмерных тепловых напряжений.

Глубине зольника придают размер не больше 2,5—3 м для удобства очистки от золы. Нижние горизонтальные колосники ставят на высоте 600—800 мм от пола, а высоту зольника делают размером 500—600 мм, редко 300 мм.

Зольниковую дверку e делают открывающейся наружу.

Высоте порога над нижними колосниками придают размер не меньше 400 мм для устранения возможности перелета поленьев через порог при загрузке; толщина порога должна быть в $2-2^1/_2$ кирпича. Для уборки золы делают выгребные проемы с отверстиями 450 · 450 мм, располагая их, в зависимости от размещения и устройств топки за порогом.

Загрузочный питатель шахтной топки делается таких размеров, чтобы дрова в нем не могли застрять, а именно—ширина его

$r = 500—600$ мм. Длина питателя должна быть равна длине полена с некоторым зазором по концам. Расстояние между концом наклонных колосников и горизонтальными следует делать от 100 до 150 мм, при увеличении этого размера концы наклонных колосников загораются. Высоте питателя придают такой размер, чтобы нижние трубки водотрубного котла можно было беспрепятственно вынимать, но при невозможности развить топку вниз питатель делают съемным.

Обмуровке шахты придают такие размеры, чтобы уменьшить потерю тепла наружу: толщину стенки делают в $2—2^1/_2$ кирпича, из них один кирпич огнеупорный. Толщина швов кладки не должна быть больше 3—4 мм и только швы поперечных сводов можно делать несколько больше. Своды делают высотой в кирпич и выкладывают в притирку. Своды небольших пролетов до 1 м выкладывают в полкирпича. Шахту перекрывают двумя сводами в 1 кирпич каждый, с зазором по высоте 30—50 мм, который образуют закладкой деревянных реек при выкладке сводов, а затем во время работы топки рейки выгорают. Стрела подъема свода делается равной $^1/_6—^1/_8$ пролета.

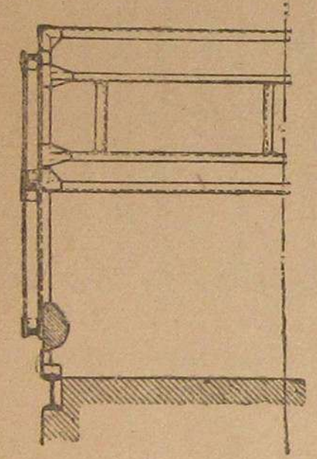


Рис. 21. Расположение балок каркаса шахты.

Для восприятия распора сводов в них следует делать поперечные связи из балок. Каркасные балки располагаются так, чтобы напряжения воспринимались в плоскостях наибольших сопротивлений. На рис. 20 и 21 показаны расположения балок каркаса шахты, которые укрепляют стенки шахты по всем направлениям, устраняя тем самым растрескивание стенок шахты.

На рис. 22 изображена топка Теплотехнического института для жаротрубного котла. В ней для шуровки служит средняя дверка, а верхняя—для подвода воздуха. Для уменьшения сопротивлений при проходе воздуха в верхнем канале следует вместо кладки *С* ставить колосниковую решетку.

Одна из наиболее удачных топок для сжигания дробленой древесины—топка Макарьева—шахтная с цепной решеткой.

Сжигание древесины в виде крупных дров в специально приспособленных топках экономически выгодно, однако, получение в котле при таком топливе напряженности поверхности нагрева 40 кг/м²-час крайне затруднительно. Дровяная топка требует значительного количества людей для подготовки дров и доставки их к топке.

В цепной топке с успехом можно сжигать дрова в виде дробленки и отходы лесосечной древесины—ветки, сучья и пни; они являются топливом недостаточной теплотворности.

Для замены дров в отоплении больших котлов, обслуживающих установку в 10—15 тыс. квт, дробленкой были произведены испытания[1] топки с цепной решеткой. Щепа была применена такая,

[1] Chaleur et Industrie. 1933. № 159.

как она изготовляется в целлулозном производстве, посредством дробления больших поленьев в дробилках.

Дрова были нарублены в щепу размерами 50 · 30 · 5 мм; стоимость дробления составила 1,8 франка на 1 т щепы или 0,3 франка на 1 м³, и расход энергии был 7,5 квт-ч/т. Влажность древесины топлива имеет существенное влияние на его стоимость, а потому лучше определять его стоимость по объему.

В дробильные машины можно подавать кругляки, устраняя распиловку и расколку; щепу затем по ленточному транспортеру пе-

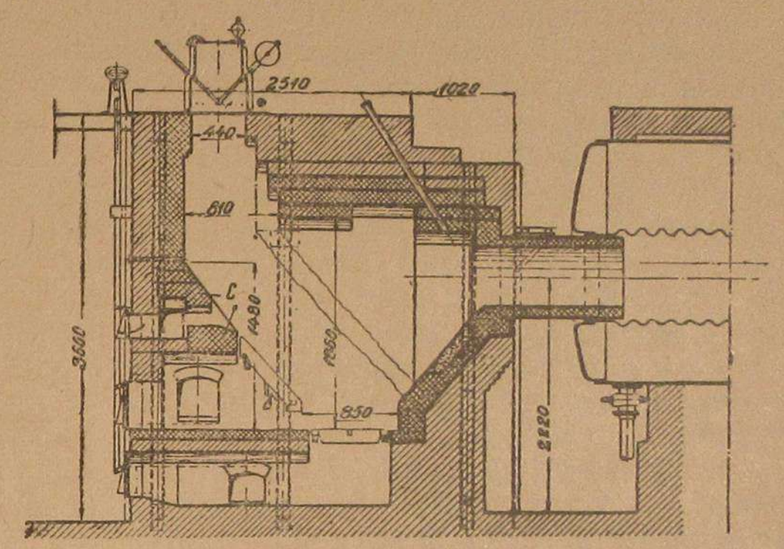


Рис. 22. Топка Теплотехнического института для жаротрубного котла.

редают непосредственно в бункеры и оттуда по рукавам в топку без затраты рабочей силы.

Было произведено испытание котлов „Гарбе" с поверхностью нагрева 300 м², у которого цепная решетка—12,1 м² с нижним дутьем и „*Б—В*" с поверхностью нагрева 340 м², колосниковая решетка—Бамаг в 6,5 м².

Таблица 32

Результаты испытаний котлов „Гарбе" и *Б—В* при топке щепой

Напряженность колосниковой решетки в тыс. кал/м²	800	900	1000	1100	1200
Напряженность топочного пространства в тыс. кал/м³	290	330	365	400	440
Коэфициент избытка воздуха	1,75	1,58	1,44	1,31	1,20
Потеря в уходящих газах (в процентах)	11,1	10,0	9,1	8,3	7,4
Потеря от неполноты горения (в процентах)	0,2	1,5	2,6	3,3	4,0
Потеря в золе (в процентах)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Потеря в уносе „	—	1,4	3,2	5,4	8,8
Суммы механических потерь (в процентах)	0,1	1,5	3,3	5,5	8,9
Потери от излучения (в процентах)	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6
Полезность котла „	85,1	83,8	82,0	80,1	77,1

Влажность древесины—от 26,5 до 42%. Температура нижнего дутья—150°. Результаты испытаний сведены в таблицу 32.

Наибольший коэфициент избытка воздуха—1,75; потеря от неполноты горения достигает 4% при коэфициенте избытка воздуха 1,2, так как температура камеры горения недостаточна. Для достижения полноты горения тепловая нагрузка не должна превышать 280—300 тыс. кал/м³-час, а на 1 м² топки не должна быть больше 900 тыс. кал/м²-час, так как иначе возрастает потеря в уносе и при 1200 тыс. кал/м³ достигает 8,8%. Сжигание древесной щепы на цепной решетке может быть осуществлено экономически вполне выгодно при температуре подогрева топочного воздуха до 150°, при этом полезность топки достигает 90%.

В установках с водоподогревателем полезность котла достигает 85—87% при разности температур газа и воздуха в 150°.

Толщина слоя на решетке должна быть постоянная и поддерживаться регулятором толщины в 400—450 мм. В зольнике должно быть устроено от 3 до 4 поясов дутья, при чем передняя часть решетки по длине 300—400 мм не должна пропускать воздуха.

Задняя часть решетки для устранения возможности перегрева, вследствие отсутствия золы и шлаков, должна охлаждаться холодным дутьем. Для достижения возможно большей полноты горения на решетке оно должно прекращаться на расстоянии 600 мм от конца. Эту часть решетки следует покрыть сводом для отвода в пояс горения притекающего сюда через прозоры колосниковой решетки избыточного воздуха. Ковш для засыпки топлива и питателя должен быть высотой 700—800 мм, чтобы щепа проходила свободно под регулирующей заслонкой.

Дробленая древесина занимает большой удельный объем: 1 м³ щепы весит 150 кг. Для поддержания необходимой толщины слоя в 400—450 мм цепная колосниковая решетка должна иметь скорость от 25—30 м/час.

Напряженность колосниковой решетки.

Дрова с влажностью $W = 35\%$ 350—400 кг/м²-час.

То же $W = 45\%$ 500 кг/м²-час (в шахтной топке с наклонным зеркалом горения).

То же $W = 55\%$ 1000 кг/м²-час (в шахтной топке с вертикальным зеркалом горения).

Опыт показал, что эту толщину слоя и скорость решетки легко поддерживать все время работы котла. Точно так же легко поддается регулированию температура воздуха. При таких топках имеется значительная экономия в рабочей силе по сравнению с обычными дровяными топками. Все действия по приготовлению и подаче топлива могут быть легко механизированы. Таким способом можно отапливать большие котлы крупных станций древесными отходами.

В описании топок для древесины неоднократно указывалось на значение прямой отдачи для лучшего использования лучистой теплоты.

Для уяснения сущности прямой отдачи следует краткое изложение тех законов, которым подчиняется использование лучистой энергии в топке.

5. Прямая отдача

Рост деревообрабатывающих предприятий в виде комбинатов с большим расходом силовой энергии и тепловой для нужд производства заставляет переходить на более крупные силовые установки с более мощными паровыми котлами типа водотрубных с крутонаклонными трубками. Такие котлы имеют топки, в которых тепло воспринимается теми частями поверхности нагрева котлов, которые обращены к топке и составляют пучок труб первого дымохода. Возрастание паропроизводительности водотрубных котлов усиливает напряженность первых рядов кипятильных трубок, так как они подвергаются действию лучистой теплоты в наибольшей степени по сравнению с другими частями поверхности нагрева. В обычных котлах с выносными топками при низкосортных топливах часть поверхности нагрева, воспринимающая лучистую теплоту, почти равна нулю; а в больших водотрубных котлах величина лучепоглощающей поверхности нагрева может быть больше 7%. Эти части поверхности нагрева воспринимают большие количества тепла, так, 1 м² лучепоглощающей поверхности котла при донецком топливе и температуре в топке 1000—1100° и общем[1] коэфициенте теплопередачи 200 кал/м²-час поглощает 210 000 кал. Относя эту величину к нормальному пару, получим напряженность поверхности нагрева 330 кг/м²-час при средней напряженности поверхности нагрева в котле 25 кг/м²-час. При сжигании древесных отходов—опилок в топках с наклонной ступенчатой колосниковой решеткой или при сжигании щепы в шахтной топке с цепной решеткой (топка Макарьева) лучеиспускание слоя топлива приобретает особо существенное значение в распространении тепла.

Прямой отдачей топки называется та теплота, которая передается поверхности нагрева котла излучением раскаленного слоя топлива. Количество лучистой теплоты, воспринимаемое поверхностью нагрева, зависит от конструкции котла, от величины и расположения поверхности нагрева первого газохода, свойств топлива и от прямой отдачи σ. Для возможно лучшего действия топки необходимо при построении ее установить ту часть поверхности котла, которая будет воспринимать лучистую теплоту, и ту теплоту, которая будет передана лучеиспусканием.

В водотрубных котлах с слабонаклонными трубками лучистую теплоту воспринимают только от 3 до 7% поверхности нагрева.

Количество тепла, излучаемого в час накаленной поверхностью $H_л$ (м²) при температуре излучения $T°$ по закону Стефана-Больцмана

$$Q_л = CH_л\left(\frac{t+273}{100}\right)^4.$$

Здесь C—коэфициент лучеиспускания поверхности слоя раскаленного угля, от 4 до 4,2. Количество теплоты, передаваемой из-

[1] Известия Теплотехн. ин-та. 1929 г. № 5 (48), стр. 75. Прямая отдача топки.

лучающей поверхностью к лучепоглощающей поверхности, определится по формуле

$$Q_л = CH_л\ \varphi \left[\left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4\right],$$

где $t_{ст}$—средняя температура в топке, которая зависит от температуры накаленного слоя топлива, боковых стенок обмуровки топки, пламени топлива и раскаленных газов;

φ—угловой коэфициент, дающий отношение количества тепловых лучей, попадающих прямо на поверхность нагрева в топке или после отражения, к полному количеству тепловых лучей, излучаемых всеми поверхностями, образующими топку;

C—коэфициент лучеиспускания определяется следующим выражением для поверхностей равных и параллельных:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_ч}} \cdot \frac{кал.}{м^2\text{-час } (°абс)^4}$$

Для других случаев $C = C_1 \frac{C_2}{C_ч}$; в этих формулах $C_ч$—коэфициент излучения абсолютно черного тела, который равен 4,96; C_1 и C_2—коэфициенты поверхностей—излучающей и лучепоглощающей, которые равны 4,2—4,4 кал/м²-час (°абс)⁴.

Температура котельной поверхности нагрева, обращенной к топке, в среднем, изменяется от 200—300°. Если эту величину подставить во второй член формулы Стефана-Больцмана, то

$$\left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4 = 500 - 1000, \text{ в среднем, } 750.$$

Первый член формулы, определяющей излучения тепла, при изменении температур топки на небольшие величины возрастает очень существенно

$t_т$

$$1000° \ldots\ldots \left(\frac{1000+273}{100}\right)^4 = 26\,600$$

$$1200° \ldots\ldots \left(\frac{1200+273}{100}\right)^4 = 47\,000$$

$$1400° \ldots\ldots \left(\frac{1400+273}{100}\right)^4 = 78\,500$$

При изменении температуры топки на 16—20% все количество тепла, передающееся излучением, изменяется от 75—64%. Таким образом, увеличение температуры топки на 100°, что составляет 7—9% начальной температуры, вызывает повышение прямой отдачи на 35%. Предел увеличения температуры в топке при сжигании кускового топлива 1100—1300°, тогда как в топках для сжигания пылевидного или нефтяного топлива температура достигает 1500°. Принимая выражение второго члена формулы Стефана Больцмана равным 500°, значение полной формулы:

$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$ определяется для данных значений температуры топки по таблице 33:

Таблица 33

$t_т$	$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$	$t_т$	$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$
800°	12 710	1200°	46 580
850°	15 480	1250°	53 300
900°	18 430	1300°	60 710
950°	21 870	1350°	68 870
1000°	26 040	1400°	77 840
1050°	30 150	1450°	87 650
1100°	35 050	1500°	98 310
1150°	40 500	1550°	109 960

V. СООРУЖЕНИЕ ТЕПЛОСИЛОВОЙ СТАНЦИИ

Опечатки к книге „Теплосиловое хозяйство деревообрабатывающей промышленности". *Тагеев, Д. Л.*

Стр.	Строка	Напечатано	По чьей вине
94	3 сверху	$Q_л = CH_л\ \varphi \left[\left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4\right],$	авт.

Должно быть

$$Q_л = CH_л\ \varphi \left[\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4\right],$$

предприятия, которые [illegible] вливают мощность машины и род машины двигателей: паровые машины, турбины или газовые двигатели. Затем определяют размеры резерва в машинном оборудовании, так как завод должен быть вполне обеспечен энергией и технологическим паром на случай порчи основных машин, а потому всегда должен быть наготове резервный двигатель.

Далее устанавливают род тока и напряжение. Решение этих основных вопросов должно быть проведено в точном соответствии с требованиями, предъявленными промышленными предприятиями во всей их сложности.

Выбор места расположения теплосиловой станции зависит от условий подачи к ней топлива. В деревообрабатывающей промышленности снабжение станции топливом, которым являются отходы деревообработки во всех ее видах, начиная с лесопиления и кончая столярно-механической обработкой фасонных деталей, зданий или выработкой мебели, требует такого расположения станции, чтобы из всех цехов деревообрабатывающего комбината подача топлива шла по крат-

лучающей поверхностью к лучепоглощающей поверхности, определится по формуле

$$Q_л = CH_л \varphi \left[\left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100}\right)^4\right],$$

где $t_{ст}$—средняя температура в топке, которая зависит от температуры накаленного слоя топлива, боковых стенок обмуровки топки, пламени топлива и раскаленных газов;

φ—угловой коэфициент, дающий отношение количества тепловых лучей, попадающих прямо на поверхность нагрева в топке или после отражения, к полному количеству тепловых лучей, излучаемых всеми поверхностями, образующими топку;

C—коэфициент лучеиспускания определяется следующим выражением для поверхностей равных и параллельных:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_ч}} \cdot \frac{кал.}{м^2\text{-час } (°абс)^4}$$

Для других случаев $C = C_1 \frac{C_2}{}$, в этих формулах C — коэфициен

1200° ..... $\left(\frac{\text{[illegible]}}{100}\right)^4 = 47\,000$

1400° ..... $\left(\frac{1400+273}{100}\right)^4 = 78\,500$

При изменении температуры топки на 16—20% все количество тепла, передающееся излучением, изменяется от 75—64%. Таким образом, увеличение температуры топки на 100°, что составляет 7—9% начальной температуры, вызывает повышение прямой отдачи на 35%. Предел увеличения температуры в топке при сжигании кускового топлива 1100—1300°, тогда как в топках для сжигания пылевидного или нефтяного топлива температура достигает 1500°. Принимая выражение второго члена формулы Стефана Больцмана равным 500°, значение полной формулы:

$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$ определяется для данных значений температуры топки по таблице 33:

Таблица 33

$t_т$	$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$	$t_т$	$\left(\frac{t_т+273}{100}\right)^4 - 500$
800°	12 710	1200°	46 580
850°	15 480	1250°	53 300
900°	18 430	1300°	60 710
950°	21 870	1350°	68 870
1000°	26 040	1400°	77 840
1050°	30 150	1450°	87 650
1100°	35 050	1500°	98 310
1150°	40 500	1550°	109 960

V. СООРУЖЕНИЕ ТЕПЛОСИЛОВОЙ СТАНЦИИ

1. Основные положения

Для составления проекта теплосиловой станции деревообрабатывающего комбината прежде всего необходимо выяснить предполагаемый расход энергии и тепла. Расход тепла распадается на две части: первая—на производство силовой энергии для привода машин, орудия, освещения заводских зданий, жилых помещений и заводской усадебной площади, и вторая—на получение технологического пара. Предполагаемый расход энергии зависит от того, какие производства войдут в комбинированное деревообрабатывающее предприятие. Как бы ни было велико потребление электрической энергии деревообрабатывающим комбинатом для обслуживания производственных механизмов, в каждом предприятии, а особенно в крупном комбинате, на освещение заводских помещений, дворов и биржи сырья идет значительное количество энергии.

После определения расхода энергии и пара для всех нужд предприятия, которые должна дать теплосиловая станция, устанавливают мощность машины и род машины двигателей: паровые машины, турбины или газовые двигатели. Затем определяют размеры резерва в машинном оборудовании, так как завод должен быть вполне обеспечен энергией и технологическим паром на случай порчи основных машин, а потому всегда должен быть наготове резервный двигатель.

Далее устанавливают род тока и напряжение. Решение этих основных вопросов должно быть проведено в точном соответствии с требованиями, предъявленными промышленными предприятиями во всей их сложности.

Выбор места расположения теплосиловой станции зависит от условий подачи к ней топлива. В деревообрабатывающей промышленности снабжение станции топливом, которым являются отходы деревообработки во всех ее видах, начиная с лесопиления и кончая столярно-механической обработкой фасонных деталей, зданий или выработкой мебели, требует такого расположения станции, чтобы из всех цехов деревообрабатывающего комбината подача топлива шла по крат-

чайшему направлению. Отходы деревообработки весьма разнообразны по своей форме, начиная с длинных реек, горбылей, стульчиков и кончая обрезками, стружкой и опилками. Кроме различия по форме, отходы значительно отличаются по качеству породы и по влажности. Все эти обстоятельства создают значительные затруднения в распределении отдельных цехов деревообрабатывающей промышленности на площади комбината, которое прежде всего должно быть подчинено требованиям технологического процесса. Но вместе с тем, при выборе места теплосиловой станции необходимо учесть расположение и род транспортных средств, при помощи которых отходы будут подаваться в котельную станцию. При весьма значительном количестве отходов в деревообработке необходимо предусмотреть свободные места на площади комбината, куда можно было бы свозить отходы из цехов. А так как в деревообрабатывающих производствах, даже объединенных в одно большое предприятие, на производство энергии и тепла идет сравнительно большая часть отходов, то при установлении количества отходов, которые будут использованы, как топливо, необходимо предусмотреть особые транспортные средства для подачи этой части в котельную с места сбора отходов или же из цеха непосредственно.

При больших количествах отходов естественно может быть поставлен вопрос об использовании их. Первым и самым естественным использованием отходов явилось бы употребление их, как топлива, для снабжения энергией соседних к деревообрабатывающему комбинату предприятий, коллективных хозяйств и поселений [1]. Таким образом, заводская станция превращается в станцию, обслуживающую некоторый район. Учитывая такую возможность при организации теплосиловой станции деревообрабатывающего комбината, необходимо предварительно произвести учет потребителей энергии и расход ее в заводских и смежных сельских хозяйствах. После разрешения вопроса о роде, мощности и размерах двигателей и общего устройства установки, необходимо определить габаритные размеры станции и далее перейти к экономическим подсчетам и определению стоимости энергии.

Положение заводской станции, обслуживающей только свое предприятие, определяется удобством подачи топлива, отходов из цехов и кратчайшим направлением их при помощи системы транспортеров.

С другой стороны, расположение станции должно быть сообразовано с кратчайшим направлением трубопроводов для подачи пара в производство и для отопления зданий, так как иначе удорожились бы трубопроводы, и их устройство легло бы большим накладным расходом. При обслуживании заводской станцией соседнего района необходимо учесть расположение потребителей энергии: промышленные предприятия, советские и коллективные хозяйства, поселки. В оценке местоположения будет иметь существенное значение устройство электрической сети. И возможно, что теплосиловую станцию придется вынести за пределы деревообрабатывающего комбината с удлинением путей перемещения топлива. Положение станции определится обширностью обслуживаемого района и родом тех предприятий, которым она будет давать ток.

[1] Сейчас отходы деревообработки используются также как сырье для получения спирта путем гидролиза древесины.

Для правильного устройства сети наиболее целесообразным было бы расположение станции в центре обслуживаемого участка. При переменном токе центральное расположение станции наиболее выгодно, так как с удлинением главного провода и возрастанием числа трансформаторных подстанций возрастает стоимость тока. На ряду с большими расходами по уходу за линией передачи, трансформаторными установками увеличиваются потери и размеры погашения.

При выборе места для станции необходимо принять во внимание возможность расширения предприятия, особенно в случае создания сложного предприятия, чтобы впоследствии не стеснять развития производства неподходящим расположением станции. С этой точки зрения, выбранное место приобретает важнейшее значение, особенно при устройстве районной станции. Заранее должны быть предвидены все возможные изменения в расходе энергии потребителями—производственными предприятиями, чтобы и сама станция могла быть расширена со всеми необходимыми для нее жилыми постройками и складами топлива.

Выбирая место для станции, необходимо учесть стоимость вывозки земли при подготовке площадки и рытья котлованов.

Вместе с выбором места необходимо произвести геологическое исследование грунта, где предположена установка станции для выяснения его состояния и определения его твердости и устойчивости и отсутствия слоев плывуна; особенное внимание должно быть обращено на высоту и колебание уровня почвенных вод. А так как деревообрабатывающие комбинаты, основу которых составляет лесопильный цех, располагаются, главным образом, около рек для удобства снабжения древесиной, то при установлении места станции должен быть предварительно изучен режим реки—высота весенних паводков. Станция и склады топлива должны быть сооружены так, чтобы им не угрожало затопление во время половодья. И, вместе с тем, станция должна быть расположена близко к воде, выше самого высокого уровня весенних вод, для удобства прокладки водопроводных труб как для собственных нужд, так и для прокладки пожарного и питьевого водопровода. И, наконец, при выборе места станции необходимо учесть требование санитарии. При близости к заводу рабочих поселков и поселений вообще, необходимо ставить станцию так, чтобы она не причиняла вреда людям дымом, копотью и сотрясением, которое может быть при наличии дизель-двигателей. Вообще, в силовых станциях деревообрабатывающих производств пользование дизель-двигателями редко, и только в бумажной промышленности они встречаются, как резервные машины.

После тщательного определения по графикам расхода общей мощности машин станции определяется мощность отдельных машин, при чем необходимо принять во внимание возрастание нагрузки в периоды усиленной работы в производстве.

Суточные графики в летний и зимний дни показывают, каким моментом соответствует возрастание расхода энергии и тепла. По графикам можно установить нагрузки, которые будет иметь станция; а затем можно установить среднюю максимальную мощность, которую должна дать станция. Вместе с тем по графикам определяются и те промежутки времени, когда мощность станции повышается хотя и кратковременно, но до максимального значения, образуя так называемые „пики“ нагрузки, вследствие требования производства.

Для центральной районной станции необходимо заранее принять во внимание возрастание расхода энергии летом во время сельскохозяйственных работ и зимой при увеличении расхода энергии на освещение.

При выборе машин и определении их мощности должно быть соблюдено требование, чтобы машины работали с наибольшей пользой, что возможно при более полной нагрузке.

Для выполнения этого условия нужно подбирать машины так, чтобы отдельные машины были загружены возможно полнее при значительных колебаниях нагрузки, в зависимости от изменения графика.

В деревообрабатывающей промышленности теплосиловые станции оборудуются паровыми машинами или паровыми турбинами, особенно в больших комбинатах, которые объединяют ряд деревообрабатывающих производств. Эти станции не обладают большой гибкости в управлении при изменяющейся нагрузке, так как они особенно при соединении с генераторами электрического тока, требуют постоянства режима, с одной стороны, а с другой — постоянства нагрузки требуют паровые котлы, работа которых при колебаниях мощности становится невыгодной, вследствие перерасхода топлива и понижения полезности. Паровые котлы с малым содержанием воды не допускают значительного колебания в расходе пара и особенно изменения давления. Всякое изменение установившегося режима котла вызывает неэкономическое увеличение расхода топлива. При выборе котлов для теплосиловой станции деревообрабатывающего комбината это обстоятельство должно быть учтено.

Двигатели внутреннего горения жидкого топлива имеют в этом отношении преимущество перед паровыми машинами и турбинами, так как могут быть легко и быстро пущены в ход и остановлены при изменении расхода энергии.

Газогенераторные установки с газовыми двигателями на древесном газе могут быть применены и в деревообрабатывающей промышленности, но до настоящего времени этот вопрос не решен, не потому, что газофикация древесины представляла бы трудности, а вследствие отсутствия производства газогенераторных установок и двигателей в СССР.[1] В настоящее время, в связи с ростом промышленности и возрастания расхода минерального топлива и, вместе с тем, бережного отношения к лесным богатствам, дровяное топливо должно расходоваться с ограничениями, и его заменят различные виды низкосортного топлива, имеющегося на местах.

[1] В 1937 г. производство газовых двигателей начато на заводе „Двигатель Революции“ в г. Горьком. *Ред.*

В районах деревообрабатывающей промышленности таким местным топливом являются отходы с лесосек и лесопильных заводов.

Распределение установленной мощности, на которую запроектирована станция, в ряде двигателей сравнительно малой мощности невыгодно, так как при такой организации станции возрастают начальные затраты на приобретение машин, котлов и вспомогательных приспособлений, трубопроводов, распределительных устройств. Кроме того, установка с производством энергии в малых машинах вызовет увеличение расхода на устройство самого здания станции. Но и сокращение числа машин, установленных на станции, для повышения мощности каждой имеет существенный недостаток: при часто изменяющейся нагрузке машины будут загружены не в полной мере, а при выходе из строя одной создаются затруднения для производства—неизбежна остановка части комбината, если не предусмотрен резерв. Установка резерва, повышая капиталовложения, понижает тем самым экономичность использования всей станции, так как резервные машины естественно используются мало.

При распределении полной установленной мощности по отдельным машинам необходимо выбирать последние так, чтобы резерв был минимальным и являлся основой для возможного расширения станции. При расширении производства мощность машин оказалась бы недостаточной и установку пришлось бы перегрузить большим количеством машин. Как было выяснено выше, это—невыгодно, вследствие возрастания начальных затрат и вздорожания ухода за машинами.

Выбор и установка крупных машин выгоднее, так как они имеют меньший расход пара, газа или жидкого топлива и работают с более высокой полезностью, чем меньшие машины.

При организации тепловой станции для большого комбината с возможностью отдачи энергии на сторону лучше установить несколько крупных машин и уменьшить величину резерва, но в случае быстрого возрастания расхода энергии следует таковой воспользоваться со стороны и затем пополнить установку добавочными машинами по возможности крупной мощности.

Из изложенного можно сделать заключение, что определение мощности отдельных машин и резерва для установки может быть выяснено только после тщательного изучения обстоятельств как общих, так и частных, характеризующих потребление энергии в данном производстве. Так, при организации деревообрабатывающего комбината, который включает лесопильный цех, несколько столярно-механических производств и фанерную фабрику, необходимо предварительное изучение расхода энергии в этих производствах, и выбор машин должен быть сделан в зависимости от их особенностей.

2. Характеристические параметры теплосиловой станции

Правильность использования оборудования станции в экономическом и техническом отношениях может быть охарактеризована особыми соотношениями, которые далее будем называть характеристиками станции. Установление характеристических параметров станции должно быть произведено при проектировании ее на основе

практических материалов, даваемых существующими установками в деревообрабатывающей промышленности. Затем во время работы теплосиловой станции, построенной для предприятия, эти характеристики должны быть проверены для установления отклонения действительных от выбранных значений. Точное установление характеристик станции особенно необходимо при расширении станции и оценки ее работы.

По Клингенбергу эти характеристики следующие:

1) Коэфициент нагрузки станции m — отношение количества квт-час., выработанных станцией в течение года, к количеству квт-

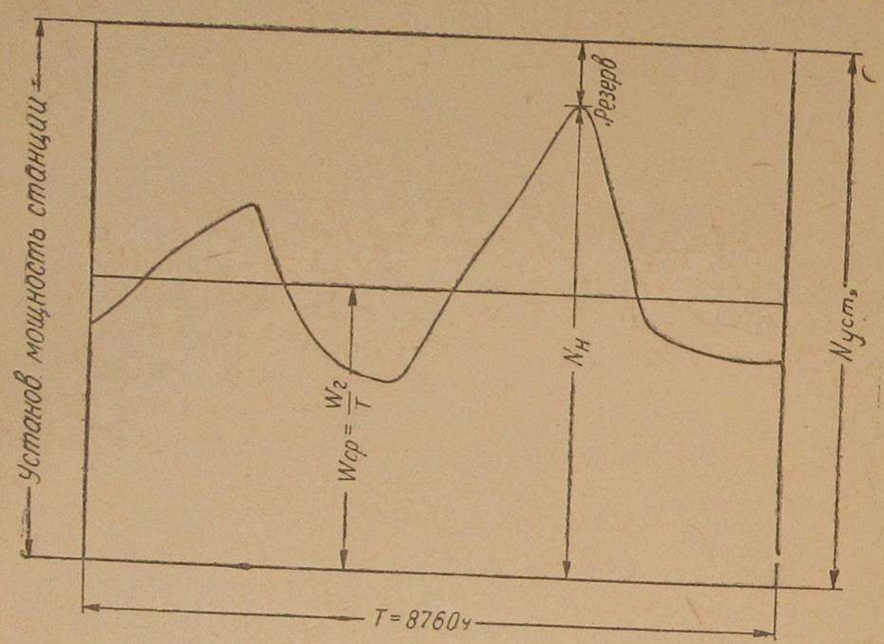


Рис. 23. График нагрузки.

час., которое могло быть выработано при наибольшей нагрузке при непрерывной работе за год.

Обозначим: $W_г$ —годовое количество квт-час., выработанное станцией в год;

$N_н$ —наибольшую продолжительную мощность в квт всех машин, установленных на станции.

Тогда

$$m = \frac{W_г}{N_н\ 8760} = \frac{\text{к-во квт-час.-год}}{\text{к-во квт-час. при наибольшей нагрузке}}.$$

Эта характеристика охватывает всю установку без резерва, она может быть представлена еще и так: на рис. 23 площадь $W_г$ изображает количество квт-час. за год, тогда $W_{ср} = \frac{W_г}{T}$, где T — полное количество часов в год = 8760, тогда

$$m = \frac{W_г}{T\ N_н} = \frac{W_{ср}}{N_н} = \frac{\text{средняя годовая нагрузка станции}}{\text{наибольшая нагрузка станции.}}.$$

2) Коэфициент использования станции n—отношение средней нагрузки к установленной мощности. Эта характеристика может быть представлена, как отношение количества квт-час., произведенных за год, к тому количеству квт-час., которое могло быть произведено при использовании всей установленной мощности и в том числе резервных машин.

$$n = \frac{W_{ср}\ .\ T}{N_{уст}\ .\ T} = \frac{\text{средняя нагрузка станции в квт}}{\text{установленная мощность станции в квт}} = \frac{W_{ср}}{N_{уст}}.$$

3) Коэфициент резерва r—представляет отношение установленной мощности к наибольшей нагрузке станции $N_н$, т. е.

$r = \frac{N_{уст}}{N_н}$, или эта характеристика может быть представлена,

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
101	8 снизу	$f = \frac{L\ .\ (N_{уст}\ .\ t)}{8760\ L_{уст}}$.	$f = \frac{\Sigma\ .\ (N_{уст}\ .\ t)}{8760\ N_{уст}}$.	авт.
„	6 „	$f = \frac{Lt}{L.8760}$	$f = \frac{\Sigma(t)}{L\ 8760}$	авт.
„	5 „	Lt	Σt	авт.

которое затратили бы все установленные машины того же периода времени при условии равновеликой мощности всех машин

$$f = \frac{L\ .\ (N_{уст}\ .\ t)}{8760\ L_{уст}}.$$

Если все машины имеют равную мощность, а число машин L, то

$$f = \frac{Lt}{L\ .8760}.$$

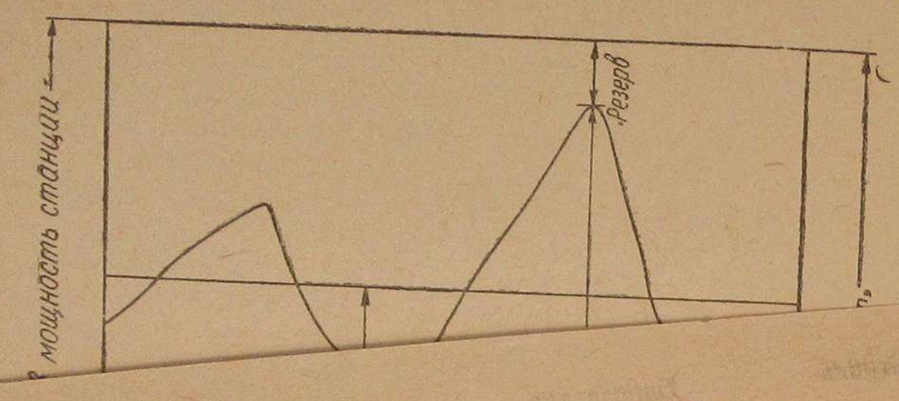
Здесь Lt— сумма часов, проработанных всеми машинами.

Для определения $W_{ср}$ и $N_н$ надо учесть потери в проводах и трансформаторах, а также собственный расход всех вспомогательных устройств и приспособлений, который равен для установок паровых машин от 3 до 5% полной мощности, а для водяных

практических материалов, даваемых существующими установками в деревообрабатывающей промышленности. Затем во время работы теплосиловой станции, построенной для предприятия, эти характеристики должны быть проверены для установления отклонения действительных от выбранных значений. Точное установление характеристик станции особенно необходимо при расширении станции и оценки ее работы.

По Клингенбергу эти характеристики следующие:

1) Коэфициент нагрузки станции m — отношение количества квт-час., выработанных станцией в течение года, к количеству квт-



с ... выработанное

... продолжительную мощность в квт всех машин, установленных на станции.

Тогда

$$m = \frac{W_г}{N_н\ 8760} = \frac{\text{к-во квт-час.-год}}{\text{к-во квт-час. при наибольшей нагрузке}}.$$

Эта характеристика охватывает всю установку без резерва, она может быть представлена еще и так: на рис. 23 площадь $W_г$ изображает количество квт-час. за год, тогда $W_{ср} = \frac{W_г}{T}$, где T — полное количество часов в год $= 8760$, тогда

$$m = \frac{W_г}{T\ N_н} = \frac{W_{ср}}{N_н} = \frac{\text{средняя годовая нагрузка станции}}{\text{наибольшая нагрузка станции.}}.$$

2) Коэфициент использования станции n—отношение средней нагрузки к установленной мощности. Эта характеристика может быть представлена, как отношение количества квт-час., произведенных за год, к тому количеству квт-час., которое могло быть произведено при использовании всей установленной мощности и в том числе резервных машин.

$$n = \frac{W_{ср}\ .\ T}{N_{уст}\ .\ T} = \frac{\text{средняя нагрузка станции в квт}}{\text{установленная мощность станции в квт}} = \frac{W_{ср}}{N_{уст}}.$$

3) Коэфициент резерва r—представляет отношение установленной мощности к наибольшей нагрузке станции $N_н$, т. е.

$r = \frac{N_{уст}}{N_н}$, или эта характеристика может быть представлена, как отношение коэфициента нагрузки к коэфициенту использования:

$$r = \frac{\frac{W_{ср}}{N_н}}{\frac{W_{ср}}{N_{уст}}} = \frac{N_{уст}}{N_н}.$$

Величины m и n всегда < 1, однако, r должен быть больше 1, что означает наличие избыточной мощности против обычной, за счет которой покрывается наибольшая нагрузка при условиях нормальной работы станции.

4) Коэфициент времени использования установки f—отношение количества часов работы машин к тому количеству часов, которое затратили бы все установленные машины в течение того же периода времени при условии равновеликой мощности всех машин

$$f = \frac{L\ .\ (N_{уст}\ .\ t)}{8760\ L_{уст}}.$$

Если все машины имеют равную мощность, а число машин L, то

$$f = \frac{Lt}{L\ .8760}.$$

Здесь Lt— сумма часов, проработанных всеми машинами.

Для определения $W_{ср}$ и $N_н$ надо учесть потери в проводах и трансформаторах, а также собственный расход всех вспомогательных устройств и приспособлений, который равен для установок паровых машин от 3 до 5% полной мощности, а для водяных

станций—1%. Кроме того, при установке буферной промежуточной батареи необходимо учесть мощность, необходимую для ее зарядки в течение определенного времени.

Полная действительная мощность станции равна:

$$N_{\text{п. д. м.}} = N_{\text{пол. м.}} + N_{\text{потер.}} + N_{\text{м. соб. нужд}}.$$

3. Общее устройство станции

Основная задача электрической теплосиловой станции — производство энергии при наименьших издержках, что определяет наиболее экономическое использование топлива, оборудования станции, возможно более дешевое обслуживание станции с наименьшими затратами на труд обслуживающих ее. В соответствии с этими требованиями и при постройке станции должно быть учтено основное требование удешевления энергии, а потому все первоначальные затраты должны быть рассчитаны так, чтобы они ложились в возможно меньшей степени на производимую энергию при нормальной работе станции.

При постройке станции необходимо иметь в виду наилучшее использование всех материалов, облегчение веса конструкций без вреда надежности в эксплоатации. Понижение стоимости станции может быть достигнуто уменьшением кубатуры и площади станционных сооружений — в особенности, котельного и машинных отделений.

Подача топлива и удаление золы, питание котлов, обработка и подготовка воды, обслуживание паро- и электромашинного отделений и уход за паропроводами— все должно быть по возможности механизировано для сокращения расходов на обслуживающий состав. Вся станция и ее отдельные устройства должны быть расположены так, чтобы неизбежные потери тепла были наименьшие, как об этом было указано выше,—паропроводы должны иметь кратчайшее направление, а котлы с дымоходами и устройствами тяги должны образовать компактную группу с наименьшим объемом.

Теплосиловая станция должна быть построена так, чтобы подача топлива в котельную, передача пара из котельной в машинное отделение и канализация электрической энергии совершались в прямолинейном последовательном направлении.

Топливо из склада направляется по оси котельной при помощи транспортера в бункеры, определенной емкости, в расчете запаса на 2 часа работы в случае порчи транспортных средств, откуда топливо подается в отдельные котлы. В топках котлов сжигается топливо при помощи автоматических топок. Далее следует котел, подогреватель воды, и у каждого котла своя труба с дымососом; все переименованные части образуют единую установку. Пар из котлов направляется по осевому направлению котельной в машинное отделение к установленным паровым машинам или турбинам. Котлы при возможно наименьшем объеме воды работают при увеличенной средней нагрузке с высоким перегревом пара и наиболь-

шим давлением в котле, экономически наиболее выгодном с автоматическим питанием. Топки котлов устраиваются с подогревом воздуха, который подается в топки с возможностью их форсировки при точном регулировании процесса горения.

Трубопроводы проектируются так, чтобы при кратчайшем протяжении они пропускали пар с большой скоростью. Установка пародинамо или турбодинамо должна быть вполне надежной в работе с конденсационным устройством при наименьшей затрате энергии, с использованием конденсированного пара для питания котлов и отбором пара из турбин для подогрева питательной воды и использованием теплового отброса вообще.

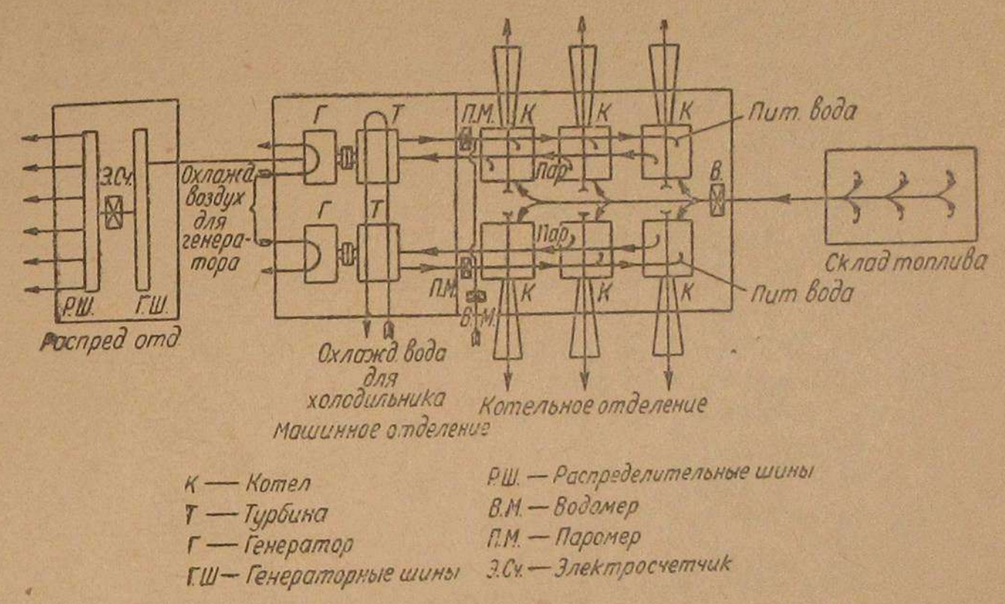


Рис. 24. Схема силовой станции по Клингенбергу.

В теплосиловой установке все вспомогательные процессы протекают в поперечном к главному направлении: так совершается подвод воздуха в топки паровых котлов с предварительным подогревом; отвод топочных газов совершается вверх в отдельные дымовые трубы, отвод отработавшего пара из паровых машин и турбин вниз в холодильники; точно так же в поперечном направлении совершается подвод и отвод охлаждающей воды.

Охлаждение генераторов производится воздухом в поперечном направлении с отводом вниз по кратчайшему направлению к стенкам. На рис. 24 показана энергетическая схема электрической теплосиловой станции по Клингенбергу, которая соответствует приведенным положениям.

Итак, при выборе места станции должны быть приняты во внимание следующие обстоятельства:

1. Условия потребления электрической или тепловой энергии. При расположении потребителей энергии в разных местах станция должна быть расположена в центре обслуживания района и по возможности на равных расстояниях от потребителей.

2. Удобства транспортировки топлива из цехов к станции и снабжение цехов паром для производства и отопления.

3. Наличие источников воды для питания котлов и охлаждения. При значительной мощности станции вопрос об охлаждающей воде приобретает особо важное значение, так как для охлаждения необходимо подавать 0,3—0,4 м³ (квт-час). В таком случае станцию следует приближать к воде, так как пользование оборотной водой для охлаждения пара увеличивает расход топлива, в частности, угля до 18%, вследствие ухудшения разрежения в конденсационной установке и необходимости усиливать мощность насосов, подающих охлажденную воду.

4. Особенности участка, где предположено устройство станции.

5. Взаимное расположение заводской станции и заводских сооружений, которым должна быть обеспечена возможность расширения. В таком случае станция должна быть отнесена от места потребления энергии.

При устройстве здания теплосиловой станции должно быть обращено внимание на следующие обстоятельства:

1) качество почвы и грунта;

2) уровень грунтовых вод и возможное повышение весенних вод;

3) высоту всасывания насосами охлаждающей воды, которая должна быть возможно меньше;

4) объем земляных работ, который должен быть возможно меньшим;

5) величину площади, необходимую для возможного расширения, для запасов топлива и материалов на случай спешного ремонта.

Здание станции должно быть подчинено следующим требованиям: пол котельной и пол подвального помещения под машинным отделением, где располагается конденсационное устройство, должно быть на одном уровне—уровне земли. При таком расположении котельная прямо сообщается с конденсационным помещением, а из машинного отделения должен быть сделан проход непосредственно на служебную галлерею у котлов, с которой удобные лестницы ведут на пол котельного помещения. При расположении пола на уровне земли из котельной должен быть проход в тоннели для отвозки золы и шлаков и в помещение для хранения топлива.

VI. УСТРОЙСТВО КОТЕЛЬНОЙ

Стоимость электрической станции зависит, главным образом, от устройства котельной, поэтому выбор ее оборудования и его расположение должны быть произведены самым тщательным образом. Стоимость котельного отделения зависит от его площади и удешевление может быть достигнуто повышением напряженности поверхности нагрева, так как при этом уменьшается поверхность нагрева а, следовательно, сокращается площадь, занимаемая котлами.

Выбирая паровые котлы и их вспомогательное оборудование, нужно заранее учесть потери в котельной. Все потери, возникающие в котельной установке, разделяются на две группы:

1) Постоянные потери тепла, вследствие теплопроводности и излучения поверхностью обмуровки котла, дымоходов и борова; сюда же надо отнести частично потерю с уходящими газами, не зависящие от нагрузки.

2) Переменные потери тепла в уходящих газах, зависящие от нагрузки, потери от несовершенства процесса горения топлива и от падения давления; потери на растопку, зависящие от изменения нагрузки. Эти потери возрастают тем значительнее, чем больше отличается кратковременная нагрузка от средней в течение дня и года, что характеризуется уменьшением коэфициента нагрузки. Действительно, в формуле $m=\frac{W_{ср}}{N_н}$ с возрастанием $N_н$ — наибольшей нагрузки, по сравнению с средне-годовой — m уменьшается. Но при уменьшении этой разницы и с приближением коэфициента нагрузки к единице, переменные потери уменьшаются, так как растопка приурочивается к начальному пуску котлов и после кратковременных остановок для осмотра котла или чистки.

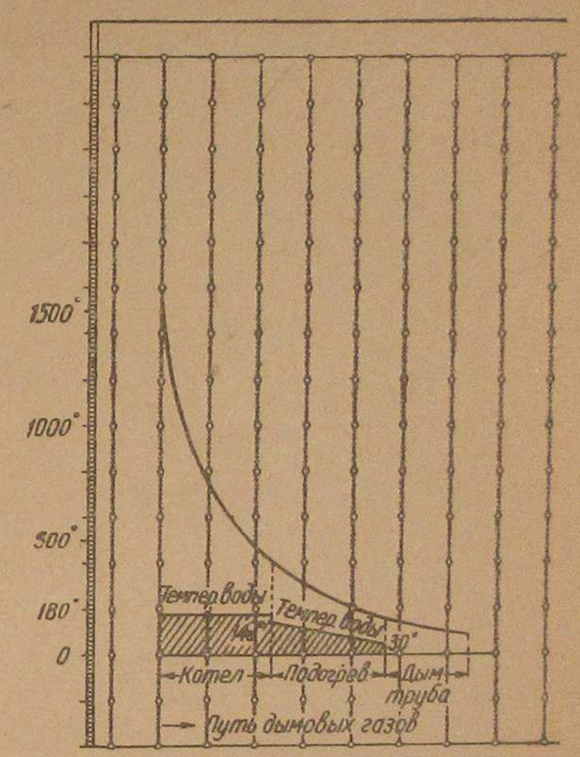


Рис. 25. Диаграмма температур в котельной установке по Клингенбергу.

При выборе оборудования котельной необходимо стремиться к тому, чтобы котельная установка—котел и подогреватель со всеми дымоходами и обмуровкой — занимала наименьший объем, а металлические части имели наименьший вес. Этим достигается уменьшение постоянных потерь котельной установки, которые зависят, главным образом, от поверхности обмуровки паровых котлов.

Рис. 25 представляет диаграмму изменения температур в современной котельной установке высокой паропроизводительности. Большая паропроизводительность первого дымохода котла объясняется тем, что в первом дымоходе передача тепла производится не только переносом и соприкосновением, но и, главным образом, посредством излучения—прямой отдачей, которое пропорционально разности четвертых степеней температур топки и поверхности котельной стенки. Повышение паропроизводительности котельной установки может быть произведено следующим образом. Если отбросить последние дымоходы, проведя сечение через ту часть поверхности нагрева, где температура газов не превышает 400° (рис. 25),

то отделится самый последний дымоход с малой напряженностью поверхности нагрева, и средняя нагрузка в оставшейся части сделается выше; полезность котла понизится, так как газы будут уходить в боров при более высокой температуре—350°—400°, тогда как в котлах старой конструкции—при 250°. Однако, отделение части поверхности нагрева котла в последних дымоходах и передвижка их в подогреватель усилит действие последнего, так как разность температур газов при входе и выходе воды из подогревателя будет больше, а, следовательно, нагрев воды будет значительнее.

Кроме того, стоимость подогревателя меньше, чем стоимость поверхности нагрева котла. И эта разница будет тем выгоднее, чем больше часть малонапряженной поверхности котла высокой стоимости в его последних дымоходах будет заменена сравнительно дешевой поверхностью нагревателя, работающей при большой разности температур газов и воды.

Питательная вода в котле обычной конструкции нагревается от 30° до 100°. В котле с увеличенным подогревателем и уменьшенной поверхностью нагрева температура питательной воды 140° при давлении в котле 15—25 кг|см², а напряженность поверхности нагрева доводится до 30—45 кг|см² при хорошем каменном угле, тогда как на буром угле—до 25—35 кг|см². Можно полагать, что при сжигании древесины в топках подобных котлов напряженность будет не меньше, чем при буром угле. [1]

Сокращение поверхности нагрева котла может вызвать повышение температуры в топке; чтобы избегнуть этого, необходимо главную часть поверхности нагрева в первом дымоходе расположить над колосниковой решеткой так, чтобы увеличить восприятие тепла, вследствие прямой отдачи раскаленной поверхностью топлива. Наивысшая температура в топке при сжигании высокосортного угля и наибольшем содержании углекислоты в газах может быть от 1450—1550°. В котлах высокой паропроизводительности поверхность нагрева образуется кипятильными трубами, длина которых не должна быть больше 5500 мм для большей продолжительности их службы, так как сохранение трубок зависит от действия горячих газов и количества пара и воды в них; чем быстрее и обильнее идет парообразование в трубах, тем скорее перегорает трубка. Количество пара изменяется, в зависимости от скорости воды в трубках, при понижении скорости количество пара увеличивается. Поэтому у котлов высокой производительности должен быть предусмотрен свободный проход пара в трубках и из них—в котельные барабаны.

Все препятствия циркуляции воды должны быть устранены соответствующим расположением трубок.

Паропроизводительность котла зависит не только от количества топлива, сжигаемого на колосниковой решетке, но и от ухода за

---

[1] Эти цифры напряженности поверхности нагрева относятся к котлам „нормального типа“ без экранов. Применение экранов дает возможность значительного увеличения паропроизводительности котлов. Особенно большие величины напряженности поверхности нагрева получаются в котлах прямоточного типа.

топкой; поверхность нагрева котла может дать значительно большее количество пара, чем то, которое получается в обыденной эксплоатации котла, в зависимости от усиления напряженности колосниковой решетки и правильности обслуживания. Умелым ведением топки можно в нужные периоды работы станции дать некоторый избыток пара, усиливая напряженность поверхности нагрева котла, но до известного предела, определяемого опытом. Для выравнивания тепловой нагрузки станции необходима установка теплособирателей вблизи котельной, в которых накапливается тепло избыточного пара из котлов в периоды понижения нагрузки и затем расходуется на процесс парообразования при повышении расхода пара в машинах. С ростом мощности станций возрастает величина поверхности нагрева котлов и ее напряженность, возрастает давление в котлах и температура перегретого пара.

При высокой паропроизводительности и высоких давлениях вертикальные водотрубные котлы требуют внимательного ухода и тщательного обслуживания.

В настоящее время водотрубные котлы с крутонаклонными трубками приобрели широкое применение в теплосиловом хозяйстве промышленности вообще. Успешное распространение этих котлов объясняется возможностью размещения котла, подогревателя и дымовой трубы с дымососом в одной обмуровке. У вертикальных водотрубных котлов фундаменты более простые и дешевые, обмуровка может быть прочно и вместе с тем просто скреплена с железным каркасом.

За последнее время, на ряду с вертикальными водотрубными котлами, получают распространение горизонтальные водотрубные котлы со слабонаклонными трубками.

Применение котлов высокого давления с большой напряженностью поверхности нагрева с развитым водоподогревателем дают следующие преимущества в деле построения котельных, которые по Клингенбергу сводятся к нижеследующим.

Повышение паропроизводительности котла посредством устройства большой колосниковой решетки, пригодной для большой перегрузки, с значительной прямой отдачей тепла поверхности нагрева котла (путем, например, устройства экрана), вследствие чего повышается средняя нагрузка первой части поверхности нагрева. Эти свойства котлов большой паропроизводительности уменьшают удельную наружную поверхность нагрева.

При устройстве же котлов соблюдаются условия, которые создают свободную циркуляцию воды и быстрый переход пара из нагреваемых кипятильных трубок в верхние барабаны. Уменьшение сопротивлений в дымоходах котлов и сокращение длины борова достигается установкой водоподогревателя возможно ближе к котлу; создание надлежащей тяги при наименьшей потере тепла в уходящих газах обеспечивается устройством у каждого котла особой дымовой трубы в непосредственной близости к водоподогревателю.

При таком устройстве котельной установки площадь котельного отделения может быть уменьшена почти вдвое против обычных котельных, что ведет к сокращению длины паропроводов от котлов

к машинам и всех остальных как питательных, так и паропроводов для собственных нужд, и удешевляет стоимость теплосиловой станции.

Значительно влияет на стоимость котельной в целом и на расходы по уходу за котельной установкой величина резерва, которая, в свою очередь, зависит, главным образом, от длительности наибольшей нагрузки. Чем меньше промежуток времени, в течение которого держится наибольшая нагрузка, тем меньше должен быть котельный резерв и при длительном в течение части суток наибольшем расходе пара резерв должен быть значительно увеличен. Преуменьшение резерва может вызвать быстрое изнашивание основной поверхности нагрева и понижение ее напряженности, что вызовет увеличение расхода топлива. Топливо, применяющееся в деревообрабатывающей промышленности — отходы древесины—не содержит серы при незначительном количестве золы, и при сравнительно невысокой теплотворности не вызывает быстрого изнашивания ступенчатых колосниковых решеток, что часто наблюдается при употреблении каменного угля на цепных решетках, элементы которых часто перегорают и требуют ремонта.

VII. УСПЕХИ КОТЕЛЬНОГО ДЕЛА

Успехи котельного дела обусловливаются введением пара высокого давления и сжигания угля в виде пыли. До настоящего времени топливом в силовых установках деревообрабатывающей промышленности были опилки и дробленые отходы лесопиления. С развитием лесохимической промышленности, а также целлулозных заводов, получающих частично сырье с лесопильных заводов в виде отходов—горбылей, реек и крупных обрезков, вопрос об отходах ставится промышленным развитием по новому: отходы деревообработки становятся ценным сырьем, и деревообрабатывающая промышленность лишается в значительной мере тех громадных запасов дешевого топлива, которым были засыпаны склады лесопильных заводов. В недалеком будущем деревообрабатывающая промышленность, предприятия которой по плану второго пятилетия строятся в виде мощных комбинатов, потребуют иные виды топлива. Прежде всего пойдут на топливо отходы лесосечной древесины, которые остаются на лесосеках и не используется вовсе. Это топливо, предварительно подвергнутое дроблению, составит основу производства энергии в крупных теплосиловых установках комбинатов. Мощность новостроящихся комбинатов достигает крупных размеров.

Мощные установки потребуют больших котлов. С ростом и развитием деревообрабатывающих предприятий дробленых лесосечных отходов нехватит и придется ввести в практику котельных установок уголь, который можно сжигать вместе с отходами деревообработки и лесосек.

В настоящее время давление в котельных установках деревообрабатывающих предприятий не превышает 32—35 кг/см². Но нет никаких оснований считать, что эти значения предельны. Вопросы

рационального использования топлива заставят переходить к более высоким давлениям, что имеет место в теплосиловых установках районного значения. Котельные деревообрабатывающих комбинатов превращаются в современные установки со всеми необходимыми приспособлениями, как автоматическое питание топок, цепные топки или топки с приспособлениями для автоматического золоудаления. Подогрев воды и воздуха, тщательная обработка питательной воды появляются в новых установках, дающих силовой или технологический пар, и становятся их неизменной принадлежностью. Паровые котлы приобретают большую поверхность нагрева и их устройство основывается на следующих положениях, характеризующих новое котлостроение.

В основу новой техники котлостроения легли следующие исследованные процессы:

1) излучение теплоты горения;

2) зависимость распространения теплоты проводимостью и переносом от скорости газов;

3) важность кругооборота воды для безопасности и продолжительности работы котла;

4) обработка питательной воды и удаление из нее газов для котлов высоких давлений и температур;

5) причины разъедания стенок котлов, разрывов заклепок и изломов кромок котельных листов.

Разрешение этих вопросов указало новые способы для повышения производительности котлов, их полезности и экономического расходования топлива.

Для современного котлостроения характерны: повышения давления, температуры перегретого пара, напряженности поверхности нагрева и колосниковой решетки. В настоящее время в котельном деле произошел резкий переход от давлений, еще совсем недавно считавшихся высокими, 15—20 кг/см² абс., к давлениям 30—35 кг/см² абс., а за последние годы намечается переход к давлениям более высоким—100—140 кг/см² абс.

Котлы с давлением 30—40 кг/см² абс. имеют в настоящее время совершенно определенную установившуюся форму; они строятся с крутонаклонными и слабонаклонными водяными трубками. Ограничение давления в промышленных котельных установках 30—40 кг/см² абс. объясняется причинами экономическими, но не техническими. Работа котлов повышенного давления (30—40 кг/см² абс.) и высокого давления выше 40 кг/см² абс. не представляет никаких затруднений.

Установки паровых машин и турбин с противодавлением более выгодны, чем конденсационные. Чем выше противодавление, тем большую можно получить мощность в паровых турбинах, вследствие повышения расхода пара, которая может быть продана посторонним потребителям. В деревообрабатывающих производствах, расходующих значительное количество технологического пара, возможно получить всю необходимую энергию в машинах с противодавлением, имеющим давление в начале 25—30 кг/см² абс. Котельные установки производственных предприятий сейчас обычно работают при давлениях пара 30—40 кг/см² абс. Более высокие давле-

ния имеет смысл применять в особо крупных предприятиях или если станция уже носит характер районной.

Котлы, работающие с продолжительной высокой напряженностью поверхности нагрева, при непрерывной нагрузке необходимо строить для высоких давлений, так как большие начальные затраты будут с избытком покрыты экономией топлива.

Стремление экономно расходовать топливо в деревообрабатывающих предприятиях вызовет переход к высоким давлениям в котельных установках. В настоящее время можно было бы предложить следующее распределение паровых котлов по давлениям:

Котлы с давлением до	10 кг/см²	ман.	—низкого давления.
„ „ „	10—20	„	„ —ниже среднего давления.
„ „ „	21—30	„	„ —среднего „
„ „ „	31—40	„	„ —повышенного „
„ „ „	41—60	„	„ —высокого „
„ „ „	61—100	„	„ —очень высокого „
„ „ „	выше 100	„	„ —сверхвысокого „

В соответствии с повышающимся давлением возрастает температура пара. Пар при температуре 300° и давлении 15 кг/см² абс., расширяющийся в машине до 0,05 кг/см², в холодильнике превращается во влажный пар в последних ступенях турбин, который разъедает металл лопаток и сокращает срок службы паровых машин. Поэтому в машинах, работающих с конденсацией, необходимо повышать температуру пара при впуске в машину, создавая высокий перегрев пара.

У машин, работающих с противодавлением, повышение температуры перегретого пара также необходимо, так как пар, отбираемый за машиной, должен быть сухой, а еще лучше—с небольшим перегревом. При давлениях прежнего времени 10—20 кг/см² и противодавлении 3 кг/см² температура перегретого пара была 250—300° для сохранения пара сухим после машины; но при давлении 30 кг/см² температура должна быть 375—400°, при 50 кг/см²—420—450°.

В новых котлах для выполнения этого требования увеличивается поверхность перегревателя и повышается его удельная паропроизводительность соответствующим расположением и распределением поверхности нагрева. В старых котлах поверхность перегревателя составляла 15—20% поверхности нагрева котла, теперь стремятся к значительному увеличению поверхности нагрева перегревателя (25, 30 и до 50). Поверхность перегревателя выросла вдвое по сравнению с наибольшими поверхностями нагрева перегревателя, которые были 20 лет назад. Перегретый пар в современных котлах имеет температуру 400—425° и в некоторых установках поднимается до 450° и даже до 500°, а в 1934 г. была испытана установка с перегретым паром 600°.

Увеличение мощности паровых турбин потребовало построения паровых котлов повышенной паропроизводительности. Построение мощных паровых котлов доведено в настоящее время до 3000 м² с напряженностью поверхности нагрева до 75 кг/м²-час и даже выше

(в котлах с принудительной циркуляцией, например, прямоточного типа) при рабочих давлениях в 100 кг/см² ман. с температурой 450—500°. В этих мощных паровых котлах паропроизводительность сосредоточивается в системе кипятильных трубок с тонкими стенками в 4—5 мм. Для получения больших количеств пара кипятильным трубкам придается вертикальное или крутонаклонное направление, так что топочные газы омывают по всей длине кипятильные трубки, в которых усиленно циркулирует вода и происходит оживленное образование пара.

Новейшие вертикальные водотрубные котлы имеют три или два барабана, которые образуют значительное водяное и паровое пространства один тип котлов имеет два верхних и один нижний, а другой—один барабан вверху и один внизу. Эти барабаны для наиболее высоких давлений изготовляются из цельнокованых болванок никелевой стали; для давлений до 30 кг/см² барабаны изготовляются без продольных швов с вклепанными днищами; для давлений до 40 кг/см²—сварные барабаны без швов.

Для придания эластичности соединению поперечных барабанов кипятильные трубки изгибаются и вводятся в стенки барабанов в радиальном направлении. При котлах высокой производительности устраиваются топки для угольной пыли. Но в деревообрабатывающей промышленности котлы с весьма большой поверхностью нагрева (выше 650 см²) не находят применения, как и пылесожигание, так как вся потребность в топливе может быть покрыта отходами производства. Вертикальные водотрубные котлы разных заводов различаются, главным образом, расположением и направлением кипятильных и водогрейных трубок, а также расположением и числом барабанов. При большой поверхности нагрева вертикальные водотрубные котлы занимают сравнительно мало места, но высоту они имеют большую. Полезность вертикальных водотрубных котлов равна от 75—80%, может быть получена и до 85%, но только при топке хорошим каменным углем или при пылевидном топливе.

Удельная производительность котлов поднялась за последние годы очень высоко, вследствие стремления объединить силовое хозяйство в больших установках, обслуживающих производственные предприятия. Объединение теплосиловых установок дает экономию в расходах по обслуживанию и в стоимости самой установки, по сравнению с рядом мелких установок.

Еще недавно в СССР котлы с поверхностью нагрева в 600 м² считались крупными котлами, а теперь — это котлы средней величины. Точно так же резко изменилось представление о напряженности поверхности нагрева. Еще недавно напряженность поверхности нагрева 15—20 кг/м²-час считалась нормальной, а 25—30 кг/м²-час — высокой. В настоящее время считается нормальной напряженность в жаротрубных котлах 18—20 кг/м²-час, для водотрубных котлов со слабонаклонными трубками—25—35 кг/м²-час и для водотрубных котлов с крутонаклонными трубками—35—50 кг/м²-час. и выше.

В установке водотрубного котла всегда устанавливается перегреватель и водоподогреватель, а часто и воздухоподогреватель, чем повышается полезность котла до 78—83% со слабонаклонными трубками, а для водотрубных котлов с крутонаклонными трубками

полезность равна 80—85%. Удельный объем воды для котлов „Б-В“ с двумя верхними барабанами составляет 75—100 л/м² поверхности нагрева. У котлов этой системы с поверхностью нагрева 300 м² при двух верхних барабанах, имеющих внутренний диаметр 1100 мм и длину 7100 мм, объем воды, заключающийся между высшим и низшим уровнями, составляет 3,4 м³. Этот объем вмещает в себе 2890 кг воды при давлении 18 кг/см² абс. и температуре воды 210°. При напряженности поверхности нагрева 25 кг/м²-час—нормальной для котлов этого типа—этого запаса воды хватит на 23 мин.

Водотрубные котлы с крутонаклонными трубками имеют удельный объем 35—60 л/м² поверхности нагрева, и у них объем воды, изменяющийся в процессе испарения, может быть использован в еще более короткий промежуток времени.

У вертикального водотрубного котла с крутонаклонными трубками с давлением 30 кг/см² и температурой 240° при 300 м² и двух барабанах, имеющих диаметр 1500 мм и длину 4300 мм, объем воды между высшим и низшим уровнями содержит 2300 кг воды (2,84 м³). При паропроизводительности котла 15 000 кг/час приведенного выше запаса воды хватит на 9 мин. Из этих подсчетов видно, что питание водотрубных котлов новейших систем с высоким давлением требует особой внимательности обслуживающего персонала и надежности питательных устройств.

VIII. ПАРОВЫЕ КОТЛЫ, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С ростом деревообрабатывающих предприятий, представляющих комбинаты, где производство охватывает все последовательные процессы от распиловки кряжей до изготовления вполне законченных изделий, теплосиловое хозяйство усложняется и потребность в паре возрастает, а, следовательно, выдвигается требование на значительные по своим размерам паровые котлы. Если в настоящее время на силовых станциях деревообрабатывающих предприятий можно видеть паровые котлы небольших поверхностей нагрева, то, в дальнейшем, с ростом предприятий деревообработки, появятся более крупные котлы с высоким перегревом.

Котельная промышленность в СССР занята изготовлением котлов с давлениями 10, 15, 17, 32 кг/см² (ман.), перегретый пар имеет температуру до 425°. Заводы Главэнергопрома дают ряд котлов весьма крупных размеров—2500 м², 1600 м², 1500 м², 800 м², а также средней величины—650 м², 500 м², 450 м², 400 м². Эти котлы вертикального типа—первые трехбарабанные, а последние три—двухбарабанные. Кроме того, те же заводы строят для средних и малых установок секционные котлы типа „Бабкок-Вилькокс“[1] следующих поверхностей нагрева: 400 м², 350 м², 250 м², Шухова—горизонтальные с поверхностью нагрева 62,5, 105, 125, 155, 165, 210, 250, 310 м² на давление 15 кг/см² ман.

Для вспомогательных установок изготовляются стоячие котлы: Шухова—10, 16, 5, 25, 35 м² на давление 8 кг/см² и ланкаширские котлы с поверхностью нагрева 100 м² и на давление 10 кг/см².[1]

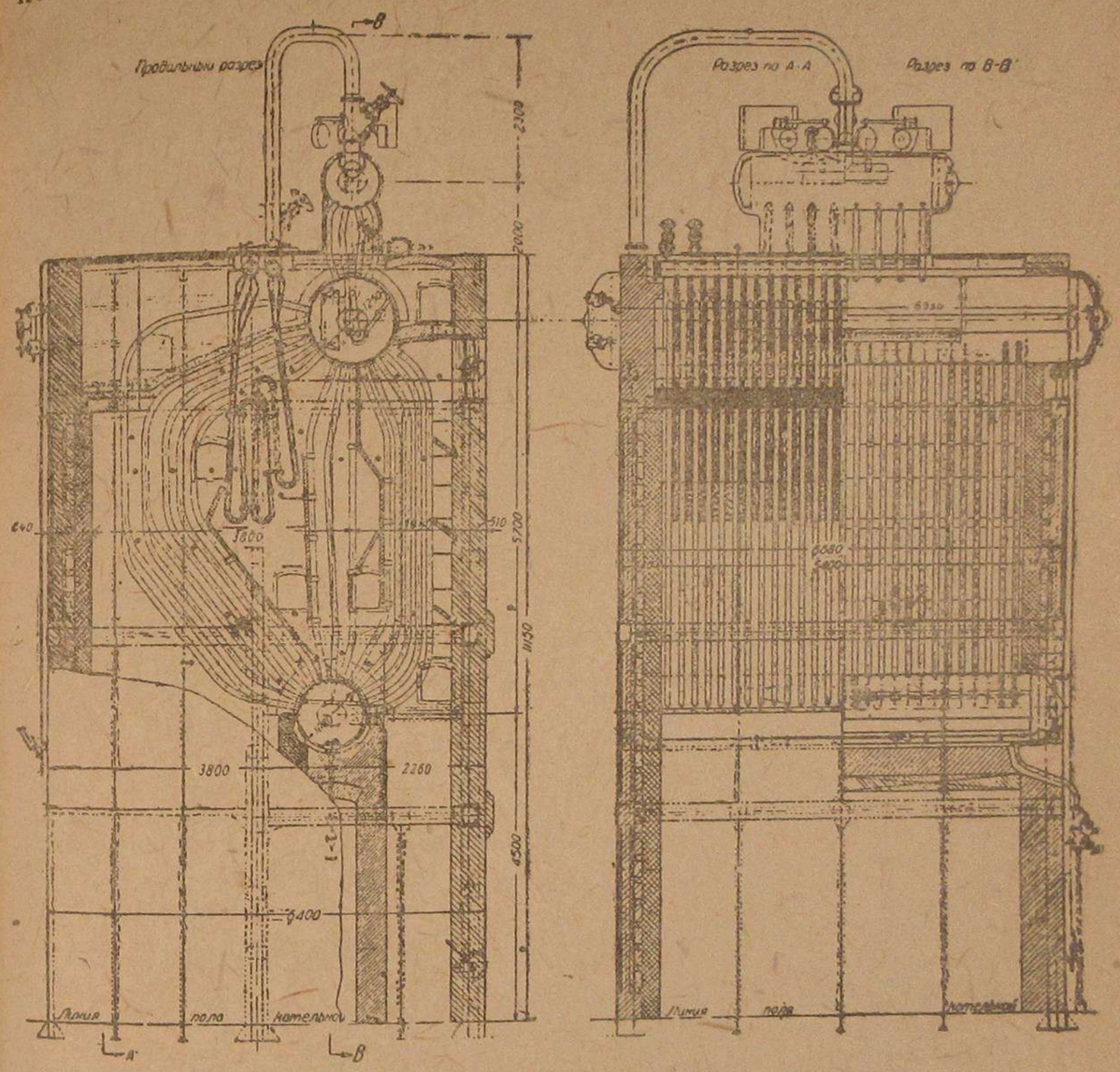


Рис. 26. Двухбарабанный котел $H = 500$ м²; $p = 17 - 22$ кг/см²; продольный и поперечный разрезы.

Принимая во внимание потребность деревообрабатывающих производств в больших количествах пара и сравнительно небольшие размеры машин-двигателей, вследствие невысокой энергоемкости деревообрабатывающей промышленности, можно полагать, что величина котельных установок ограничится в ближайшее время котлами с поверхностью нагрева не выше 500 м². А потому в даль-

[1] Котлы „Б.-В.“ с поперечным барабаном, поверхностью нагрева — 350, 250 м с 1933 г. снимаются с производства.

[1] В настоящее время часть отмеченных типов котлов снимается с производства и заменяется другими котлами более совершенной конструкции.

нейшем рассмотрим только такие типы котлов, которые могут иметь значение для деревообрабатывающей промышленности.[1]

1) Вертикально-водотрубный котел 2-барабанный (рис. 26); поверхность нагрева 500 м². Давление — 17—22 кг/см² ман. и перегрев—375°. Котел имеет три пучка трубок; крутой подъем трубок первого пучка создает свободный проход смеси пара с водой в верхний барабан, при чем первый ряд трубок этого пучка, выведенный в паровое пространство барабана, облегчает выход пара из наиболее парообразующих трубок, чем уменьшается бурление воды в этом барабане. Пучок трубок, отводящих воду из верхнего барабана в нижний, лежащий в третьем дымоходе и омываемый газами низких температур, обладает суммарным сечением трубок, рассчитанным с большим запасом, что обеспечивает в этом котле вполне устойчивую циркуляцию воды.

Сухопарник с паросушителем дает сухой пар при сильно изменяющемся расходе пара. Крутой подъем котельных трубок первого пучка и поперечный ток газов через вертикальный перегреватель освобождают котел от загрязнения поверхности этих частей котла при применении зольного топлива.

Котел имеет ширину пролета между стенками обмуровки 5400 мм, вследствие чего к нему можно легко приспособить широкие переталкивающие шахтные и ступенчатые топки. Принимая во внимание, что рассматриваемые типы котлов назначаются для небольших установок, какими являются котельные в деревообрабатывающих предприятиях, питание водой должно производиться хотя и не дестиллированной но все же чистой, которая должна быть обработана каким-либо химическим способом. Требование питания котлов чистой водой должно быть утверждено решительнейшим образом, а потому нельзя согласиться со словами в описании этого котла в издании „Энергооборудование СССР“, где говорится, что „поскольку котел предназначен для небольших промышленных установок нормального давления не всегда можно рассчитывать на питание абсолютно чистой водой“. Такое снисходительное замечание автора упомянутой книги в практике производства приведет к питанию котлов „не чистой водой“ (ведь абсолютно чистой воды нет!).

Нормальная напряженность поверхности нагрева 35—40 кг/м²-час и усиленная—45—50 кг/м²-час.

2) Вертикально-водотрубный котел двухбарабанный; поверхность нагрева—450 м². Давление—17, 22, 32 кг/см² ман.; перегрев 375°, 400° и 425°.

Котлы этого типа могут быть соединены с топками разнообразных систем, почему его ширина между стенками обмуровки равна 4550 мм. Цепная решетка может быть пристроена без выносного свода. Расположение пучка труб, отводящего воду из верхнего барабана в нижний, в третьем дымоходе в потоке газов, поднимающихся вверх противотоком, способствует циркуляции воды в котле

[1] Числовые характеристики котлов см. табл. I, II, IV, V, VI, VIII, IX „Энергооборудование—СССР“, изд. Гос. Энерг. изд. 1934 г.

3) Вертикальный водотрубный котел двухбарабанный; поверхность нагрева—400 м². Давление—17 и 22 кг/см² ман.; перегрев—350°—400°. Котел по своему устройству напоминает одинаковый котел в 500 м², но только ширина его—4400 мм. Все характерные черты, приведенные в описании котла в 500 м², свойственны этому котлу.

4) Секционные котлы типа „Бабкок-Вилькокс“ с продольным барабаном, с поверхностью нагрева 400 м² при давлении 15 кг/см² ман. и температуре 375° показаны на рис. 27. Котел предназначен

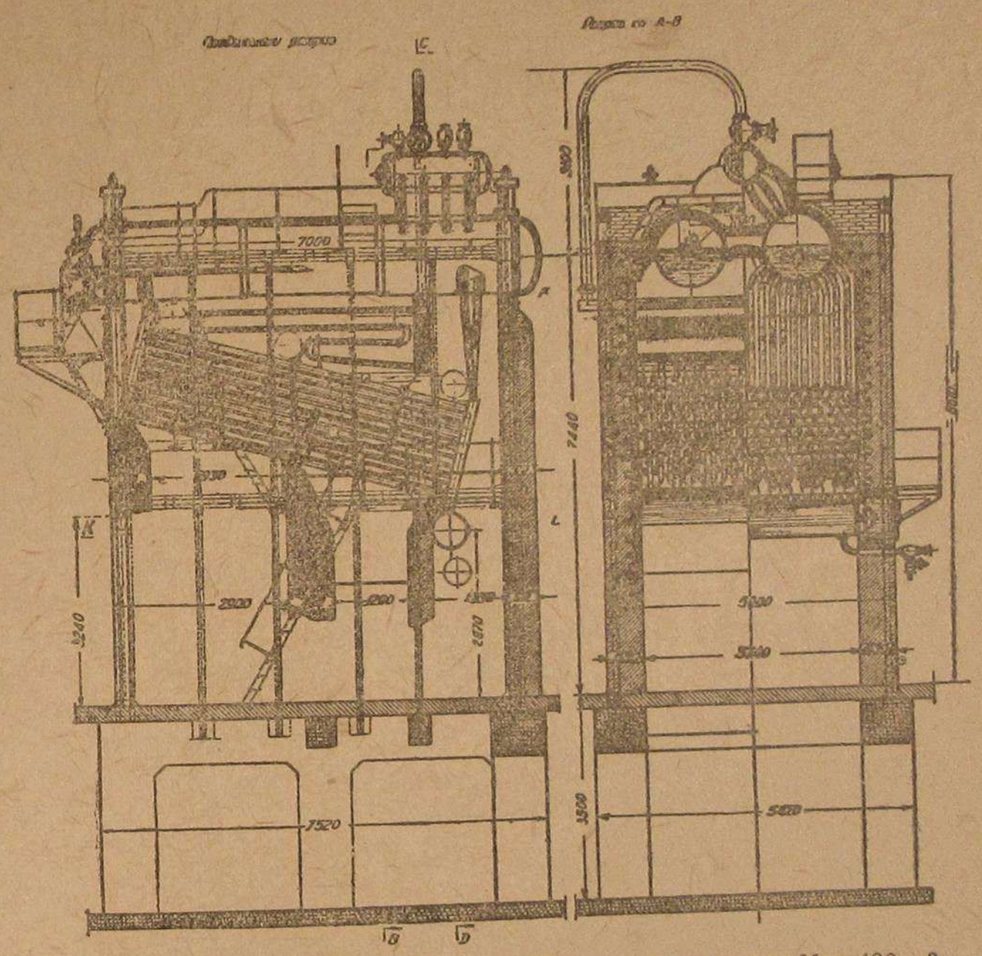


Рис. 27. Котел типа „Б-В“ с продольным барабаном: $H = 400$ м²; $p = 15$ кг/см².

для соединения с различными системами топок. Котел имеет два пучка кипятильных трубок, над которыми находится пароперегреватель. Сборные камеры перегретого пара установлены снаружи вне потока газов и могут быть легко осмотрены. Котел дает пара 12 т/час, но возможно получить 14 т/час при соответствующем топливе и устройстве топок, а при питании перегонной водой паропроизводительность котла может быть доведена до 16 т/час.

5) Секционные котлы типа „Бабкок“—250 м². Давление—15—22 кг/см² ман.; перегретый пар—375—400°. Котел этого типа, как предназначенный для широкого применения в промышленности, может быть соединен с различными топками. Нижний ряд трубок поставлен в разбежку для большого восприятия лучистой теплоты

и предохранения от шлаков. Перегреватель расположен так, что его паросборники находятся вне потока газов; змеевики могут быть извлечены между соединительными трубами. В виду возможности питания котла недостаточно чистой водой котел снабжен грязевиком, имеющим форму барабана с диаметром 600 мм. Котел этой системы—с продольным барабаном, его каркас может быть построен с высотой 4 м от пола до центра первого ряда кипятильных трубок или 6 м для цепных решеток.

6) Котлы Шухова—горизонтальные. Эти котлы изготовляются заводами Главэнергопрома с поверхностями нагрева: 62,5—105—125—155—185—210—250—310 м² при давлении 15 кг/см² ман. Котлы Шухова известны простотой конструкции, сборки и установки и могут быть с успехом применены в теплосиловых установках предприятий деревообрабатывающей промышленности, которая в ряде предприятий нуждается в паре невысоких давлений. [1]

Кроме того, заводы Главэнергопрома изготовляют:

7) Стоячие котлы Шухова с поверхностями нагрева: 10—16,5—25 и 35 м² для давления 8 кг/см² ман. Эти котлы предназначаются для отопительных установок и для небольших промышленных временных установок.

8) Ланкаширские котлы с поверхностью нагрева 100 м² для давления 10 кг/см² ман. Вес котла клепаной конструкции—21,0 т и сварной—18,5 т. Эти котлы также имеют применение в деревообрабатывающих предприятиях, где имеется потребность только в технологическом паре при получении энергии со стороны.

Паровые котлы с большим водяным объемом (ланкаширские) с давлением 10 кг/см² применяются на целлюлозных заводах для производства пара на варку. Жаровые трубы этих котлов изготовляют для малозольного каменного угля из волнистого железа, а для углей с большим содержанием золы — из гладкого железа; точно так же и для опилочного отопления. Паропроизводительность этих котлов применяется от 18 до 28 кг/м²-час. Полезность жаротрубного котла равна от 65 до 73%; при установке перегревателя и подогревателя полезность повышается до 75—78%. У котла с поверхностью нагрева 100 м² при длине около 11 м и с диаметром 2,2 м объем водяного пространства между допустимым высшим и самым низким уровнем воды в котле равен около 2,5 м³; вес воды в этом объеме при давлении 11 кг/см² абс., если удельный вес воды 0,884, будет 2210 кг. Если принять напряженность поверхности нагрева котла 20 кг/м²-час, то запаса воды в котле будет достаточно на 1 час работы, если не будет производиться питание котла.

IX. РАБОТА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Общая характеристика потерь

Теплосиловое хозяйство в строительстве больших комбинированных предприятий деревообрабатывающей промышленности приобретает существенное значение с ростом предприятий. Если в существующих небольших двух- или трехрамных лесопильных

[1] В будущем году взамен котлов Шухова для тех же производительностей будут строиться котлы более усовершенствованного типа.

заводах теплосиловое хозяйство до настоящего времени сводится к топке котла возможно бо́льшим количеством опилок, которые считают нужным уничтожать, как „зло“, одолевающее завод своей громоздкой массой и к непрерывной подаче пара в машины для безостановочного действия завода, то в развивающемся крупном деревообрабатывающем производстве по программе второго пятилетия такое положение не может оставаться. Крупные предприятия, как группа архангельских заводов или сталинградская группа с мощным оборудованием и огромным выпуском пиломатериалов, с большим количеством отходов, конечно, не могут вестись, как мелкие лесопильные заводы, так как теперь поставлен во всей полноте вопрос использования отходов в ряде производств, начиная с переработки крупных отходов в производствах предметов широкого потребления и кончая переработкой мелких отходов и опилок в химических производствах. И до тех пор, пока химические производства не смогут переработать большие количества опилок, опилки будут использованы в деревообрабатывающих предприятиях, как топливо, которое должно расходовать со всей тщательностью и экономичностью наравне с другими видами топлива, считаясь с тем, что отходы деревообработки являются полноценным топливом и, кроме того, сырьем для ряда производств.

Теплосиловое хозяйство деревообрабатывающих предприятий должно быть рациональным хозяйством, преследующим цели не только экономного использования топлива, но и бережного расходования пара с постоянным стремлением повысить полезность всех теплоиспользующих приспособлений и устройств как силового, так и производственного значения.

Котельная установка в современных предприятиях приобретает особо важное значение, так как малейшая остановка в ее работе отзывается на всяком, а особенно на большом предприятии, и наносит ущерб как производственной, так и финансовой стороне его существа.

Рациональное ведение котельной требует точного учета в расходе топлива.

При наблюдении за котельной необходимо иметь правильные и твердые оценки работы котлов. С этой стороны должна быть ясна сущность и свойства как всей котельной в целом, так и отдельных частей.

Присущие всякой теплосиловой котельной установке потери должны быть твердо установлены и осознаны.

Потери тепла в котельной установке могут быть объединены в следующие группы:

I. Потери от неполноты использования теплотворности топлива. Эти потери механического и химического характера, так называемые механический и химический недожог.

II. Потери от уноса части тепла в трубу с дымовыми газами.

III. Потери на лучеиспускание топкой, обмуровкой и непосредственно поверхностью частей котла.

Особую группу составляет затрата тепла на привод в действие приборов, обслуживающих котел.

Эту затрату тепла нельзя относить к потерям в котельной установке, так как без питательных насосов, вентиляторов и других приборов котел не мог бы выполнять своего назначения, поэтому даже косвенный учет этого расхода тепла для установления чистой производительности котла был бы неверен. Возможно только определять долю затраты тепла на работу вспомогательных механизмов для оценки их состояния, в какой мере, действительно, в них расходуется пар экономически выгодно, без излишка затраты, чем снижается производительность котла.

Первая группа потерь может быть разделена на нижеследующие подгруппы.

Потери от механического недожога:

1) от провала части несгоревшего топлива в зольник;

2) потеря в золе и шлаках, нагревающихся за счет тепла топлива и содержащих в себе частицы несгоревшего топлива;

3) потери от уноса мелких частиц топлива в дымоходы и трубу.

Потеря от химического недожога:

потеря тепла, вследствие частичного сгорания углерода топлива в окись углерода.

Расход тепла на обслуживание котла обусловливается необходимостью привода: 1) приборов питания котла; 2) устройств, обслуживающих подачу топлива, и действие колосниковой решетки; 3) вентиляторов топочного дутья; 4) тяговых приборов и 5) сушильных приспособлений.

Потеря тепла с дымовыми газами является крупнейшей среди остальных. Экономия в расходовании тепла основывается, главным образом, на уменьшении этой потери посредством ряда мероприятий. Главнейшая часть этих мероприятий—дело конструктора котла, они должны найти отражение в рациональном устройстве котла и его дымоходов, который должен иметь перегреватель, водоподогреватель, воздухоподогреватель. Но и при некоторых чисто органических недостатках котла в его работе посредством контроля процесса горения и наблюдения за работой кочегаров эта потеря может быть понижена, но никогда не устранима полностью, так как удаление продуктов горения из топки требует выпуска газов в трубу с температурой внизу трубы не ниже 150°. И даже при хорошо ведущейся топке при устройстве водоподогревателя потеря с дымовыми газами будет не ниже 10—12%, а без него—20—25% и иногда выше, до 30—40 % в малых котельных установках.

Вообще рассматриваемая потеря зависит от состава дымовых газов и их температуры или от рода топлива и, в особенности, от нагрузки котла. Использование тепла дымовых газов посредством нагрева воздуха, вдуваемого в топку,—одно из лучших средств понижения расхода топлива. Горячим дутьем[1] в Каширской ГЭС расход топлива был понижен с 7,8 до 2,3 кг/квт-ч и напряженность поверхности нагрева увеличилась с 11 до 20 кг/м². Потеря с уходящими газами определяется по формуле:

$$Q_{\text{ух. г}} = \left[\frac{0{,}314\,C}{0{,}54(CO_2 + CO)} + 0{,}0048\,(9\,H + W)\right] \cdot (t_{\text{ух. г}} - t_{\text{вз}}).$$

[1] Меерович. Эксплоатация станций, стр. 379.

В этой формуле:

C—содержание углерода в топливе,

H— „ водорода „ „

W— „ воды „ „

CO_2 и CO—% содержание в газах,

$t_{\text{ух. г.}}$ — температура уходящих газов,

$t_{\text{вз.}}$ — „ воздуха, подаваемого в топку.

Приведенную формулу можно упростить, предполагая содержание окиси углерода в газах весьма малой при хорошем ведении топки, так что практически им можно пренебречь.

$$Q_{\text{ух. г.}} = \left[0{,}58\,\frac{C}{CO_2} + 0{,}0048\,(9\,H + W)\right](t_{\text{ух. г.}} - t_{\text{вз}}).$$

Использование теплоты уходящих газов при помощи водоподогревателя вызывает необходимость усиления тяги, что увеличивает затраты на установки и все связанные с этим расходы. Установление необходимого использования теплоты отходящих газов—дело экономического подсчета выгодности способа этого использования.

2. Потери от химического недожога

Потери этого рода поддаются значительному уменьшению правильным ведением работы топки. Химический недожог есть результат неполноты горения углерода топлива, который окисляется частью в окись углерода (CO). Количество тепла, выделяющееся при сгорании 1 кг углерода в окись углерода, равно 2440 кал., а при полном сгорании углерода в углекислоту—в 8140 кал., т. е. в 3,3 раза больше. Неполное сгорание углерода происходит при недостатке воздуха, подводимого в топку, вследствие чего нехватает кислорода на окисление углерода в конечный продукт сгорания. Для возможно более полного сгорания топлива воздух вводится в топку с некоторым избытком, который равен $\left(\alpha = \frac{L_д}{L_т}\right)$ отношению действительного количества воздуха к теоретическому. Если коэфициент избытка воздуха мал, то неизбежно возрастает потеря от неполноты горения, а если будет в топку подано слишком значительное избыточное количество воздуха, то возрастет потеря в уходящих газах. Избыточный воздух, не участвуя в процессе горения, нагревается за счет тепла, развиваемого топливом, и уносит его в трубу.

Потеря от химического недожога определяется в зависимости от содержания по объему в дымовых газах углекислоты CO_2% и окиси углерода—CO%; если в топливе содержится углерода C%, то потеря от химического недожога

$$Q_{\text{хим. н}} = 56{,}5 \cdot C\left(\frac{CO}{CO + CO_2}\right)\frac{\text{кал}}{\text{кг}}.$$

При помощи газового анализа определяется содержание CO_2, CO и, зная C в топливе, можем определить потерю от химического недожога.

Правильное обслуживание котельной топки—это главное обстоятельство, влияющее на величину рассматриваемой потери, которая, главным образом, зависит от избытка воздуха; при внимательном ведении топки содержание CO должно быть не больше 1—3%.

Обслуживание топки должно быть направлено на регулирование количества подаваемого воздуха, поступление которого оценивается по данным газового анализа. Определяя содержание в дымовых газах CO_2, можно определить коэфициент избытка воздуха α, а по величине α—количество воздуха, вступающее в топку. Коэфициент избытка воздуха $\alpha = \frac{CO_{2наиб.}}{CO_2}$; из этого выражения видно, что с возрастанием содержания в дымовых газах CO_2 уменьшается избыток воздуха, так как α становится меньше, а, следовательно, уменьшится потеря в уходящих газах. Но чрезмерное уменьшение избытка воздуха может привести к недожогу и при первоначальном увеличении содержания CO_2 до наибольшего значения начнет появляться в газах CO. Практическое предельное значение содержания углекислоты, характеризующее наивыгоднейшие условия горения, будет 17—19%. Этим значениям соответствует наивыгоднейшее практическое значение коэфициента избытка воздуха.

Значения коэфициента избытка воздуха для сжигания в топках следующих топлив

Нефти	1,2—1,3
Газового и пылевидного топлива	1,1—1,2
Дров и торфа в шахтных топках	1,2—1,3
Опилок древесной мелочи и торфа в ступенчатых и наклонных решетках	1,4—1,6
Антрацита в ручной топке	1,3—1,4
Пламенного топлива в ручной топке с подводом вторичного воздуха	1,5—1,7
То же, но без подвода вторичного воздуха	1,7—1,9
Угля в подвижной топке с верхней подачей	1,4—1,6

3. Потери от механического недожога

Потери от недожога топлива в очаговых остатках происходят от того, что одни мелкие частицы топлива проваливаются через прозоры колосниковой решетки и другие заплавляются шлаком и выгребаются вместе с ними. Провал топлива, т. е. потеря топлива по весу зависит от свойств топлива, устройства колосниковой решетки и способа ведения топки. Чем мельче топливо, тем больше потеря от провала; прочное кусковое топливо дает эту потерю меньше.

Колосниковая решетка с большими зазорами с размерами, не соответствующими роду топлива, дает большие потери от провала.

Потеря в шлаках зависит от точки плавления золы. При плавлении золы в ней застревают частицы несгоревшего топлива,

которые так и остаются в тех частях топки, где температура низкая. Если же зола имеет высокую температуру плавления, то топливо сгорает полностью. Потеря в очаговых остатках от провала оценивается по теплотворности того горючего остатка, который заключается в выгребе золы. Эта величина, выраженная в калориях, является характерной для данной топки и топлива. С увеличением напряженности поверхности нагрева котла возрастает тепловое значение потери от провала, вследствие увеличения количества проваливающихся частиц недогоревшего топлива. Для уменьшения потери от провала необходимо выбирать колосниковую решетку с живым сечением, соответствующим свойствам топлива и самый процесс горения надо вести наиболее интенсивно для скорейшего сгорания топлива. Потери от провала от ошлакования топлива незначительны до 2%. При сжигании древесины эта потеря особого значения не имеет, так как количество золы в древесине мало и температура плавления ее высокая (1500°), кроме того, шлаков в древесине тоже нет и, если попадают минеральные части, прилипающие к коре дров, то их количество настолько мало, что оно практического значения не имеет.

Потеря от механического недожога вычисляется в процентах по формуле:

$$Q_{мех.н.} = 100 \frac{8100\,A \cdot Z}{K_р\,(1-Z)}.$$

В этой формуле 8100—теплотворность беззольного углерода,

A—содержание золы в топливе кг,

$K_р$—теплотворность топлива, рабочее значение,

Z—пропорция недожженного углерода, для ручных топок 0,2—0,3, а для механических топок—меньше.

Количество тепла в очаговых остатках, выгребаемых из топки, вычисляется по формуле:

$$Q_{оч.\,ост.} = \frac{A}{1-L} \cdot \frac{0{,}2 \cdot 600^\circ}{K_р} \cdot 100,$$

600°—средняя температура выгребаемых шлаков.

Остальные значения показаны выше.

4. Потери от уноса

При мелком топливе потери от уноса достигают очень больших величин, так как частицы мелкого угля или мелкой древесины—опилок в потоке топочных газов уносятся в дымоходы, где выпадают при изменении скорости газового потока в так называемые карманы. В топках, работающих при дутье, унос возрастает до значительной величины, засоряя части топочного пространства, поверхность кипятильных трубок и водоподогревателя. Количественно потеря от уноса при мелких сортах топлива—штыб и опилки,—достигает при дутье и форсировке топки 25—30%, что заставляет понижать напряженность колосниковой решетки, а вместе с тем и паропроизводительность котла.

Для уменьшения уноса необходимо топочному пространству придавать такую высоту, чтобы мелкие частицы топлива, унесенные с колосниковой решетки, успели догореть, и, вместе с тем, объем должен быть достаточный для догорания газов.

Потеря тепла в саже зависит от свойств топлива, конструкции топки и, в особенности, от умения вести топку. Топлива с большим содержанием летучих дают большее количество сажи, нежели топлива, бедные летучими, т. е. длиннопламенные топлива в этом отношении хуже короткопламенных. При неправильно спроектированной топке с малым объемом или недостаточной высотой образование сажи происходит легко, так как летучие части топлива попадают на поверхность нагрева котла, имеющую сравнительно низкую температуру, где и охлаждаются, при чем водород в летучих выгорает, а углерод уносится из топки в состоянии сажи.

Высота топочного пространства, которую считают от поверхности колосниковой решетки до поверхности нагрева котла, изменяется в зависимости от рода топлива от 1,5 до 3,5 м.

Для углей тощих	1,6—2,2 м
„ „ жирных	2,9—3,1 „
„ „ бурых	2,6—3,3 „
„ пылевидного топлива	4,5—5 „
„ дров	1,5—2,5 „
„ опилок	2,5—3,5 „

Вследствие недостатка кислорода воздуха, при малом объеме тонкие частицы углерода при небольшой высоте не успевают сгореть в ней. Сажа также может образоваться при чрезмерном избытке воздуха, который понижает температуру топки, что также служит причиной выпадения несгоревшего углерода из летучих.

Содержание сажи определяется приблизительно по цвету дыма. Если дым имеет цвет светлосерый, то количество сажи в газах не более 1—2 г/м³, при темном дыме—2—3 г/м³ и при темном кучеобразном—3 г/м³. Величина этой потери колеблется в пределах от $^1/_4$ до 1% от $K_{раб}$. Следующие данные характеризуют сумму потерь от химического недожога и образования сажи в процентах от рабочего значения теплотворности:

Колосниковая решетка с загрузкой вручную при пламенном топливе	1—5
То же при антраците	0—2
Механическая топка с верхней загрузкой	1—3
Механическая топка с подвижной решеткой и нижней подачей	0—1
Ступенчатые и наклонные топки	0—3
Шахтные топки	0—1
Топки для газового топлива	0—3
Топки для пылевидного топлива	0—2
Нефтяные топки	0—2

5. Потери от охлаждения обмуровки

Потеря, вследствие лучеиспускания и теплопроводности или от охлаждения обмуровки котла, не зависит от обслуживания котла

и лишь незначительно зависит от нагрузки котла, но зависимость ее чрезвычайно сложная от целого ряда обстоятельств, усложняющих определение этой величины. Величина потери от лучеиспускания неодинакова в разных частях котла; она зависит от коэфициентов лучеиспускания поверхностями материалов кладки и коэфициентов теплопроводности их; далее зависит от температур стенок обмуровки и котельной; от конструкции обмуровки, расположения отдельных частей котельной установки—топки и дымоходов, положения пароперегревателя и водоподогревателя, от толщины стенок котла и обмуровки. Определение этой потери должно вестись при установившемся режиме, так как при растопке котла потеря лучеиспусканием и, связанная с ней, потеря приводимостью не обнаруживаются сразу, а начинаются после нескольких часов работы, когда стенки котла будут нагреты настолько, что распространение тепла перейдет к стенкам обмуровки и после нагрева их до некоторого равновесного состояния начнется распространение тепла лучеиспусканием наружу.

Определение потерь от лучеиспускания и теплопроводности, короче говоря, от охлаждения стенок обмуровки приблизительно определяется по формуле:

$$Q_{охл.\ ст.} = 0{,}1\eta_{кот.}\ K_{раб.}\ (1-S),$$

где $\eta_{кот.}$ — полезность котла,

S — часть тепла $K_{раб.}$, передаваемая в топке поверхности нагрева лучеиспусканием; S имеет значение:

S=0,3 —0,35 для внутренней топки,
S=0,15—0,2 „ внешней „
S=0—0,10 „ выносной „

6. Затраты тепла на обслуживание котла

Для непрерывного и правильного действия котла необходимы следующие механизмы:

1) Питательные насосы—поршневые (паровые); центробежные насосы—с приводом от турбины или от электродвигателя; пароструйные насосы—инжекторы. Расход пара на питательные насосы составляет от 0,5 до 1% паропроизводительности котла.

2) Вентиляторы—дымососы; расход пара на их привод не превышает 1—1,5% паропроизводительности котла. Определение мощности вентилятора производится по количеству дымовых газов, подлежащих отсосу из дымоходов. В установках средней и большой мощности применяются электровентиляторы и иногда турбонасосы.

3) Электровентиляторы для подачи воздуха в поддувало — затрата энергии не превосходит 1—2%.

4) Электропривод при механических колосниковых решетках больших котлов состоит из обыкновенного электродвигателя постоянного тока; при средних и малых котлах один электродвигатель обслуживает по два котла. Затрата энергии на привод механиче ской

колосниковой решетки незначительна. Так, цепные топки при котлах ТЭКО — 300 — 700 м² обслуживаются электродвигателем в 1,5—2 л. с., и вообще затрата энергии на работу топки — 0,1—0,15 квт/м² поверхности решетки. Скорость цепной решетки при этом может изменяться от 1,7 до 17 м/час при числе оборотов электродвигателя 950 в минуту. В переталкивающих топках применяется паровая машина с большим расходом пара от 80 до 150 кг/час, в зависимости от размеров топки.

При оценке работы котельной установки в целом необходимо определять полный расход пара, не вычитая расходов на вспомогательные механизмы. Это будет, так называемая, полная полезность установки (брутто). Для проверки состояния вспомогательных механизмов и расхода пара на них необходимо определить чистую полезность котла (нетто). Эта величина будет характерной для полезности самого котла, так как только при таком определении выявится фактическая экономическая полезность котла.

Расход энергии на вспомогательные котельные механизмы не превосходит 3—5% количества энергии, вырабатываемой котлом.

7. Характеристика полезности котла

Работа котла характеризуется степенью использования теплотворности топлива для получения пара. Эту характеристическую величину будем называть полезностью котла, которая равна отношению тепла, полезно использованного ко всему теплу, введенному в топку за определенный промежуток времени. Тепло, полезно использованное в котле за некоторый промежуток времени, определяется по количеству питательной воды за намеченный отрезок времени по теплоте, соответствующей давлению и теплосодержанию пара. Для вычисления израсходованного тепла нужно при помощи водомера определить количество питательной воды W за час, температуру пара при выходе его из котла $t_к$, а затем по давлению теплосодержания пара i:

$$Q = (i - q) \cdot W.$$

Общая полезность котла или котельной установки представляется следующим выражением:

$$\eta_{к.\,у.} = \frac{D \cdot (i - q)}{B \cdot K_{раб.}},$$

так как можно с достаточной точностью принять, что $W = D$ — количеству израсходованного пара.

B означает количество израсходованного топлива за час и q — теплоту жидкости.

Полезность котла определяется во время испытания с постоянной нагрузкой, при неизменности процесса горения и установившемся состоянии всей котельной установки: когда котел дает непрерывно пар в течение определенного промежутка времени, при отсутствии добавочных потерь, изменяющих его состояние, что бывает при неожиданных переменах в расходе пара. Приведенная выше полезность котла характеризует всю установку в целом.

Но иногда является необходимость исследовать полезность отдельных частей котельной установки и оценить отдельные потери для улучшения ухода за котлами в целях экономии топлива. Тогда нужно определить полезность каждого отдельного устройства: перегревателя, водоподогревателя и воздухоподогревателя, т. е. надо определить отношение тепла, использованного в рассматриваемой части установки, к полному количеству тепла, введенному в топку.

В этом случае определятся следующие характеристики; предварительно введем обозначения:

D кг — количество пара, данное котлом в час,
B „ — количество топлива, сожженного в топке,
W „ — количество воды, прошедшее через водоподогреватель
q_1 „ — теплота жидкости до водоподогревателя,
q_2 „ — „ „ после „
i_1 „ — теплосодержание пара до перегревателя,
i_2 „ — „ „ после „
$i_{вз.1}$ „ — „ воздуха до подогревателя,
$i_{вз.2}$ „ — „ „ после „

Полезность котла $\eta_к = \dfrac{D(i_1 - q_2)}{B[K_{раб.} + (i_{вз.2} - i_{вз.1})]}$

„ перегревателя $\eta_{пер.} = \dfrac{D(i_2 - i_1)}{B[K_{раб.} + (i_{вз.2} - i_{вз.1})]}$

„ подогревателя воды $\eta_{в\,п.} = \dfrac{W(q_2 - q_1)}{B[K_{раб.} + (i_{вз.2} - i_{вз.1})]}$

„ воздухоподогревателя $\eta_{п.вз.} = \dfrac{i_{вз.2} - i_{вз.1}}{K_{раб.}}$

Если теплота воздуха перед подогревателем будет принята равной 0, то все характеристики полезности будут отнесены к 0, что практически может быть принято, так как теплота воздуха перед воздухоподогревателем — величина сравнительно малая по сравнению с нагретым воздухом, температура которого может быть доведена до 180°—250°. Тогда в приведенных выражениях $i_{вз.1} = 0$ и все формулы упрощаются.

По отдельным характеристикам полезности котельной установки можно составить общую полезность котла. Полезность — определенная, в целом, для всей установки, в условиях повседневной эксплоатации, оказывается ниже, чем таковая, полученная в испытании при установившемся режиме с неизменяемой нагрузкой, при соблюдении всех условий отчетливой работы технического персонала, обслуживающего котельную установку, с устранением всех побочных второстепенных обстоятельств. Такое испытание называется парадным, а полезность, полученная при этом, имеет наиболь-

шее значение, которое может дать установка при благоприятных условиях. При сопоставлении значений эксплоатационной и парадной полезности выясняется влияние производственной обстановки на работу котельной установки с неравномерной нагрузкой и перерывами в расходе пара при нечеткой работе кочегаров.

8. Тепловой баланс котельной установки

Испытание котельной установки должно дать полную картину состояния всей установки в целом.

В деревообрабатывающей промышленности при укоренившейся практике нерационально сжигать топливо в топке испытания не производятся вовсе или чрезвычайно редко и то только в новых предприятиях. Взгляд на отходы производства, как на „зло", подлежащее уничтожению, привел к совершенно неэкономичному ведению топок. В деревообрабатывающих предприятиях котельные работают с полезностью не более 50—55%, а часто и ниже.

Баланс тепла для котельной установки лесопильного завода обычного устройства, не подвергшегося переустройству, может быть дан такой (в процентах):

Теплота в очаговых остатках	— 5
Горючее „ „ „	— 6
Химический недожог	— 3
Летучий кокс и сажа	— 2
Лучеиспускание и теплопроводность	— 9
Пар для вспомогательных механизмов	— 3
Теплота дымовых газов	—17
Полезно использованная теплота	—55
Итого	100

Конечно, такой баланс должен быть признан неудовлетворительным,—это объясняется изношенностью котельного оборудования большинства старых лесопильных заводов, плохим обслуживанием котлов за отсутствием обученных кочегаров и сложившимся взглядом на необходимость уничтожать опилки в топках, а не вести экономно процесс горения. Однако, с развитием новых предприятий в деревообрабатывающей промышленности, с установкой новых водотрубных котлов повышенного давления 25—35 кг (см² абс.) и внедрения стахановских приемов работы на силовых станциях баланс может быть более выгодный с полезностью котла до 70—80% при значительном понижении потерь, особенно в дымовых газах, в очаговых остатках, на лучеиспускание и теплопроводность.

Благоприятным можно было считать такой баланс, который для водотрубного котла средней величины поверхности нагрева составит потери (в процентах):

на механический недожог	— 2— 5
„ химический „	— 1— 3
в дымовых газах	—10—12
на лучеиспускание	— 3— 4
Итого	16—25

Тогда полезность котла брутто была бы равна 84—75%, а за вычетом на нужды котельной 4—5%,—80—70%.

Такой процент может быть получен только после полного переустройства теплосилового хозяйства деревообрабатывающей промышленности, т. е. переоборудования котельных новыми котлами.

В новостроящихся крупных комбинатах деревообрабатывающих предприятий в установках новых котлов возможны и более высокие показатели полезности котельных установок—75—85%.

X. ПОДАЧА ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНУЮ

В деревообрабатывающих предприятиях топливо состоит из отходов производства,—по преимуществу из опилок в лесопильном производстве и различных крупнокусковых обрезков.

Подача топлива в котельную в деревообрабатывающих производствах тесно связана с удалением отходов на местах их получения, а потому необходимо рассмотреть всю систему удаления отбросов производства. Мелкие отходы, как опилки и стружки, удаляются с места производства пневматическим способом. Этот способ состоит в том, что мелкие частицы древесины, отделяющиеся при распиловке и обработке, уносятся струей воздуха, которая имеет определенную скорость. Более крупные части стружки выпадают из струи воздуха при помощи особых стружкоотделителей, в которых отделение более тяжелых стружек осуществляется под влиянием центробежной силы. Пневматическое устройство состоит из следующих главных частей: 1) главного всасывающего трубопровода, в который поступают мелкие отходы через второстепенные трубопроводы от станков и установок лесопильных рам; 2) удалителя крупных кусков древесины, попадающих вместе с опилками во всасывающий трубопровод, который устанавливается перед эксгаустером; 3) эксгаустера, который создает засасывание в основном пневматическом трубопроводе; 4) нагнетательного трубопровода и 5) стружкоотделителя. В отделителях стружек подводящая труба подходит по касательной к верхней цилиндрической части; здесь, вследствие изменения направления движения струи воздуха с отсосанной древесиной, выпадают более тяжелые стружки.

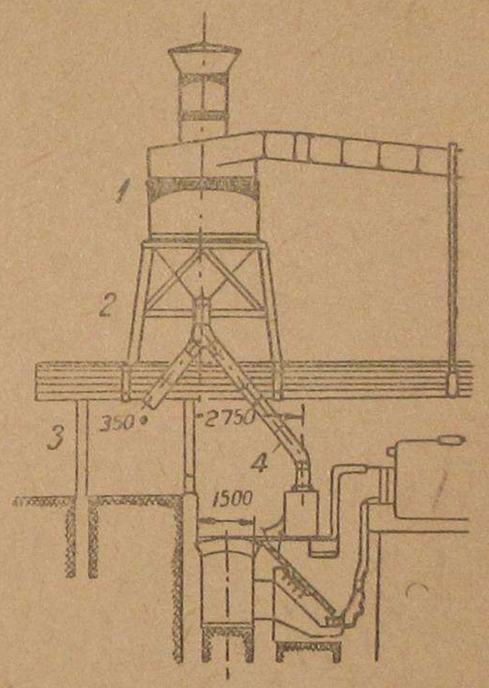


Рис. 28. Расположение стружко- и опилкоотделителя. *1*—отделитель опилок и стружек, *2*—поворотная заслонка,—*3* склад для запасного топлива при котельной, *4*—задвижка на топливном спускном рукаве в топку.

Эксгаустер должен быть сконструирован прочно, учитывая удары мелких кусков древесины, которые неизбежно попадают, несмотря на установку отделителей. Число крыльев лопастного колеса должно быть меньше, чем в вентиляторах, при чем крылья должны быть с округленными кромками. Так как лопастное колесо эксгаустера делает в работе большое число оборотов, от 600 до 1500, то оно должно быть тщательно уравновешено во избежание биения, и швы соединения крыльев колеса с втулкой и их отдельных частей, сделанные на заклепках, должны быть сварены для устранения возможности застревания мелких стружек и обминания ими лопастного

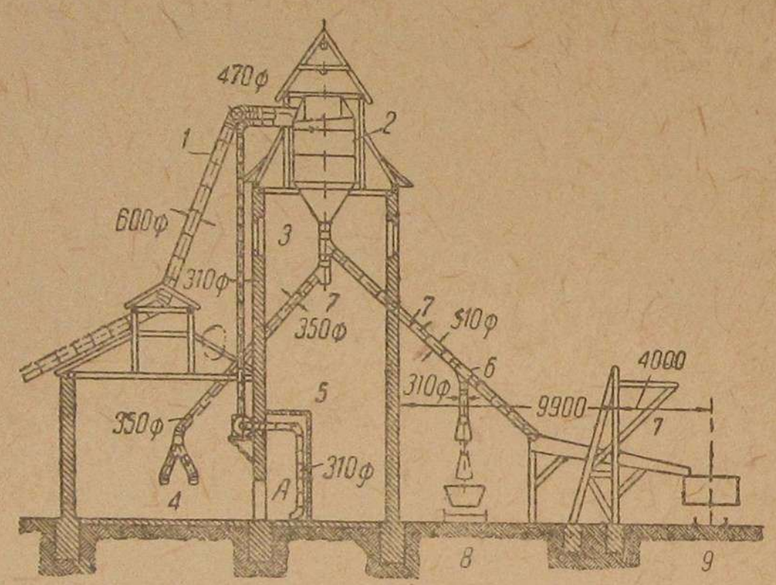


Рис. 29. Распределительное устройство для подачи опилок в кочегарку и на вывоз. *1*—нагнетательный трубопровод, *2*—отделитель, *3*—распределительная заслонка, *4*—котельное помещение, *5*—опилочный силос, *6*—переключающаяся заслонка, *7*—деревянный жолоб, *8*—телега, *9*—вагон.

колеса. Эксгаустер должен приводиться в действие электродвигателем. На рис. 28 представлено расположение отделителя стружек и опилок, который размещен над зданием лесопильного завода так, что опилки и стружки могут быть направлены при помощи поворотной переключательной заслонки в топку котла или в сарай для сбора, откуда, в случае недостатка топлива, стружки и опилки могут быть передвинуты в котельную.

На рис. 29 показана такая установка отделителя, при которой мелкие отходы могут быть поданы из отделителя в котельную или при помощи переключателя в отвозные устройства.

Для отгрузки опилок из котельной при большом их скоплении или для подачи их в отвоз из силоса непосредственно установлен малый вентилятор, у помещения *A*, куда подаются опилки, которые направляются в отделитель *2*. При помощи малого вентилятора опилки могут быть поданы при остановке завода в котельную непосредственно в топки через отделитель, не заваливая котельную кучами опилок. Установка, показанная на рис. 29, обладает существенным недостатком: отделитель не имеет выводной трубы

для вывода воздуха непосредственно наружу, а потому выделяющийся воздух уносит с собой древесную пыль, которая оседает на стропилах, что нарушает пожарную безопасность. На рис. 30 показан отделитель с открытым штуцером для выпуска воздуха выше перекрытия над отделителем, который должен быть снабжен предохранительным щитком от дождя и снега. Для удаления опилок от лесопильных рам и обрезных станков устраивают скребковые транспортеры; такое устройство применяется в наших лесопильных заводах, так как в зимнее время при распиловке получаются сырые и мерзлые отходы, которые не поддаются пневматическому удалению, вследствие своей тяжести. На рис. 31 показана схема расположения скребкового транспортера для отвозки опилок. Опилки падают по спуску на транспортер, который их перемещает в котельную. В комбинатах с мощными теплосиловыми станциями, достигающими 10—12 тыс. квт, при наличии большого количества отходов, транс-

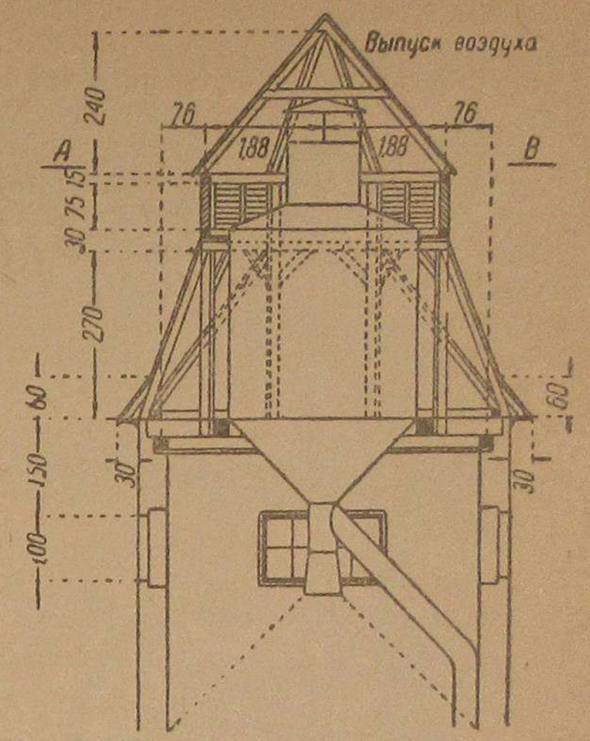


Рис. 30. Отделитель с открытой горловиной.

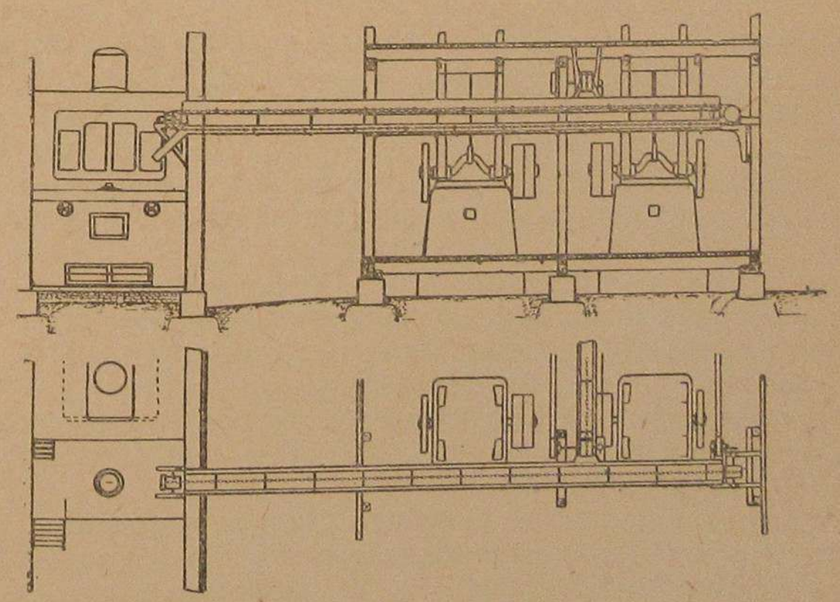


Рис. 31. Скребковый транспортер для подачи опилок в котельную.

портные устройства топлива приобретают сложность, присущую большим установкам. При значительном удалении котельной от

цехов пневматический транспорт становится дорогим, так как для передачи опилок потребовал мощных вентиляторных установок с повышенным давлением. В таких больших предприятиях при наличии ряда цехов, дающих отходы, следует устраивать промежуточные перегрузочные склады отходов. В эти склады опилки могут быть поданы пневматическим способом при близости цехов-питателей. Из промежуточных сборных помещений топливо должно быть подано более производительными средствами механического транспорта, не требующими относительно высоких затрат, какие потребовало бы пневматическое удаление отходов из цеха в котельную непосредственно, при большом расходе топлива, да еще имеющего большой удельный объем, как опилки. Для паротурбинной установки в 5—6 тыс. л. с. или для газогенераторной установки пона-

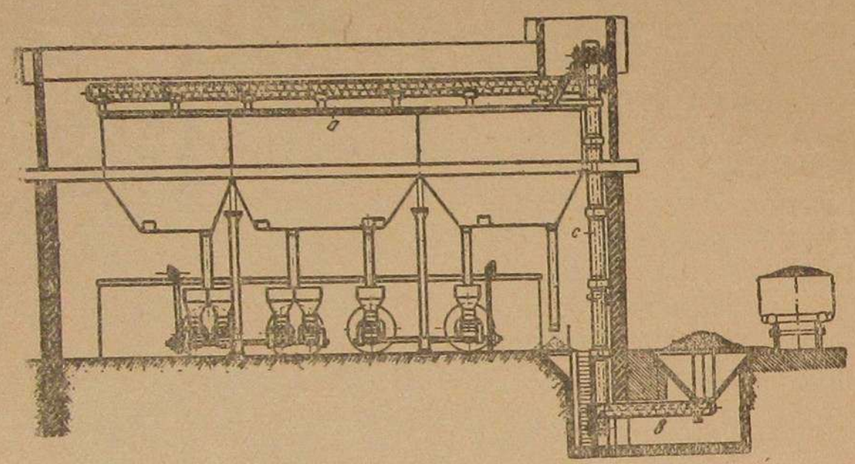


Рис. 32. Установка для подачи топлива в котельную.

добится значительное количество опилок, стружек или дробленки, которое составит от 8—10 т/час. Такое количество топлива может быть передано в котельную только путем широкого применения всех средств внутризаводского транспорта для перемещения топлива до котельного отделения и в его пределах. Здесь могут быть применены—ручные подвесные дороги, электроподвесные дороги и другие разнообразные виды транспорта непрерывного действия. Для перемещения в вертикальных и наклонных направлениях применяются нории, ковшевые подъемники; для перемещения по горизонтали—скребковые транспортеры, трясучие желоба, винтовые переместители, ленточные транспортеры. При небольших или средних расходах топлива в час можно, сочетая черпаковый подъемник с одним из видов горизонтальных переместителей, разрешить вопрос подачи опилок в небольших силовых установках. Двухцепные транспортеры с качающимися ковшами пригодны для перемещения в горизонтальном и вертикальном направлениях и допускают любое отклонение в вертикальной плоскости. Конвейеры с качающимися ковшами изготовляются для производительности от 5 до 250 м³/час; загрузка и разгрузка этих устройств производится автоматически. Ковшевые конвейеры обладают удобством для использования обратной ветви бесконечной цепи для отвоза золы и шлаков из ко-

тельной. На рис. 32 и 33 показаны вид и план установки для подачи к котлам топлива, прибывающего из промежуточных складов отходов, собирающихся там из цехов питателей. Отходы, дробленка и другие виды древесных отбросов подаются в вагонетках к котельному отделению, где они выгружаются в подземный бункер. Из бункера топливо при помощи винтового приспособления *b* подводится к элеватору *c*, который поднимает его на распределительный винтовой транспортер *d*, проходящий под бункерами, обслуживающими паровые котлы. Отсюда топливо при открытии задвижки в жолобе винтового распределителя подается в соответствующие отделения бункеров и затем по рукавам—в питатели топок котлов.

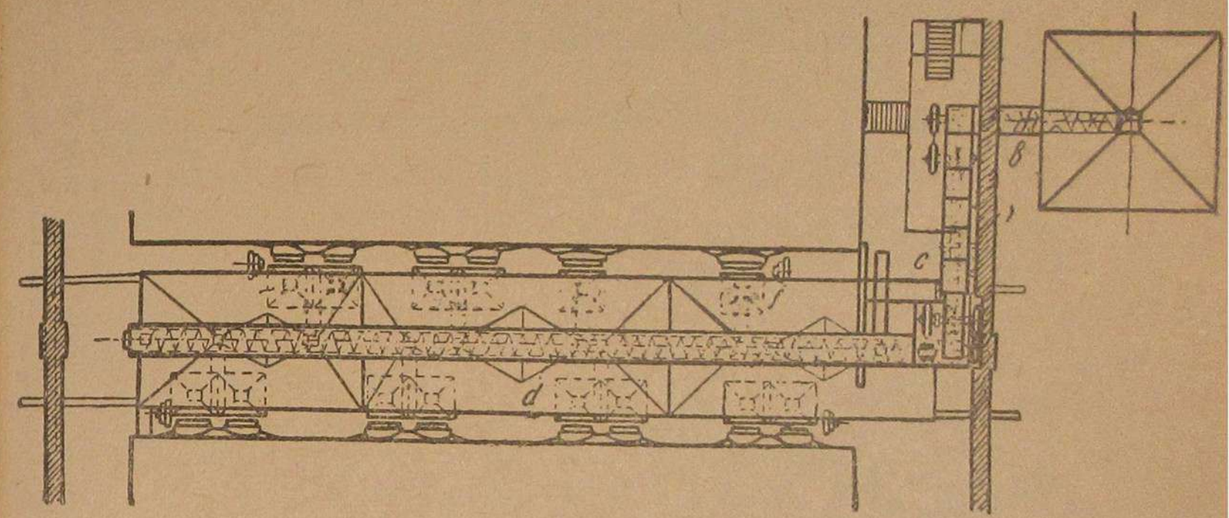


Рис. 33. План к рис. 32.

Рис. 34 и 35 дают схему установки для подачи больших количеств топлива, которая может быть применена для подачи древесных отходов при надлежащем расчете отдельных частей. Транспортное устройство, показанное на этих рисунках, служит не только для подачи топлива, но и для золоудаления, при чем оно оборудовано пространственным ковшевым конвейером. Топливо доставляется по подъездному пути *A* и разгружается в бункер *B*; из бункера через каналы *a*, открытие которых регулируется заслонками, топливо поступает в конвейер *c*, который подает его в бункеры *p*, расположенные под котельным отделением. Из распределительных бункеров топливо по рукавам подается самотеком в питатели топок паровых котлов. Ковшевой конвейер перемещается по кривым, расположенным в плоскостях, и по пространственным кривым, имеющим точки перегиба. Приводное приспособление расположено в верхнем перегибе справа.

Вообще, передача опилок и дробленки может производиться разнообразными способами при помощи нагнетательных пневматических трубопроводов, а также конвейерами в случае более крупных отходов. Для малых установок наиболее удобно устройство скребковых транспортеров. Эти транспортеры устраиваются длиной до 90 м и подъем их достигает 40—45°. Для далеких перемещений

применяют ленточные конвейеры. Для подъема отходов в бункеры применяют ковшевые элеваторы, которые вполне исправно подают опилки в плотно закрытых кожухах. Из распределительных бункеров опилки и дробленка сыплются по рукавам непрерывным потоком на колосниковые решетки. При использовании сухих опилок применяют винтовые подаватели, так как при таком устройстве устраняется опасность пожара при обратном пламени. При влажных

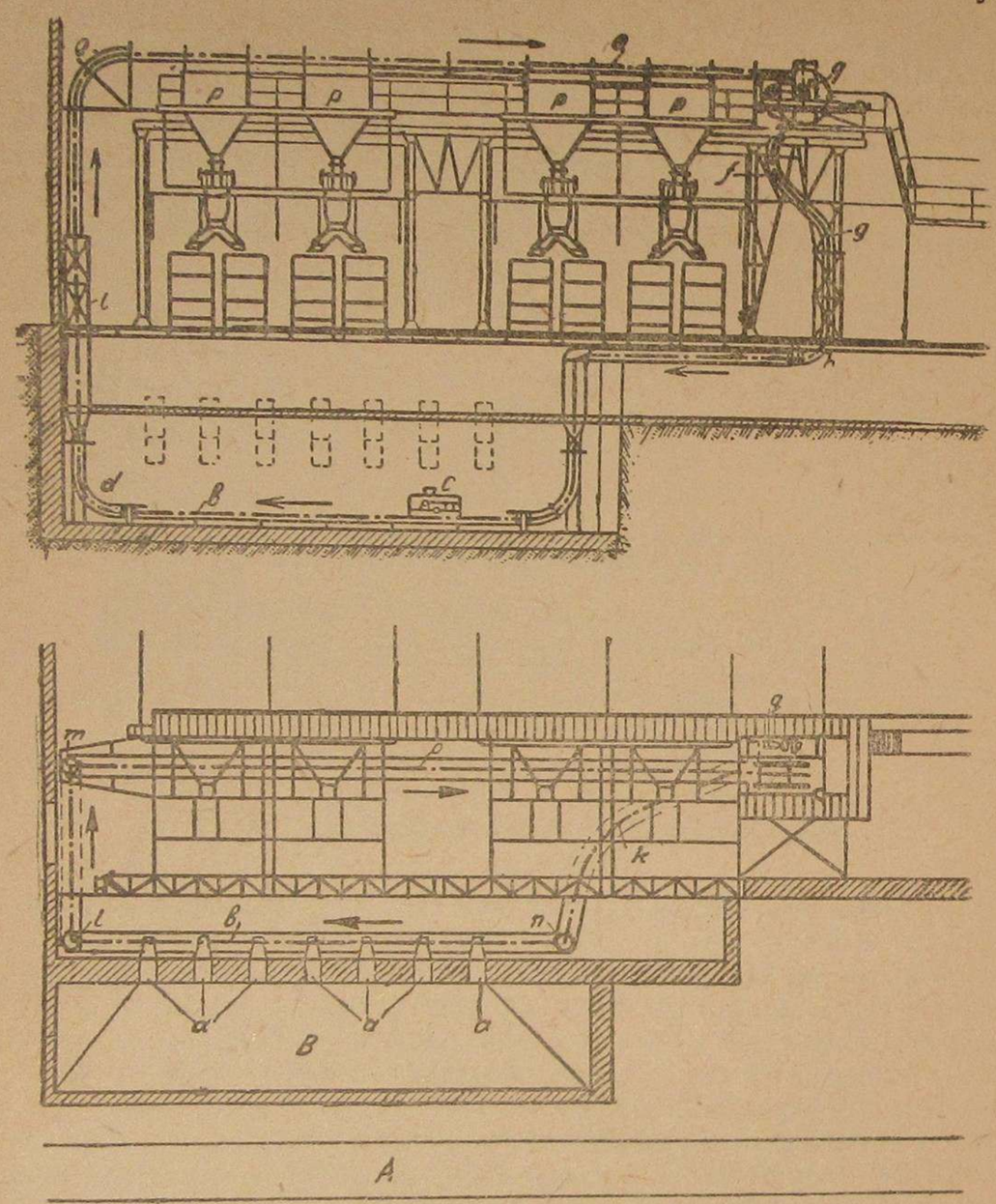


Рис. 34. Установка для подачи топлива в котельную и отвода золы пространственным конвейером. *A*—ж.-д. путь для подвоза угля, *B*—угольный бункер, *a*—каналы для подачи к конвейеру, *b*—погрузочная часть конвейера, *c*—питающее приспособление, *d*—кривые в вертикальной плоскости, *k*—горизонтальные кривые, *l*—*n*—пространственные кривые (спирали), *o*—часть конвейера, где уголь сбрасывается, *p*—высокие бункера для угля, *q*—привод и натяжное устройство.

опилках, а в лесопильном производстве опилки имеют влажность от 50 до 60%, опасность пожара значительно уменьшается.

Для устранения возможности образования пустот в бункерах при сырых опилках или сырой мелкой дробленке или застревания крупных кусков бункеры строятся с покатыми стенками, так что бункеру и его спускной части, откуда идет рукав, придают пирамидальную форму, а рукава направляют под большим углом для обеспечения продавливания образующихся пробок тяжестью вышележащего топлива.

XI. ПОДГОТОВКА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

1. Свойства питательной воды

В каждой котельной установке должны быть водоочистительные устройства для очистки питательной воды. В современных установках высокого давления и большой паропроизводительности, где применяются дорогостоящие водотрубные котлы, должны быть приняты все меры, предупреждающие образование накипи в котлах. Состав питательной воды зависит от условий ее образования и отличается разнообразием примесей. Воды, вытекающие из горных массивов, состоящих из малорастворимых горных пород, как, например, граниты, отличаются мягкостью и малым содержанием минеральных примесей; такими же свойствами отличаются родниковые воды, вытекающие из песчаных пластов. Воды, вытекающие из гипсовых пластов, содержат гипс ($CaSO_4H_2O$), растворяющийся в воде—1 часть на 400 частей воды, который в котлах образует котельную накипь. В районах залежей мела вода содержит соли кальция и магния [$Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$].

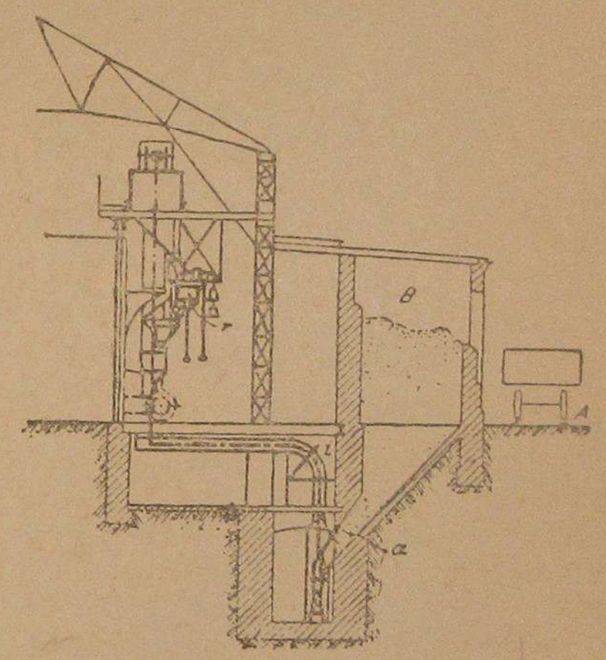


Рис. 35. Разрез к рис. 34.

В воде содержатся растворимые в небольших количествах соли кальция и магния ($CaCO_3$ и $MgCO_3$), а также легко растворимые соли—хлористый натр ($NaCl$), хлористый кальций ($CaCl_2$), хлористый магний ($MgCl_2$), сернокислый магний ($MgSO_4$), сернокислый натр ($NaSO_4$), щелочные соли (Na_2CO_3), сернокислое железо ($FeSO_4$).

Кроме того, в воде содержатся труднорастворимые: кремнезем (SiO_2), глинозем (Al_2O_3), двууглекислое железо [$Fe(HCO_3)_2$] и двууглекислый марганец [$Mn(HCO_3)_2$].

Почвенные и поверхностные воды очень часто содержат органические гумусовые вещества и гуминовые соединения, образующиеся из остатков растений и животных, находящихся в реках и закрытых водоемах, а также в верхнем слое земной коры, подвергающихся там разложению. Кроме всех легкорастворимых и труднорастворимых солей, остатков органических веществ, в воде содержатся неорганические взвешенные вещества: глина, песок. В воде присутствуют растворимые газы, которые растворяются на 1000 см³ при 760 мм и 10° до насыщения: воздуха—22,64 см³, кислорода—7,96 см³, азота—14,68 см³ и углекислоты—1194 см³. В речных водах количество примесей—от 0,05 г до 1,6 г/1 л.

Питательная вода, содержащая перечисленные примеси, может причинить следующий вред котлу:

1) Механические примеси, находящиеся в взвешенном состоянии: органические, минеральные или растворенные соли в повышенной концентрации нарушают процесс парообразования вспениванием и выбрасыванием воды в котле, брызги которой попадают в паросборники и пароотводные приспособления, вентили и трубопроводы, загрязняя их тем самым; взвешенные частицы уносятся паром и оседают на лопатках паровых турбин.

2) Вода, содержащая газы и растворенные соли, может разъедать стенки предподогревателя, водоподогревателя, котла и пароперегревателя, отлагая в них плотные и твердые или мягкие слои накипи, легко отделяющиеся от поверхности металла.

3) Вода с большим содержанием солей, образующих накипь, выделяет в большом количестве трудноудалимые твердые слои на стенках котлов, требующих особых средств для их удаления.

Количество содержащихся в воде солей кальция и магния определяет жесткость воды. Мерой жесткости служат:

1) 1 немецкий градус жесткости определяется содержанием одной части окиси кальция (CaO) на 100 000 частей воды или 10 мг CaO на 1 л; 1 немецкий градус жесткости может быть определен по содержанию окиси магния (MgO) в количестве 0,714 частей окиси магния на 100 000 частей воды или 7,14 мг на 1 л.

2) 1 французский градус жесткости—1 часть $CaCO_3$ на 100 000 частей воды.

3) 1 английский градус жесткости—1 часть $CaCO_3$ на 70 000 частей воды.

1 немецкий градус жесткости = 1,79 французского градуса жесткости = 1,25 английского градуса жесткости.

Вода, не подвергавшаяся смягчению, жесткая вода, имеет общую жесткость, которая делится на временную и постоянную.

Временную жесткость воды образуют двууглекислые соли кальция [$Ca(HCO_3)_2$] и магния [$Mg(HCO_3)_2$]. Эти соединения легко выделяются кипячением воды в виде ила или твердых отложений. Постоянную жесткость образуют в воде кальциевые и магниевые соли серной кислоты—сульфаты ($CaSO_4$, $MgSO_4$), хлористые соединения кальция и магния—хлориды ($CaCl_2$, $MgCl_2$) и соли азотной кислоты—нитраты ($Ca(NO_3)_2$, [$Mg(NO_3)_2$] и силикаты щелочноземельных металлов. Эти соли вызывают ржавление и разъедание металла в котельных установках.

Для установления пригодности воды к питанию котлов необходимо производить оценку не только по ее жесткости, но и по роду иных свойств. Все загрязняющие примеси могут быть подразделены на следующие группы: 1) крупные механические загрязнители; 2) мелкие и мельчайшие механические загрязнители и 3) растворенные загрязнители.

Загрязнители первой группы могут быть: плавающие на поверхности воды, находящиеся во взвешенном состоянии и осаждающиеся. Ко второй группе принадлежат гуминовые соединения, гумусовые вещества, масла, жиры и иные органические вещества. Третью группу образуют растворенные соли и газы, находящиеся в молекулярном или ионном состоянии. Вообще, питательная вода должна отвечать следующим требованиям: 1) не содержать механических крупных загрязнений; 2) не иметь мелких и мельчайших взвешенных примесей и 3) растворенные загрязнители, образующие накипь, могут быть в наименьшем допустимом количестве в соответствии с назначением питательной воды.

Главные составные части котельной накипи—котельного камня: гипс, карбонат магния и кальция, гидроокись кальция и магния. Кремнистая накипь, наиболее разрушительна для котельного металла. Карбонатные накипи вредны, вследствие большого понижения теплопередачи, а отсюда уменьшения коэфициента полезного действия котла. Эти накипеобразователи менее разъедают металл и легче отделяются от стенок котла, вследствие пористости.

Сульфаты—тверды, компактны, сильно прикипают к металлу и, вследствие этого, вызывают перегрев металла. Реже карбонатов и сульфатов встречаются силикаты магнезии и извести—($MgSiO_3$ и $CaSiO_3$), которые особенно вредны, вызывая высокий местный перегрев стенок котла. В котле с давлением 15 кг/см² абс. котельная накипь толщиной в 1,5 мм создает потерю тепла в 6%, 5 мм—15%, 8 мм—34%.

Вскипание и вспенивание воды образуется, вследствие присутствия в ней коллоидальных веществ, мыла и органических загрязнителей, находящихся в взвешенном состоянии. Вскипание воды происходит вследствие понижения давления при значительном расходе пара; под пеной происходит перегрев пара и усиленное парообразование толчками. Пенообразную пленку создают маслянистые и жировые примеси к воде и кристаллы солей, выделяющиеся при кипении; магнезиальные соли образуют хлопья, которые способствуют вскипанию. Особенно опасно вскипание и бросание жидкости в водотрубных котлах. Присутствие в питательной воде примеси масла хотя бы в количестве 0,1% ухудшает передачу тепла через стенку котла и полезность котла может понизиться на 11% против обычной.

Присутствие в воде газов: кислорода, углекислоты и кислот вызывает разъедание стенок как предподогревателей, так и водоподогревателей и котлов.

Углекислота выделяется при подогревании воды и уносится в самый котел и даже в машину или турбину вместе с паром. В присутствии углекислоты кислород становится особенно активным

и разъедает металлические поверхности в котельной установке. Кислород и углекислота скопляются в углах и коленах, вызывая разъедание и ржавление металла, так что в тех частях котельной установки, где могут скапливаться эти газы, необходимо устройство автоматических выпускных клапанов.

Содержащиеся в паре газы—кислород, углекислота,—летучие кислоты и соли вызывают в трубках пароперегревателя разъедание стенок, особенно при входе в них, после подсушки пара разъедание прекращается. Разъедание происходит и от соляной кислоты, образующейся в котле от разложившегося хлористого магния. Частицы извести и магнезии уносятся в паропроводы и в турбины. В турбинах под влиянием высоких температур в ступенях высокого давления лопатки покрываются окисью железа, которая крепко покрывает металл лопаток и защищает его от действия разъедающих примесей, находящихся в паре. Разъедание лопаток происходит от действия газов, выделяющихся из питательной воды и кислот, образовавшихся в котле. В части низкого давления в турбине, где пар влажный, начинается разъедание; чаще всего подвергаются разрушению две-три ступени, затем разъедание уменьшается и в конце турбины лопатки находятся в таком состоянии, как и в части высокого давления, покрытые пленкой окиси железа. Прекращение образования накипи на стенках котлов может быть достигнуто только при помощи удаления из воды накипеобразующих веществ. Кремнезем может быть удален из воды только перегонкой, так как растворимость кремнекислого кальция ($CaSiO_3$) составляет на 1 л воды—240 мг, а кремнекислого магния ($MgSiO_3$)—больше. Присутствие других солей в воде и органических веществ увеличивает растворимость силикатов. Концентрация силикатов, попадающих с питательной водой в котел, быстро возрастает, и они выпадают из пересыщенной воды в виде накипи или студенистой массы.

Для сохранения котлов в исправности следует принимать следующие меры от образования силикатной накипи: 1) питать котлы мягкой водой; 2) поддерживать такую жесткость котельной воды, которая не должна превышать 0,5—1° для устранения возможности соединения кремнекислого натра с накипеобразователями в нерастворимые соединения, образующие опасные соединения на стенках котла; 3) производить достаточно частые продувки котла, не допускающие возрастания концентрации силикатов, при которой возможно образование накипи; 4) сохранять в воде избыток щелочи, не допускающего осаждения силикатов; 5) сохранение плотности воды в котле в пределах от 1 до 2° Bé; но для котлов высокого давления эти нормы должны быть уменьшены. Наименее чувствительны к жесткости воды жаротрубные котлы, которые легко поддаются чистке. Эти котлы можно питать водой с жесткостью до 10°—12° немецкой жесткости. Больше всех частей в этих котлах подвергаются отложению накипи жаровые трубы, а потому за их чистотой необходимо особое наблюдение.

Котлы газотрубные: локомобильные, паровозные и пароходные требуют воды не более 5—6° немецкой жесткости; необходимо питание водой с такой жесткостью котлов с выдвижными системами трубок, так как при образовании накипи в местах закрепления

трубок на трубочных досках может произойти расстройство швов в соединении трубок с доской.

Горизонтальные водотрубные котлы нужно питать водой не выше 4—5° немецкой жесткости при давлении до 15 кг/см² абс. при умеренной напряженности поверхности нагрева.

Водотрубные котлы с прямым и крутонаклонными трубками при поверхности нагрева до 300—400 м² при давлениях до 15 кг/см² абс. должно питать водой при 2—4° немецкой жесткости, а при изогнутых трубках—2° немецкой жесткости. При высокой напряженности поверхности нагрева этих котлов жесткость воды должна быть понижена до 1½° немецкой жесткости. Котлы высоких и сверхвысоких давлений и большой паропроизводительности следует питать чистой перегонной водой, т. е. сгущенным паром из холодильников паровых турбин при добавке также чистой дестиллированной воды.

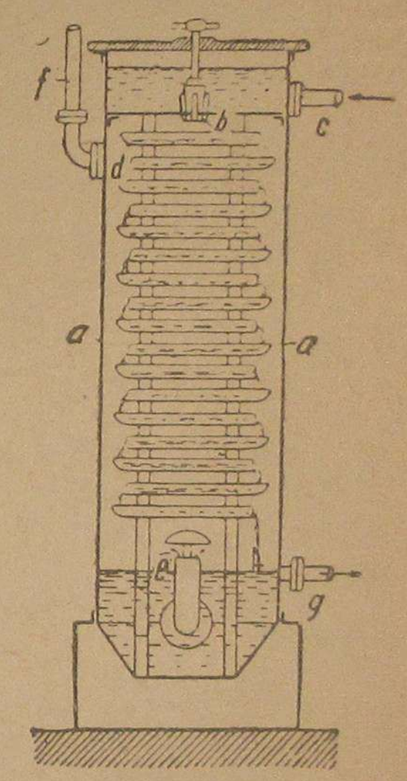


Рис. 36. Подогреватель Нольден-Вагнера.

2. Смягчение воды подогревом

Подогревая воду, заставляя ее кипеть в течение определенного времени, возможно при высоком подогреве разложить двуглекислые соли щелочных металлов; при этом образуются соли тех же металлов углекислоты, реакция идет по уравнению:

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Карбонат кальция выпадает в осадок при нагревании, а углекислота при этом выделяется и улетучивается из воды. Углекислый магний выделяется медленнее. Гипс при повышении температуры растворяется в воде в большей мере, при точке кипения 100° количество гипса почти такое же, что и при точке замерзания; оно соответствует 70° немецкого градуса жесткости (1700 г (м³) и при 150°—(5 кг/см² абс.); растворимость гипса понижается до 490 г/м³, что соответствует 20,1° немецкого градуса жесткости.

На рис. 36 показан подогреватель Нольден-Вагнера. Отработавший пар поступает в подогреватель по трубе *l* снизу прибора, несгущенный пар уходит из прибора по трубе *f*. Вода, которая подлежит обработке, поступает по трубе *c* в верхнее отделение прибора. При открытии крана *b* вода протекает по тарелкам *d* против движения пара. В этом приборе вода, подогретая до 80—90° и, вместе с тем, смягченная, вытекает из прибора по трубе *g*. Предварительное смягчение воды необходимо перед подачей воды в водоподогреватели при котлах, так как выделение в них каких-либо минеральных примесей из воды сопряжено с ущербом для прямого назначения этих устройств. Осадки на стенках водоподогревателя

уменьшают передачу тепла от газов к воде и требуют излишних затрат на чистку.

3. Химическая очистка воды

Растворимые примеси в питательной воде, образующие накипь на стенках котла,—двууглекислый кальций и магний, гипс, силикаты щелочно-земельных металлов и другие могут быть удалены из воды химическими способами очистки. Для этой цели служат: едкая известь (CaO), едкий натр (NaOH) и углекислый (натр Na_2CO_3)—кальцинированная сода.

Из многочисленных способов химической очистки воды наиболее широкое применение имеет содово-известковый способ (рис. 37). Главный поток воды в прибор направляется через ступенчатый охладитель в реакционный бак. В нижнюю часть ступенчатого охладителя подводится вода из паровых котлов и мятый пар, в случае необходимости. Втекающая в охладитель вода теряет давление, а образующийся пар сжимается притекающей по тарелкам водой и вместе с тем из воды выделяются газы. Температура воды доводится до 70—65° Ц. При этом происходит удаление временной жесткости, создаваемой бикарбонатами, а выделяющаяся из воды углекислота уходит по газоотводной трубе охладителя. Постоянная жесткость уничтожается добавлением к воде извести и соды. Раствор извести—известковое молоко—приготовляется в особом приборе—с а т у р а т о р е. Он имеет форму острого конуса, в нем получается равномерно насыщенный известковый раствор. Известь разводится в особом открытом баке и затем под напором воды подается из закрытого бака в виде известкового молока. Напорная вода из этого бака захватывает вместе с известковым молоком известь. Вследствие конической формы сатуратора известь в нем поднимается только до определенной высоты, так как при увеличении сечения скорость воды, несущей известковый раствор, уменьшается и частички извести постепенно выпадают, и насыщение воды известью заканчивается. В верхних частях сатуратора идет осветление воды. В реакционный резервуар подается раствор соды, который смягчает воду, а вода затем из этого резервуара проходит через фильтр с гравием.

Хорошая очистка воды для котлов высокого давления дает 0,5° немецкого градуса жесткости и полное удаление углекислоты и кислорода, устранение вредной концентрации солей и обезвреживание кремнекислоты.

4. Пермутитовый способ смягчения воды

Пермутитом или цеолитом называют такое искусственное соединение каолина, кварца и соды, которое получается сплавлением этих веществ в ванных печах. При правильном течении процесса плавления получают стекло слабозеленоватого цвета, затем стекло мельчат до размеров крупинок от 0,5 до 1 мм и обрабатывают водой, которую поглощает пермутитовая масса. Приблизительный состав пермутитового песка, не считая кремнезема, следующий: 22% Al_2O_3, 13,6% Na_2O и 18,4% H_2O—натрий—алюминий—силикат. Неочищенная вода

фильтруется на холоду через определенный слой цеолитового пермутитового песка со скоростью от 2 до 8—10 м/час, чаще со скоростью 3—4 м/час, так как при подогреве воды цеолитовый песок разрушается.

Очистка воды пермутитом происходит, вследствие ряда обменных реакций, в которых пермутит легко вступает с содержащимися

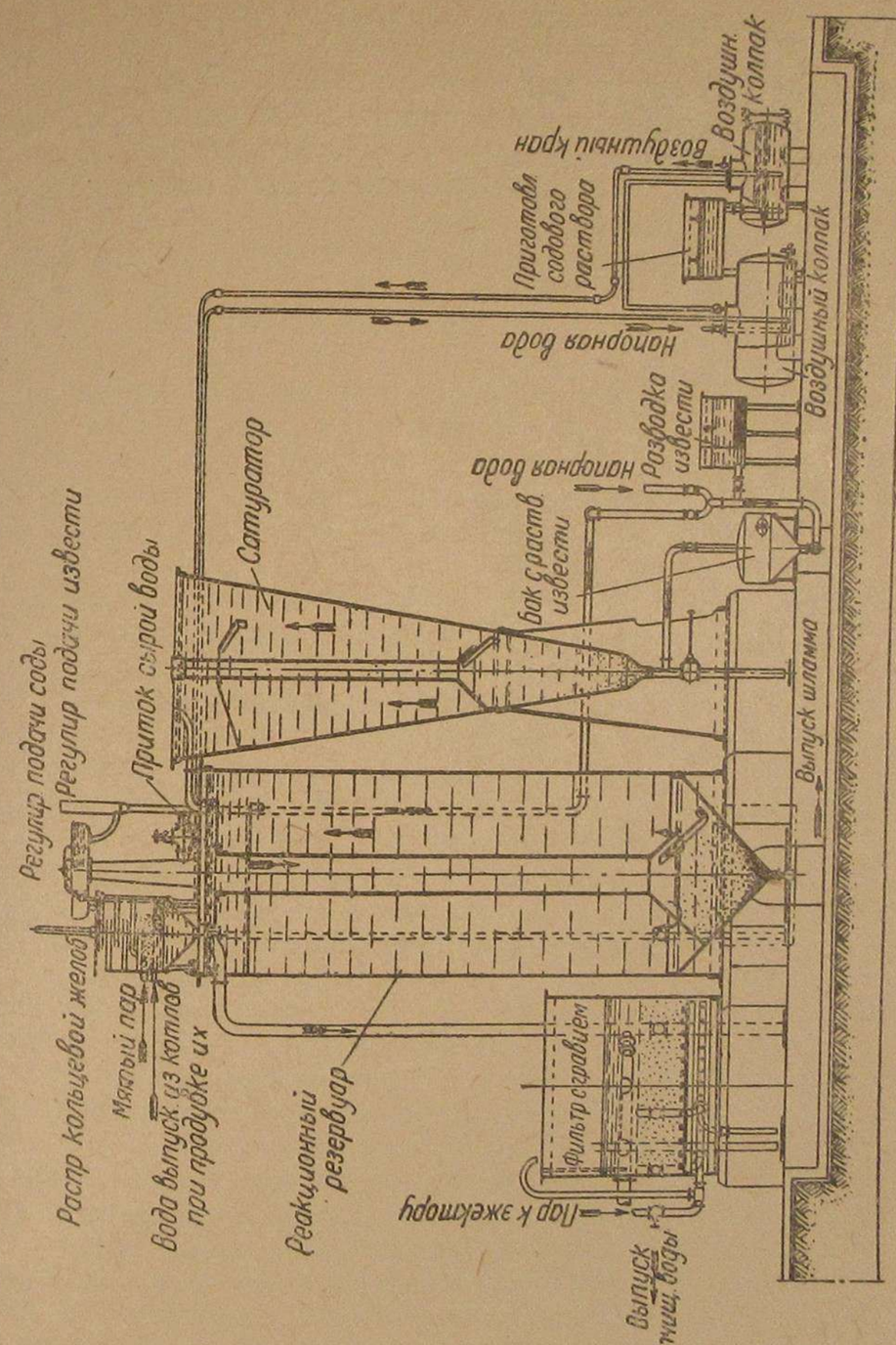


Рис. 37. Установка для очистки питательной воды известковым способом.

в воде солями. Смягчаемая вода приобретает больший плотный остаток, чем неочищенная вода, и свободная углекислота переходит в очищенную воду в виде бикарбоната натрия.

Реакции, происходящие в пермутитах при очистке воды, обратимы; на этом свойстве основан способ их восстановления пова-

ренной солью. Восстановление пермутитового песка производится до окончательного замещения натрия пермутита кальцием и магнием.

Фильтр работает от 10 до 16 часов между двумя периодами восстановления. При непрерывной работе котлов нужно иметь две установки, так как получающаяся при восстановлении пермутита смесь растворов из хлоридов кальция, натрия и магния отводится в канализацию.

Зерна пермутита не должны быть меньше 0,5 мм, иначе создается большое сопротивление фильтрации воды через слой песка. Чем вода богаче магниевыми соединениями, тем медленнее ее следует пропускать через пермутитовый фильтр. Кальциевые соединения поглощаются пермутитом быстрее.

Положительное отличие пермутитового способа смягчения воды заключается в простоте устройства и обработка смягчаемой воды без присадки к воде реактивов, так как смягчение воды идет в фильтрующем слое.

Затруднения при пользовании пермутитовым способом заключаются в том, что при смягчении мутной воды фильтрование ее через слой пермутитового песка протекает медленно, так как взвешенными частицами обволакиваются песчинки и слой теряет свою фильтрующую способность. Для мутных вод надо иметь предфильтр из щебня и гравия.

Смягченная пермутитом вода должна быть без примесей железа и марганца, которые с щелочными частями зерен пермутита образуют илистые отложения, засоряющие фильтр-слой.

Пермутит разрушается углекислотой, для поглощения которой нужен особый предфильтр из мрамора. Однако, во избежание заноса в котлы с пермутитовой водой свободной и полусвязанной углекислоты, растворяющейся в этой воде кислотой, необходимо подогревать ее до 90°—100° перед подачей в котлы.

На рис. 38 показан открытый пермутитовый или цеолитовый фильтр. Сырая вода поступает в фильтр по трубе *1*. Шаровой клапан *2* регулирует поступление жесткой воды. Мягкая вода подается по трубке *4* при помощи крана *5*. Промывка производится сверху вниз и кран *6* служит для спуска промывной воды. Через кран *7* спускают раствор поваренной соли при регенерации, и жесткая вода спускается через кран *8*. Песок разрыхляется при промывке током воды или граблями. Во время работы фильтра краны *2* и *5* открыты, а краны *3*, *6*, *7* и *8* закрыты.

Процесс восстановления производится следующим образом. Пермутит перед восстановлением разрыхляется, а ранее закрывают кран *5*; затем спускают воду над пермутитом через кран *8* и на пермутит пускают 10% раствор поваренной соли на 2—4 часа. Раствор поваренной соли проходит через фильтр со скоростью меньшей, чем смягчаемая вода. После прекращения пропуска раствора поваренной соли пермутит остается еще под раствором от 4 до 8 часов. Затем процесс считается законченным. Открывают кран *6* и закрывают кран *7*; ток смягченной воды вытесняет поваренную соль из слоя пермутита в течение 5—10 мин. и кран *6* закрывают. Фильтр снова готов к работе, для чего открывают кран *5*.

5 Газоудаление

Удаление углекислоты и кислорода должно производиться из питательной воды для всякой котельной установки, так как они портят металл, разъедая его и покрывая язвинами. Особенно сильно действуют эти газы при применении чистого сгущенного пара из поверхностных холодильников паровых турбин, если при подводе этой чистой воды газы попадают туда каким-нибудь образом. Совместное действие кислорода с углекислотой достигает особой разрушительности. Поэтому баки, в которых содержится чистая перегонная вода из холодильников или приборов отопления, должны быть тщательно закрыты от возможности соприкасания с воздухом, который жадно поглощается чистыми перегонными водами. Приводим ниже количество газов в 1 см³, которое может раствориться в 1000 см³ воды, кислорода, азота и углекислоты (таблица 34).

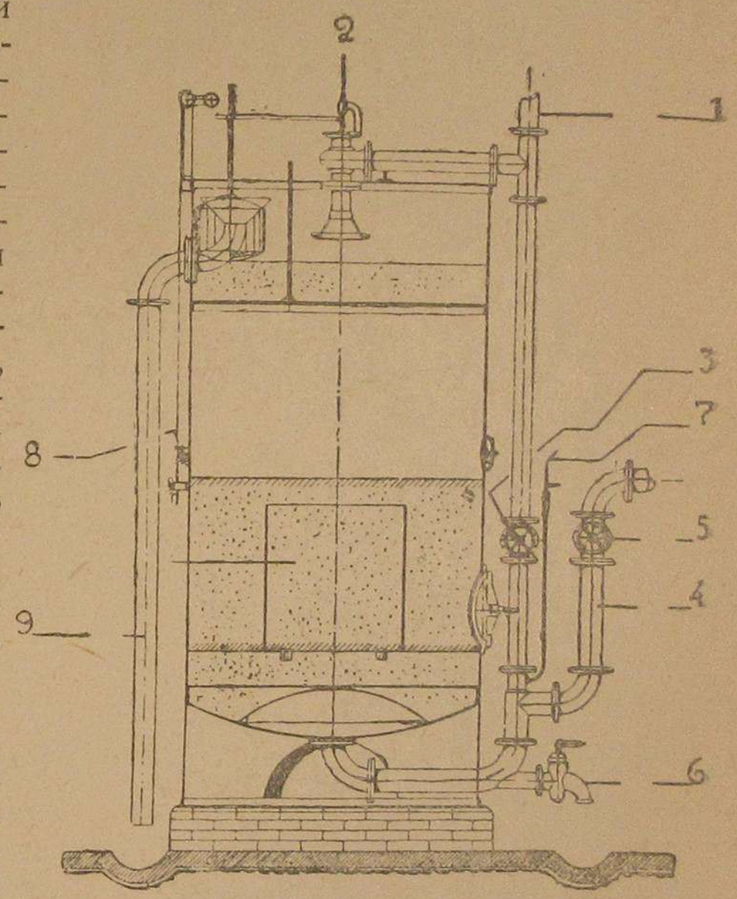


Рис. 38. Открытый цеолитовый фильтр.

В настоящее время самым надежным способом удаления газов из воды считается подогрев воды до температуры кипения. При таком нагревании воды давление газов, растворенных в воде, уменьшается почти до нуля, и содержание их в воде уменьшается также до весьма малой величины. Но для лучшего удаления газов необходимо с нагреванием соединить механическое распыление струи, тогда газы легче удаляются из воды. В удалителях газа, называемых также деаэраторами, которые выполняются по проектам ЦККБ (рис. 39), вода протекает через регулятор уровня, где поддерживается постоянство уровня воды в аккумуляторе. Затем вода перетекает в охладитель удалителя газа, где она подогревается теплотой сгущающегося в нем пара. Далее вода подогревается паром, который отбирается от турбины или из какого-нибудь источника пара, например, испарительного устройства. При перетекании через верхнюю крышку газоудалителя вода разбрызгивается пружинными клапанами и попадает в башню, где она протекает через ряд тарелок с отверстиями,

Таблица 34

Температура °Ц	Кислород см³	Азот см³	Углекислый газ см³	Температура °Ц	Кислород см³	Азот см³	Углекислый газ см³
0	48,90	23,48	17,13	30	26,08	13,40	665
5	42,86	20,8	14,24	35	24,40	12,54	592
10	38,02	18,57	1 194	40	23,60	11,83	530
15	34,15	16,82	1 019	50	20,90	10,87	430
20	31,02	15,42	878	60	19,46	10,22	359
25	28,31	14,31	759				

а в это время из нее удаляется воздух. Обезвоздушенная вода стекает вниз в собиратель, а смесь пара и воздуха из газоудалителя уходит в сгуститель, где пар сгущается, воздух же уходит наружу.

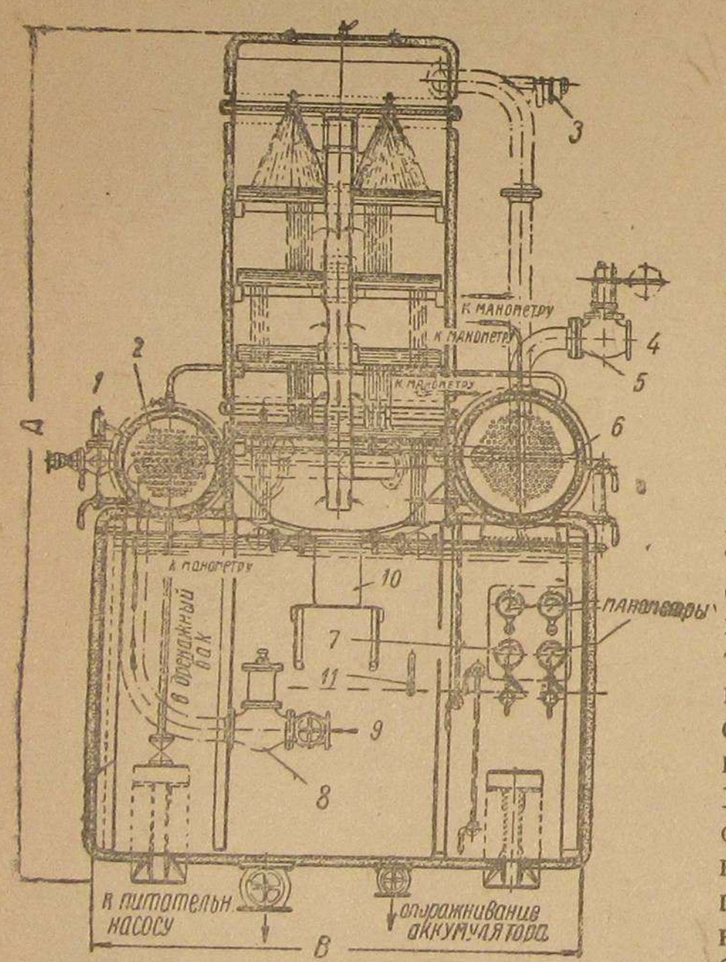


Рис. 39. Газоудалитель.

1—выход воздуха; *2*—конденсатор; *3*—термореле регулятора температуры; *4*—вход греющего пара; *5*—клапан регулятора температуры; *6*—подогреватель; *7*—манов. акуометр; *8*—регулятор питания; *9*—впуск воды; *10*—конденсационный горшок; *11*—термометр.

Для автоматического изменения производительности газоудалителя при нем имеется регулятор температуры, который изменяет подачу пара. Весь газоудалитель разбирают для удобства чистки и ремонта.

У газоудалителей большой производительности подогреватель располагается над сгустителем пара и оба по одну сторону газоудалительной башни. В другом случае показано расположение подогревателя и сгустителя пара по разным сторонам башни. Газоудалители строятся двух типов: для питательной воды выше 100°—атмосферного типа без отсасывающих приспособлений и вода в нем будет при 104°, а для температуры ниже 100° — газоудалитель будет с разрежением, создаваемым при помощи эжектора, давление которого 12—15 кг/см². Емкость водособирателя берется равной десятиминутной производительности газоудалителя. Газоудалитель, подогреватель и сгуститель изготовляются сварные из железа.

Для надежной подачи подготовленной воды из газоудалителя к питательному насосу необходимо подводить ее с некоторым напором при температуре кипения. Вода, направляемая в газоудалитель, должна подаваться с напором для преодоления сопротивлений в регуляторе, трубопроводах и в других частях газоудалителя. На рис. 40 показано устройство регулятора уровня воды, который изготовляется из чугуна, а клапан, седло и направляющая втулка — из бронзы. Газоудалитель снабжается необходимой арматурой и

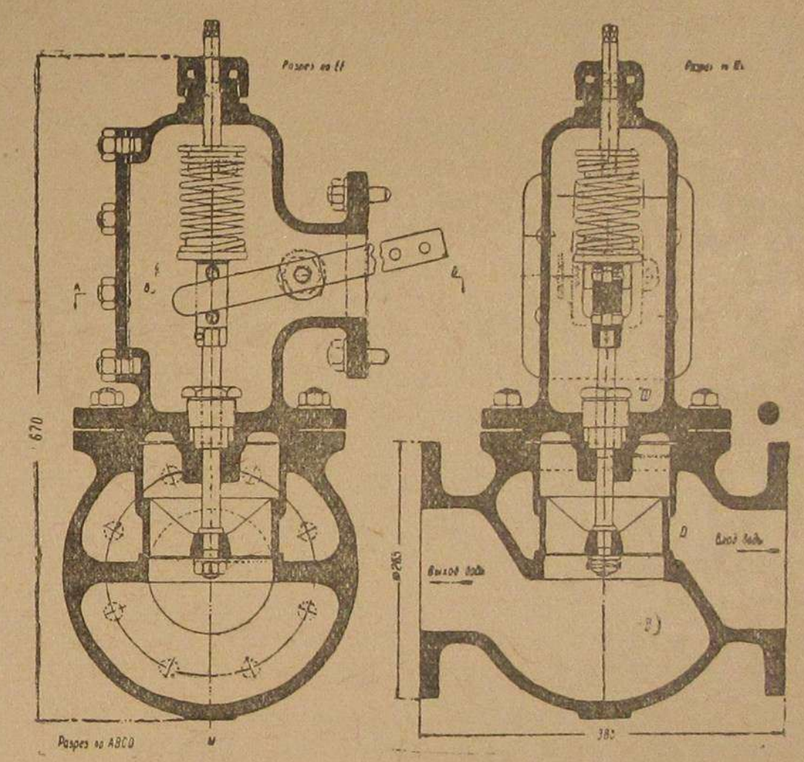


Рис. 40. Регулятор уровня воды.

измерительными приборами: клапаном на трубе для впуска воды, задвижкой водосборника, спускным клапаном, регулирующим клапаном при выпуске, задвижкой при впуске пара, воздушными клапанами, водомерами для сгущенного пара, подогревателем и водосборником, предохранительными клапанами, конденсационным горшком с отводом, термометрами, манометрами и мановакууметрами.

XII. ПОДОГРЕВ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

В котельной установке большой паропроизводительности при каждом котле должен быть свой особый подогреватель, в котором подогревается питательная вода, что уменьшает потерю тепла в уходящих газах и понижает вместе с тем расход топлива, увеличивая паропроизводительность котла. Отдельная установка водо-

подогревателя при каждом котле необходима потому, что при остановке котла для его чистки возможен одновременно просмотр, чистка и ремонт его водоподогревателя. Водоподогреватели производятся из чугуна гладкие (Грина) или с ребрами (Каблица), но теперь изготовляются из железных труб. Газы в борове имеют температуру от 300 до 350°; без подогрева воды они ушли бы с такой температурой в трубу; но постановка водоподогревателя понижает температуру газов до 150—170°. За счет использования тепла газов, которое характеризуется понижением температуры их на 150—180°, происходит нагрев воды, поступающей в водоподогреватель при температуре выше точки росы, около 50—60°, до температуры 130—135°. Вследствие быстрого загрязнения стенок водоподогревателя и уменьшения коэфициента теплопередачи нагрев может быть доведен только до 110—125°. Стремление повысить подогрев воды до более высокой температуры создает увеличение поверхности водоподогревателя с понижением температуры газов в борове у входа в подогреватель питательной воды. Допустимая наиболее низкая температура газов за водоподогревателем у основания трубы должна быть выше наружной температуры, принимаемой, в среднем, 15°, на 110—130°; таким образом, отходящие газы должны иметь температуру 125—145°. При снижении температуры уходящих газов было бы необходимо устройство дутья в топку или искусственной тяги, что не всегда экономически выгодно. При охлаждении газов на 1° вода в подогревателе может быть подогрета на $\tau = 0{,}5° — 0{,}6°$. Подогрев воды τ остается постоянным для разных начальных температур питательной воды, так что при $t^\circ_{нач.} = 24°$, $t_1 = t_{нач.} + 120°$[1] $\cdot\ \tau = 24° + 66° = 90°$, при $t^\circ_{нач.} = 54°$, $t_1 = 120°$. Но такой нагрев в водоподогревателе можно было бы получить при значительном увеличении его поверхности. А потому полезно $t^\circ_{нач.}$—начальную температуру питательной воды—повышать в особом предподогревателе за счет тепла отработавшего пара паровых машин. Таким предварительным подогревом повышается температура питательной воды выше точки росы, вместе с тем уменьшается поверхность водоподогревателя. К тому же он предохраняется от ржавления. Паровые машины, работающие с непосредственным выпуском на воздух, используют только 7—10% начального тепла пара, так что 90—93% тепла уходит при 100° в пространство. Вот это тепло и может быть использовано в предподогревателе. Предподогреватели могут быть смешивающие и поверхностные.

Предподогреватель питательной воды существенно отличается от холодильника. При выходе из машины пар имеет 100° и теплосодержание его равно 637 кал., температура воды, вступающей в смесительный предподогреватель $= t_0^\circ$, после смешения температура воды $— t_0^1$; 1 кг пара смешивается с m кг воды, при чем $m = \frac{\lambda - t'}{t' - t_0}$. Один кг пара подогревает при $t_0 = 0°$ до $t'_{нб} = t^1 = 100°$, следующее количество воды:

$$m = \frac{637 - 100}{100} = 5{,}37 \text{ кг воды;}$$

[1] 120°—полезное понижение температуры газов в водоподогревателе.

при $t_0^\circ = 15°$ и $t' = 95°$, при давлении уходящего пара $p = 1{,}1$ кг/см² абс. одним кг пара будет нагрето следующее количество воды:

$$m = \frac{641 - 95}{95 - 15} = 6{,}83 \text{ кг.}$$

При сохранении в предподогревателе давления $p = 1$ кг/см² абс. и температуры 100° пар протекает в избытке и охлаждается отчасти. Избыток пара должен быть отведен в атмосферу или в отопление. Для правильной постановки подогрева питательной воды необходимо организовать сбор всего сгущенного пара в производстве из всех паропроводов, паровых рубашек, кранов, теплособирателей и т. п. для направления его в предподогреватели с наименьшей потерей температуры и по возможности без соприкосновения с воздухом. Такая присадка к питательной воде сгущенного пара повысит температуру питательной воды.

Паровые питательные насосы (дуплекс) расходуют много пара, до 50—60 кг/л. с. час. В общем, этот расход составляет 2—5% всего производства пара. По следующему примеру можно представить необходимость использования теплоты сгущенного пара питательных насосов. Паровой насос дуплекс питает котел: давление $p_1 = 11$ кг/см² абс. или $p = 10$ кг/см² ман., расход пара в насосе $C = 50$ кг/п. л. с.-час; полезность насоса $\eta_{нас} = 0{,}70$. Питательная вода подогревается паром питательного насоса в предподогревателе до перекачивания в водоподогреватель. Определим повышение температуры питательной воды. Высота всасывания: $h_1 = 4$ м; высота нагнетания $h_2 = 10\ p = 100$ м; высота сопротивлений $h_3 = 3$ м. Полная высота: $h_1 + h_2 + h_3 = 107$ м.

Работа 1 л. с. дает воды:

$$m = \frac{L}{h} = \frac{270000}{107} = 2523 \text{ кг/час.}$$

Количество тепла эквивалентно затраченной работе—$Q = 632$ кал/час при $\eta_{нас.} = 0{,}7$.

$$Q_{пол.} = \frac{Q_i}{\eta_{нас.}} = \frac{632}{0{,}7} = 910 \text{ кал/час.}$$

Пар при $p_1 = 11$ кг/см² абс. имеет теплосодержание 665,2 кал/кг.

К насосу в паре подводится на каждую л. с./час теплоты: $Q\lambda C = 665{,}2 \cdot 50 = 33\,260$ кал/час.

В насосе превращается в полезную работу $Q_{пол.} = 910$ кал., за насосом происходит потеря тепла в трубопроводе к предподогревателю, равная 10% всего количества тепла, т. е. $q = 0{,}1\ \lambda C = 0{,}1 \cdot 33260 = 3326$ кал. К предподогревателю подводится тепла:

$$W = \lambda C - q - Q_{пол} = 0{,}9 \cdot 33\,260 - 910 = 29\,024 \text{ кал/час.}$$

В питательную воду подводится отработавший пар из питательного насоса: C кг/час с теплосодержанием W кал. Температура

сгущенного пара—t', теплота, передаваемая воде,—$t'C$ кал. будет при m кг/час воды, при повышении температуры воды—$(t'-t_0)$ равна $W=m(t'-t_0)+t'C$, отсюда

$$t'=\frac{W+mt_0}{m+C}.$$

Пусть начальная температура воды, подаваемой в предподогреватель: $t_0=15^\circ$, тогда

$$t'=\frac{29\,024+2523\cdot 15}{2523+50}=26{,}1^\circ.$$

Повышение температуры воды в предподогревателе при добавлении к ней сгущенного пара: $\Delta t=t'-t_0=26{,}1-15=11{,}2^\circ$. При начальной температуре питательной воды 30° повышение ее будет на 10,6°. Повышение температуры очень мало зависит от начальной температуры t_0 — питательной воды, так что подогрев ее паром из насосов выгоден при всяких условиях, тем более, что подвод отработавшего пара из насосов не требует больших затрат. Сторона предподогревателя, с которой подводится пар, должна быть открыта, и давление в ней будет 1 кг/см² абс., а сгущенный пар в количестве $C=50$ кг/л. с.-час при этом будет стекать наружу, имея температуру t'. При таком устройстве произойдет полное охлаждение пара, выпускаемого насосом, вследствие избытка воды. Кроме того, в предподогреватель может быть подведен пар и из других машин, работающих на воздух. Количество сгущенного пара по отношению к количеству воды на 1 л. с.-час незначительно:

$$\frac{C}{m}\cdot 100=\frac{50}{2523}\cdot 100=2\%.$$

Установка водоподогревателя питательной воды, однако, имеет очень существенный недостаток, делающий ее неудобной в больших котельных установках. Водоподогреватель, использующий теплоту уходящих газов, всегда требует большого места в котельной. Его исправная работа связана с очисткой его поверхности от грязи.

Для подогрева воды, подаваемой в котел, может быть применен с большой полезностью и большими удобствами как конструктивными, так и эксплоатационными так называемый регенеративный подогрев воды паром, отбираемым от паровых двигателей. Этот способ дает значительные тепловые и экономические преимущества, так что в новейших больших котельных установках он имеет почти исключительное применение.

Паровые машины и турбины, работающие на холодильник, значительную часть тепла отдают охлаждающей воде. Новейшие паровые турбины высокого давления работают с тепловой полезностью, не превышающей 5%. При мощных установках пар на пути его расширения в паровых турбинах может быть отобран и направлен в особые приборы-подогреватели питательной воды для ступенчатого подогрева, где отборный пар и вода движутся противотоком. В этих подогревателях питательной воды отборный

пар, подогревая воду, сгущается и в дальнейших ступенях прибавляется к питательной воде. Чем больше точек отбора пара в турбине, тем выше подогрев питательной воды, а вместе с тем, чем больше отношение количества отборного пара к полному количеству пара, протекающему в турбине, тем выше полезность всей установки. Подогрев питательной воды отборным паром имеет по сравнению с подогревом в водоподогревателях существенные преимущества, так как при таком способе уменьшается поверхность нагрева нагревательных приборов, вследствие повышения коэфициента теплопередачи в нагревающих трубах. А вследствие этого уменьшается вся водоподогревающая установка—по площади и по весу; облегчается уход за ней, так как не приходится иметь дела с загрязняющими поверхность нагрева газами. Однако, стоимость подогрева пара отбором зависит от числа точек отбора, поэтому в настоящее время подогрев питательной воды в паровых турбинах осуществляется в двух и трех точках и сравнительно редко—в четырех.

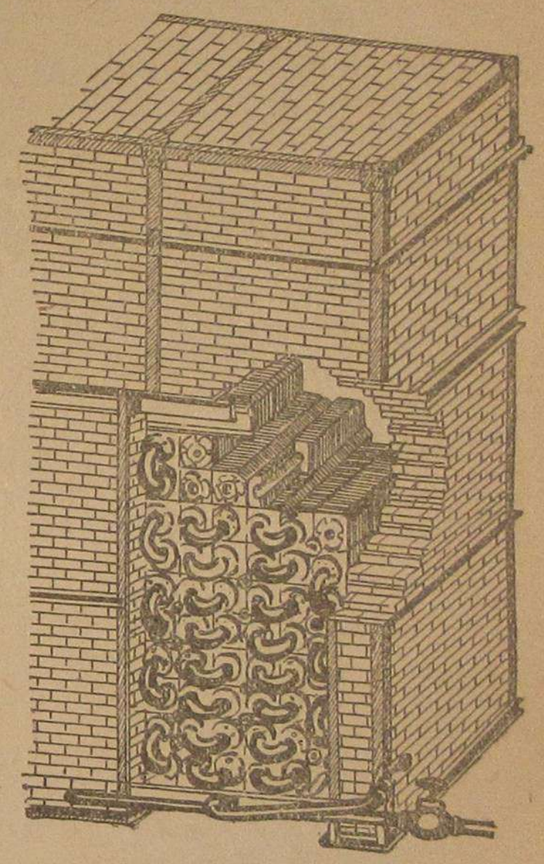


Рис. 41. Общий вид водоподогревателя (экономайзера) системы Т. И. на давление 22 кг/см²; состоит из чугунных труб с квадратными ребрами.

В СССР водоподогреватели строятся нескольких типов а систем: ребристотрубные горизонтальные системы Теплотехнического института на давление 22 кг/см² ман. из чугунных труб с квадратными ребрами (рис. 41) и фланцами на концах: квадратным и круглым. При сборке трубы накладываются одна на другую так, чтобы тройные фланцы образовали плотную перегородку для раздела газов от наружного воздуха. Стыки фланцев уплотняются асбестовым шнуром. Круглый фланец на трубах служит для соединения труб калачами. Вода поступает в водоподогреватель снизу через особый коллектор и при помощи соединительных калачей протекает через все трубы каждого ряда последовательно до выхода сверху из крайней трубы верхнего ряда при значительной скорости, при чем воздух из воды отводится вантузом через особый коллектор. В водоподогревателе соблюден противоток с движением воды вверх; газы идут всегда вниз.

Для чистки этого водоподогревателя применяется обдувочный прибор, который действует автоматически от гидравлического двигателя. Обдувочный прибор состоит из газовых труб с отверстиями,

диаметр трубы—25 мм. Один конец каждой трубы закрывается вглухую, другой заворачивается в коллектор, который соединяется с паропроводом; рис. 42 дает представление об устройстве четырехходового крана и гидравлического двигателя, который работает водой при давлении 3—4 кг/см².

Действие обдувочного прибора следующее: обдувочные трубки вставляются в промежуток между четырьмя трубами водоподогре-

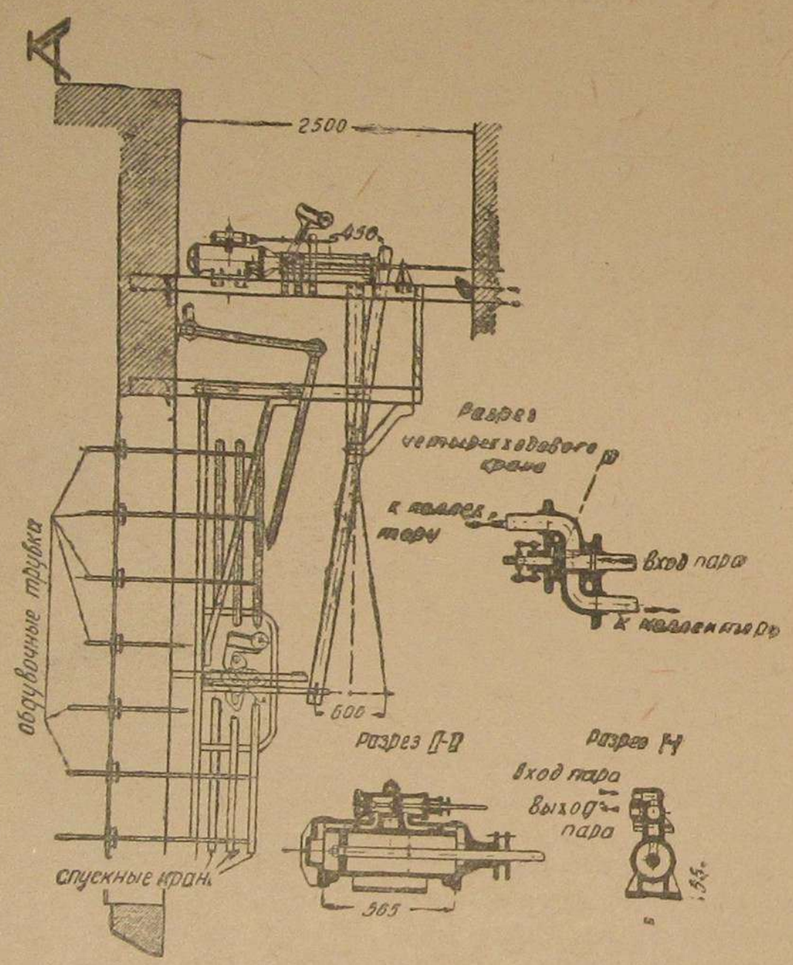


Рис. 42. Автоматическое обдувочное приспособление для водоподогревателя системы Т. И.

вателя в особые сальники, подача пара производится при помощи автоматически переключающегося четырехходового крана поочередно в каждый коллектор. В водоподогревателях небольшой поверхности обдувка производится ручным прибором.[1] Скорость газов при расчете принимается от 8 до 10 м/сек. Коэфициент теплопередачи $k = 10$ кал/м² °Ц-час.

Общий вид водоподогревателя Грина показан на рис. 43. Этот тип водоподогревателя, строящийся на давлении 22 кг/см² ман., состоит из труб с внутренним диаметром 97 мм, соединяющихся

[1] Подробности см. Энергооборудование СССР, стр. 78.

в батареи, которые составляют группы по 4 штуки в каждой. Вода втекает в соединяющиеся нижние коллекторы и поднимается одновременно вверх по всем трубам и выходит через верхние коллекторы. Газы движутся перпендикулярно потоку воды. При установке водоподогревателя сбоку оставляется проход шириной 420 мм для внутреннего осмотра, прикрывающийся особыми заслонками. Для выемки батарей при ремонте устроены достаточно широкие

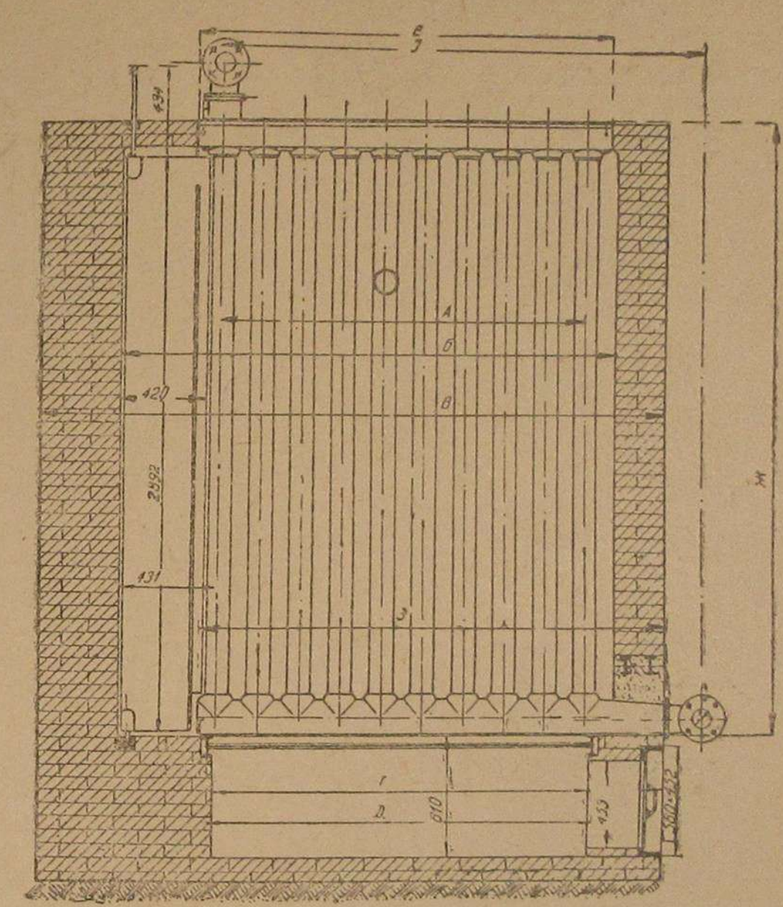


Рис. 43. Общий вид гладкотрубного вертикального водоподогревателя системы Грина.

проходы между группами батарей, над проходами сверху имеются промежуточные площадки с лазами, а под всей установкой имеется зольник с лазами. Очистка от сажи производится скребковым аппаратом. Батареи собираются из 4, 6, 9 и 10 труб. Поверхность нагрева труб следующая:

при длине батареи	3 129 мм	—1	м²
„ „ „	3 332 „	—1,25	„
„ „ „	3 714 „	—1,4	„
„ „ „	3 970 „	—1,5	„

На рис. 44 показан ступенчатый водоподогреватель Грина. Он составляется из батарей разной длины—3714 и 3332 мм, которые собираются поочередно; такое устройство дает возможность

пропускать газы снизу вдоль по трубам, образуя противоток с водой.

Изготовляются еще чугунные вертикальные ребристые водоподогреватели системы Каблиц давления до 22 кг/см². Водоподогреватель состоит из системы чугунных ребристых труб, подвешенных на болтах к общей плите, трубы попарно соединяются внизу коробками для перехода воды из трубы в трубу. Газы и вода движутся противотоком. В распределительной плите имеются

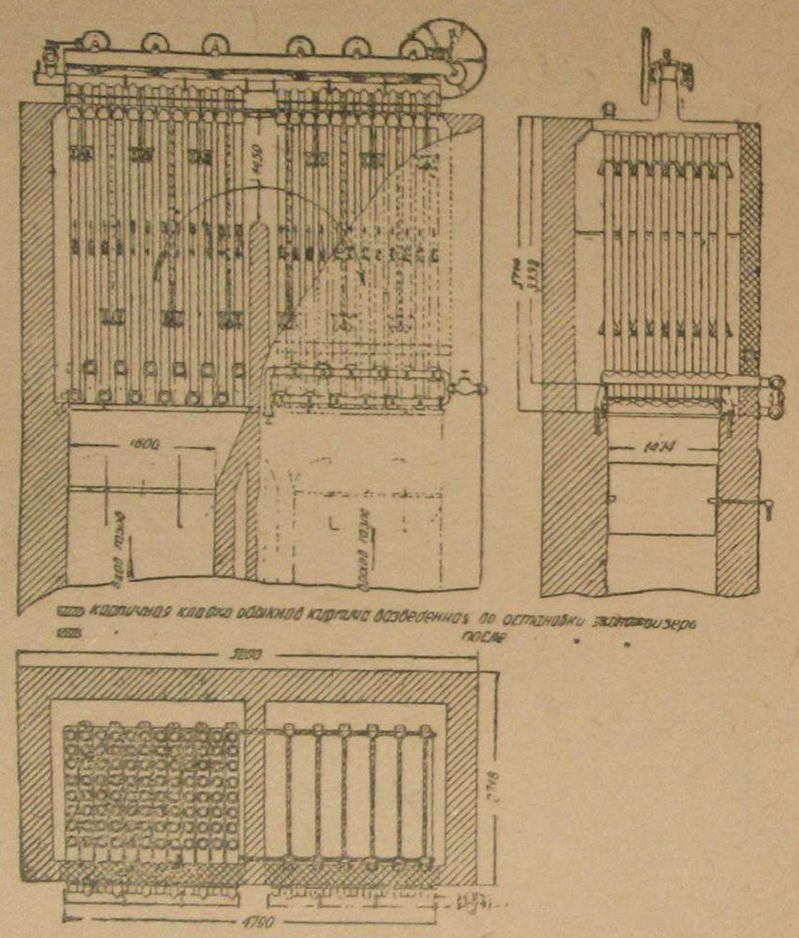


Рис. 44. Общий вид гладкотрубного ступенчатого водоподогревателя Грина.

каналы, по которым вода проходит в плите; эти каналы соединяются узкими протоками для удобства выделения пузырьков воздуха. Элементы водоподогревателя могут быть установлены поперек борова и вдоль него в одной или двух группах (рис. 45 и 46). Для обдувки применяется паровой аппарат. При естественной тяге скорость газов—3—4 м/сек., при которой коэфициент теплопередачи $\kappa = 12—14$. ЦККБ имеет свои чугунные и железные водоподогреватели горизонтального типа (рис. 47), длина трубы—2000 мм и поверхность нагрева одной трубы около 5 м².

Отличие от типа Теплотехнического института состоит в том, что вода поступает в водоподогреватель во все трубы одного горизонтального ряда. Ребра—круглые, а фланцы трубы устанавли-

ваются в металлических рамках, образуя сплошные стенки по концам труб. Железный горизонтальный водоподогреватель изготовляется из стальных труб, наружный диаметр 83 мм с железными

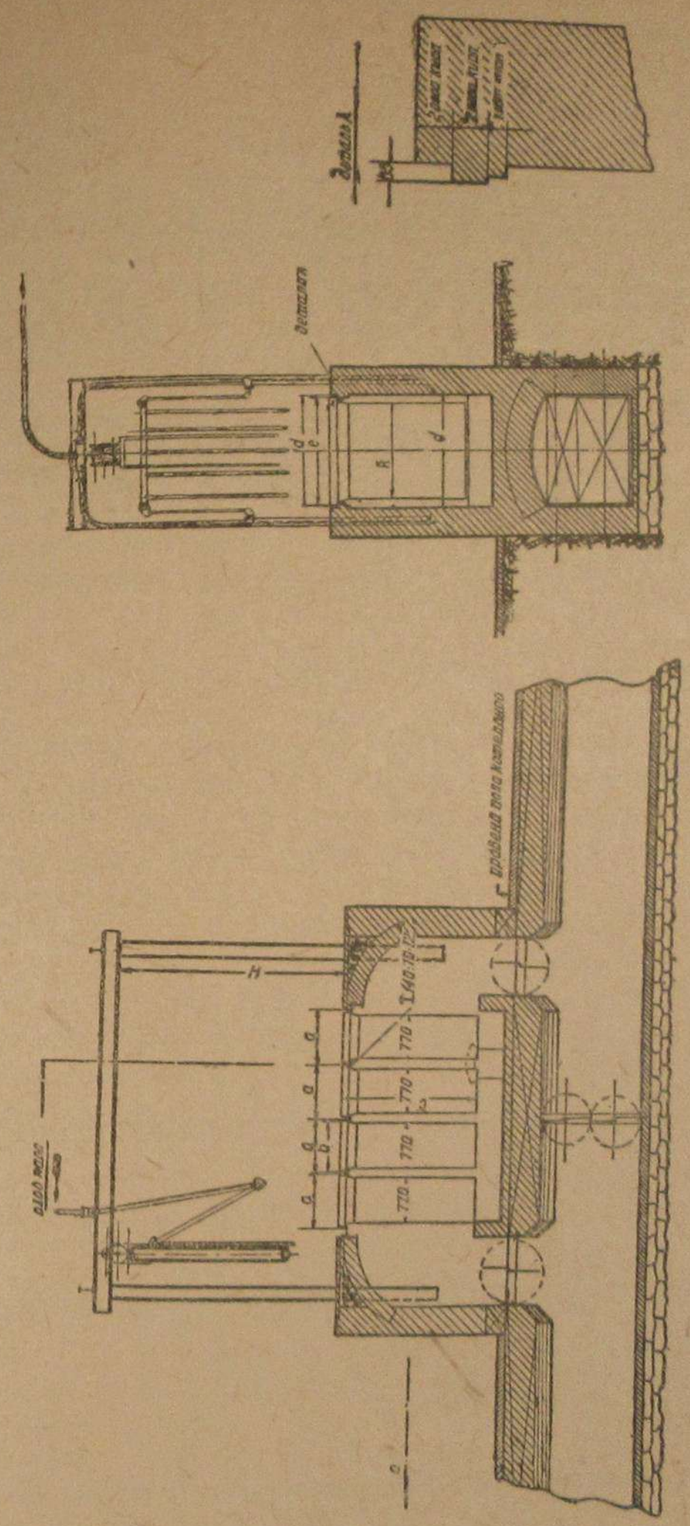


Рис. 45. Установка вертикального ребристотрубного водоподогревателя системы Каблица. 1—продольный разрез, 2—поперечный разрез, 3—деталь А опорной кладки для элементов водоподогревателя.

восьмиугольными штампованными ребрами. Поверхность нагрева одной трубы—4 м². Этот водоподогреватель применяется для высоких давлений.

XIII. ПИТАНИЕ КОТЛОВ

Исправное состояние и непрерывная работа котельной установки зависят от правильного и надежного устройства питательных приборов. Питание котлов производится по специальным

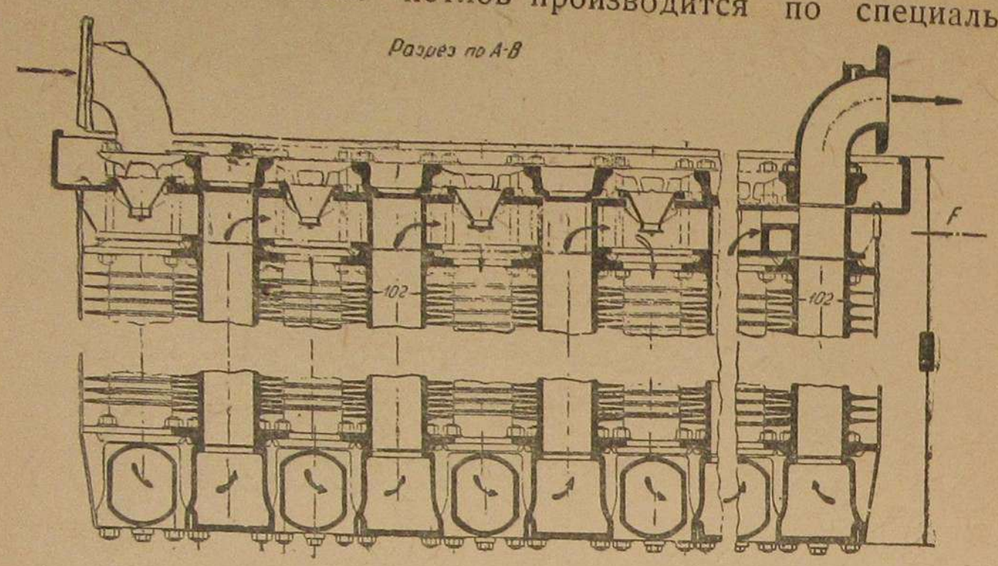


Рис. 46. Элементы водоподогревателя сист. Каблица.

двойным трубопроводам не менее, чем двумя независимыми приборами разного устройства. Каждый питательный прибор должен иметь переключение на оба трубопровода. При помощи одного трубопровода питание может производиться непосредственно

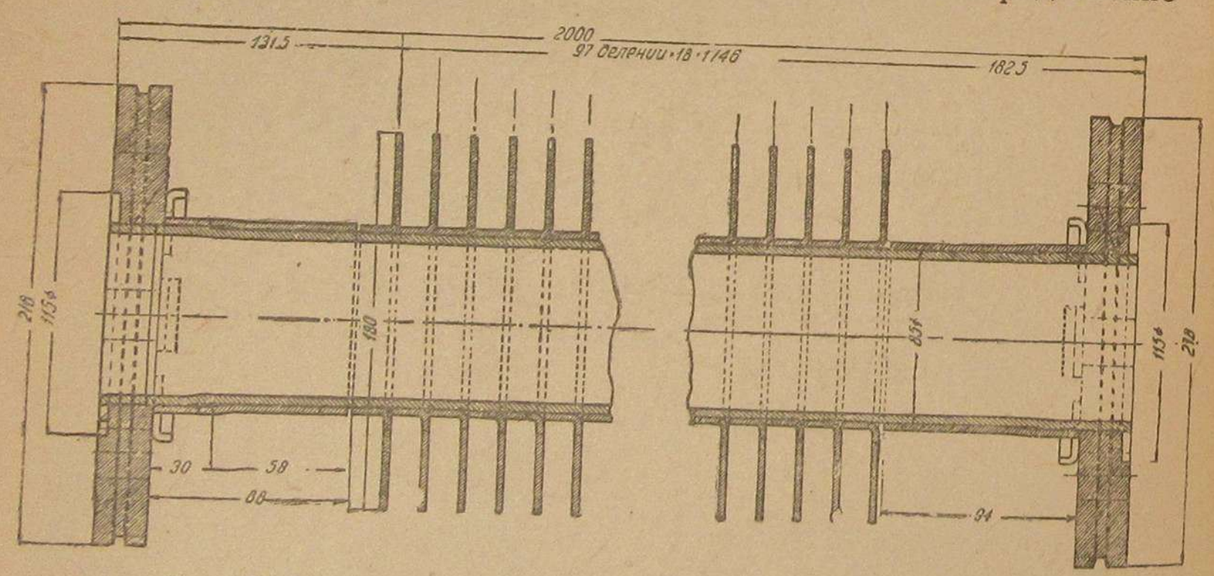


Рис. 47 Элементы железного водоподогревателя системы ЦККБ.

в котел, минуя водоподогреватель. Так осуществляется холодное питание. В котельных установках малой величины питание производится „донками"—паровыми насосами Вортингтона—и в установках средней величины применяются для питания котлов паро-

струйные насосы, для больших установок—центробежные насосы с приводом от электродвигателей или небольших паровых турбин. Пароструйные насосы и центробежные насосы с турбинами расходуют большое количество пара, а потому отработавший пар из них должен быть использован для питания котлов. В больших котельных установках преимущественно пользуются электрическими двигателями для привода насосов, и только резервные—приводятся паровыми турбинами. Все запасные питательные приборы и особенно резервные необходимо проверять от времени до времени для уверенности в их исправном состоянии. Питательные приборы выбирают так, чтобы они могли подавать удвоенное количество воды. Кроме нормально действующих питательных приборов в котельной устанавливают запасные на обычную производительность. „Правила устройства, установки и содержания паровых котлов" требуют, чтобы для питания паровых котлов с давлением более 6 кг/см² ман. должно быть установлено не менее двух питательных приборов, которые должны приводиться в действие, независимо один от другого. При установке двух питательных насосов производительность каждого из них должна быть не менее двухкратной длительной максимальной производительности всех работающих котлов, при чем один насос должен быть с паровым двигателем. При установке трех и более питательных насосов общая производительность их должна быть не менее утроенной длительной максимальной производительности всех работающих котлов, при этом часть насосов в суммарной мощности не менее половины мощности всех насосов должна быть с паровыми двигателями.

При установке двух инжекторов производительность каждого из них должна быть не менее трехкратной длительной максимальной производительности котлов, а при установке трех и более одинаковых инжекторов каждый из них—не менее учетверенной длительной максимальной производительности всех работающих котлов, деленной на число инжекторов.

Для питания парового котла, у которого произведение числа, выражающего поверхность нагрева котла в квадратных метрах на число кг/см² рабочего давления не превышает 200, в качестве второго питательного прибора (при инжекторе—паровом или приводном насосе) может быть применен ручной насос.

Питательные приборы, устанавливаемые при котлах, паровые насосы (сдвоенные), турбинные насосы,—приводятся в действие непосредственно соединенными паровыми турбинами или электродвигателями; в малых установках применяются инжекторы. В мощных котельных установках пользуются турбинными насосами—многоступенчатыми, отличающимися надежностью действия и занимающими небольшую площадь. Насосы и электродвигатели монтируются для непосредственного соединения на одной фундаментной плите. При установке электронасосов источник электроэнергии должен быть независим от работы станции, чтобы питание не нарушалось в случае аварии и при выходе из строя действующих турбогенераторов; для надежного питания должен быть установлен „аварийный" агрегат. В больших турбинных станциях

питание котлов производится сгущенным паром из турбин, и свежая вода добавляется в количестве, не превышающем 5—6% общего количества воды, циркулирующей в системе котел-турбина-холодильник.

Добавочная вода подается особыми насосами меньшей мощности, нежели обычно питательные насосы. На станции с небольшим числом котлов каждый котел обслуживается своим питательным прибором при наличии общего запасного насоса, при чем трубопровод должен быть построен так, чтобы питание котла могло быть осуществлено в случае порчи своего прибора от прибора другого котла. При обособленной системе питания котлов насосы располагаются у каждого котла или против него; но может быть организована и групповая система питания котлов. Такая система показана на рис. 48; все насосы собраны в особую группу и вынесены в особое помещение.

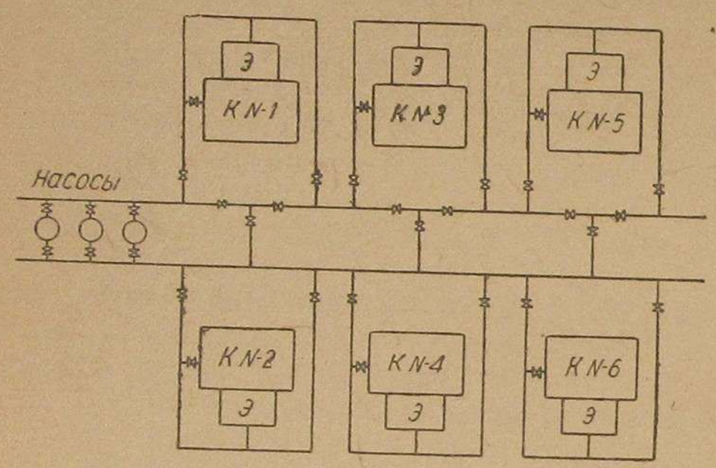


Рис. 48. Групповая система питания. *к* — котел, *э* — экономайзер (водоподогреватель).

Групповое питание может быть применено в котельных установках с большим числом котлов с поверхностями нагрева средней величины, от 200—500 м². Крупные теплосиловые станции, состоящие из нескольких котельных установок с особым обслуживанием каждого питательными насосами, последние должны быть включены в паропроводы так, чтобы питание любой котельной могло вестись каждой группой насосов. Определение способа привода питательных насосов электродвигателями или паровыми турбинами зависит от возможности использования отработавшего пара таких вспомогательных турбин. При незаинтересованности предприятия в использовании пара от вспомогательных турбин следует избрать электродвигатель. Но при возможности использовать отработавший пар для целей производства, что возможно во всех отраслях деревообрабатывающей промышленности, следует питательные насосы приводить от паровых турбин.

Питательные трубопроводы должны быть вполне надежны по своему устройству и доступны по расположению и подлежат особо внимательному и тщательному наблюдению. В трубопроводах нагнетательных скорость воды не должна быть больше 2 м/сек., а во всасывающих—1 м/сек. В котельной должен быть запасной бак с питательной водой для питания котлов в течение некоторого времени от $^1/_2$ до 2 часов на случай перерыва в подаче воды. Из такого бака питательные насосы подают воду в котлы при перерыве в водоснабжении станции.

Одноцилиндровый паровой насос расходует 20—25 кг пара на 1 гидравлическую л. с.-час. Насосы с паровой машиной двойного расширения требуют от 14 до 16 кг/л. с.-час в насосе. Насосы „Вортингтон"—от 40 до 80 кг/л.-час работы насоса. Вообще же расход пара на работу насосов принимают 3—6% всего количества пара, вырабатываемого котлом.

Мощность, расходуемая на работу питательного насоса, определяется по выражению:

$$N_{\text{нас}} = \frac{(10p_{\text{к}} + h) \cdot Q}{270\,000} \text{ л. с.}$$

Q —количество воды, подаваемой насосом в кг/час,

h —высота подачи насоса, выраженная в метрах и равная расстоянию от уровня воды в баке до уровня котла, и высота, затраченная на преодоление всех сопротивлений в питательном трубопроводе,

$p_{\text{к}}$—давление в котле—кг/см².

Мощность электродвигателя, необходимая для работы центробежного насоса, определяется так:

$$N_{\text{э. д.}} = \frac{N_{\text{нас.}} \cdot 0{,}736}{\eta_{\text{нас.}} \cdot \eta_{\text{пр.}}} \text{ квт.}$$

Для поршневых насосов $\eta_{\text{инд.}} = 0{,}80 - 0{,}90$.

Для центробежных насосов одноступенчатых $\eta_{\text{н}} = 0{,}50 - 0{,}80$.

„ „ „ многоступенчатых $\eta_{\text{н}} = 0{,}60 - 0{,}80$.

Определенная мощность должна быть увеличена в запас на 15%.

Питательные насосы—как поршневые, так и центробежные, должны быть установлены так, чтобы высота всасывания не превышала 6 м, учитывая потери на трение в трубопроводах. Инжекторы необходимо устанавливать на высоте 2 м при температуре питательной воды до 30—40°. При температуре 50—60° инжекторы не применяются; только инжектор „Кертинга" подает воду до 70°. И при температуре выше 50° вода подводится к насосам самотеком с заполнением. При питании котлов горячей водой, температура которой на 5—10° ниже температуры испарения, подводящему трубопроводу придают сечение в два раза больше, чем при питании холодной водой. Баки с горячей питательной водой делаются закрытыми и устанавливаются под насосами. В больших котельных установках с турбинами питание производится конденсатом, который дополняется дестиллированной водой. В таком случае водохранилище устраивают в виде герметически закрытых баков для устранения попадания в питательную воду воздуха, кислород которого разъедает котлы. Питательные насосы работают исправно при внимательном уходе и тщательном ремонте не более 15 лет, а затем должны быть сменены.

Для выбора высоты установки баков при использовании питательной горячей воды можно пользоваться диаграммой на рис 49.

На этой диаграмме нанесены две кривые: нижняя дает теоретическую возможную высоту всасывания при температуре 70°; практически необходимую высоту для установки бака с горячей водой можно взять по верхней кривой.

На рис. 50 показан питательный одноступенчатый насос Л. М. З. типа ТН—О, а на рис. 51 изображен двухступенчатый насос того же завода типа ТН—Д. В таблице 35 приведены соответствующие характеристики этих насосов.

XIV. ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА

Какое бы топливо ни сжигалось в топке, кусковое или в состоянии размельчения, применение подогрева воздуха ускоряет течение реакций процесса горения, вследствие чего в более короткий промежуток времени можно осуществить полное сжигание топлива.

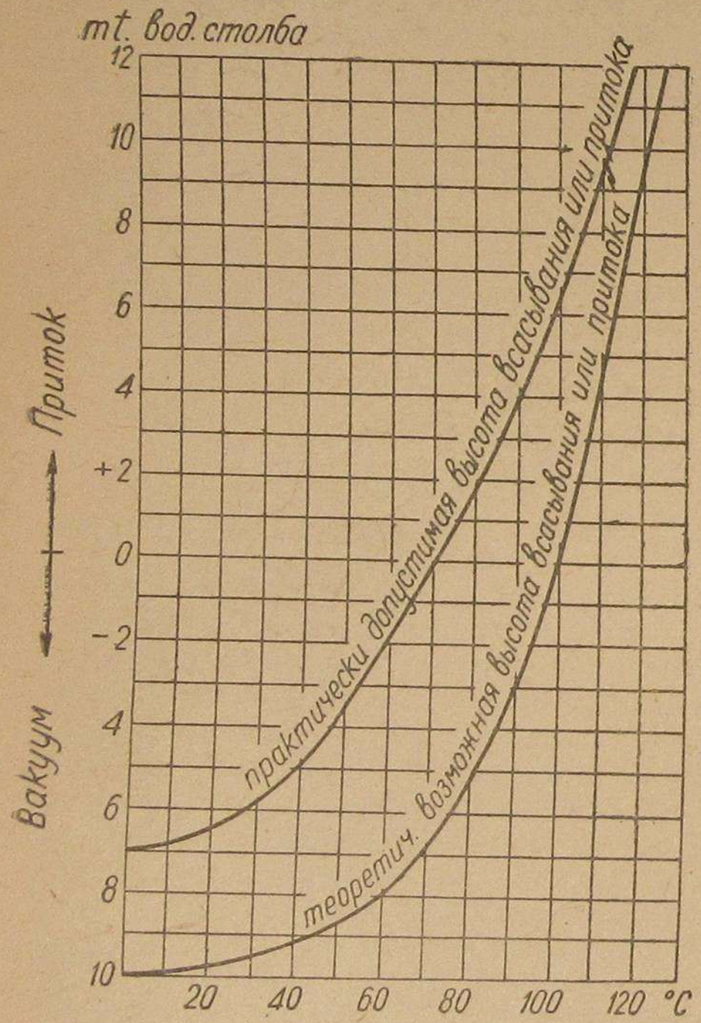


Рис. 49. Диаграмма зависимости от температуры высоты расположения баков с горячей водой над насосами.

Ускорение процесса горения топлива допускает увеличение напряженности колосниковой решетки и топочного пространства и уменьшение избытка воздуха. Подогрев вторичного воздуха теплотой отходящих газов возвращает в топку часть их теплоты, вследствие чего повышается температура горения, при чем уменьшается потеря от недожога в очаговых остатках, от неполноты сгорания, и потеря от образования сажи. Для использования теплоты дымовых газов в топке в борове котельной установки устанавливают на ряду с водоподогревателем еще и воздухоподогреватель.

В новейших котельных установках высокого давления и большой паропроизводительности с применением предварительного подогрева питательной воды отборным паром запас тепла в уходящих газах может быть использован по преимуществу для подогрева воздуха, поступающего в топку, как первичного, так и вторичного. Подогрев воздуха может быть выполнен при подогреве воды теплотой уходящих газов, так как одна установка водоподогревателя

в борове не использует всего запаса тепла. Подогрев воздуха, подаваемого в топку, необходим еще и потому, что в экранных топках, т. е. в таких, стенки которых охлаждаются системами труб для предохранения обмуровки топки от действия высокой температуры, в таких топках температура может понизиться. Повышение же температуры вторичного воздуха способствует сохранению темпе-

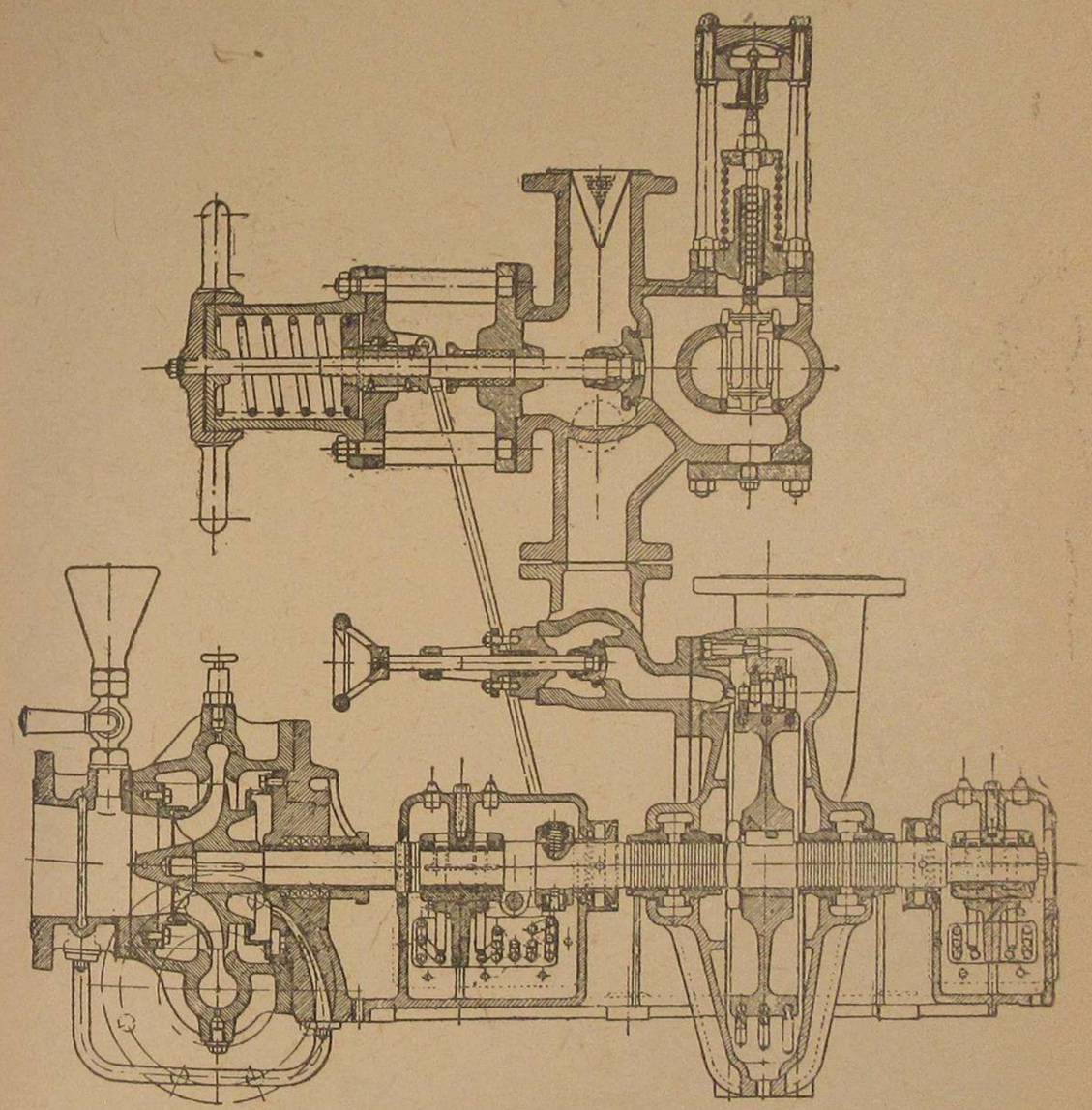


Рис. 50. Питательный одноступенчатый насос Л. М. З. ТН—О—80, 100, 150.

ратуры в камере горения, что имеет существенное значение, как было сказано выше, для сохранения полноты сгорания. Нагретый воздух при возможности регулировать температуру нагрева улучшает самый процесс сгорания, повышая в уходящих газах содержание углекислоты на 1—3%, и ускоряет получение необходимой температуры нагрева топочной камеры. При повышении начальной температуры горения в топке увеличивается коэфициент прямой отдачи и разность температур излучающей поверхности топлива и

стенки котла. Эти обстоятельства оказывают влияние на повышение паропроизводительности котла и увеличивают полезность всей установки.

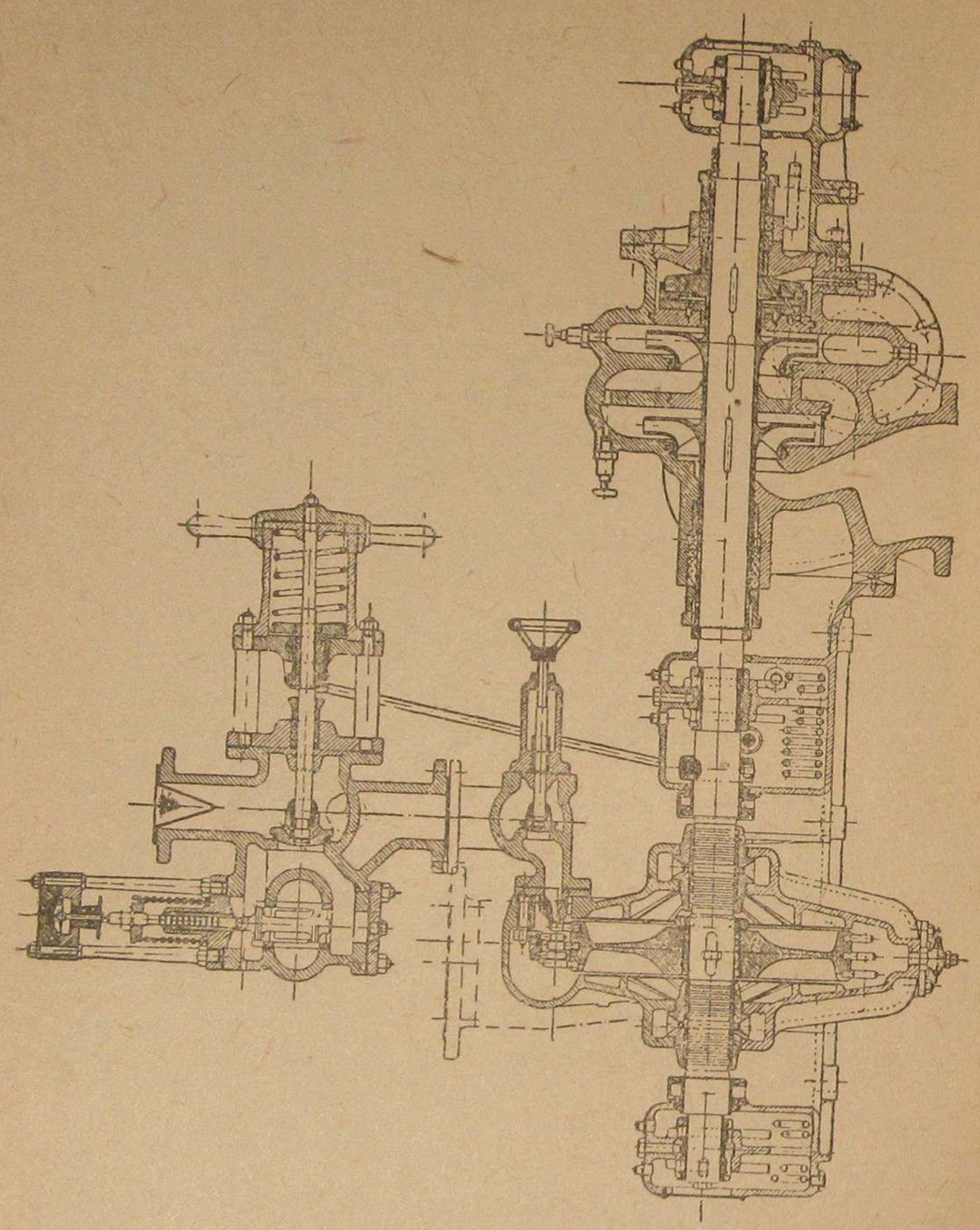


Рис. 51. Питательный двухступенчатый насос ТН—Д—150.

Преимущества подогрева воздуха котельными газами могут быть сведены к следующим:

1) Повышение теплового эффекта процесса горения, высокие температуры и более совершенное горение.

2) Высокая удельная паропроизводительность поверхности нагрева.

3) Понижение температуры уходящих газов.

Таблица 35

Основные данные о турбонасосах

	Тип турбонасоса	Производительность м³/час	Напор кг/см²	Температура воды	Давление пара кг/см²	Температура пара	Противодавление кг/см	К пост. для опред. расхода пара	Число оборотов	Вес кг
Турбонасосы одноступенчатые	ТН—О—80	до 50	10—22	0° — 90°	10 — 20	200 — 350°	1 — 1,5	170	4 500—6 500	550
	ТН—О—100	40 — 100	10—25					160	4 500—6 500	600
	ТН—О—150	90 — 150	10—25					150	3 500—5 500	900
Турбонасосы двухступенчатые	ТН—Д—100	до 150	25—45	0° — 110°	20 — 32	250 — 425°	1 — 2,5	120	3 500—5 500	1 300
	ТН—Д—150	150 — 250	25—45					110	3 500—4 500	1 800
	ТН—Д—250	250 — 500	25—50					85	3 500—4 500	4 500

4) Уменьшение потерь теплоты от химического и механического недожога.

5) Упрощение формы объема камеры горения в топке при сокращении ее основания.

6) Улучшение циркуляции воды, вследствие усиления восприятия теплоты.

7) Экономное расходование топлива, вследствие улучшения процесса распространения теплоты от горящего топлива и горячих газов к поверхности нагрева.

Повышение полезности котельной установки есть следствие всех перечисленных преимуществ подогрева воздуха.

Самое существенное преимущество воздухоподогревателя при одинаковой теплопроизводительности с водоподогревателем—это его меньшая поверхность нагрева. Для установки водоподогревателя необходима температура уходящих газов не ниже 200—250°, так как иначе газы не будут использованы в водоподогревателе. Для подогрева воздуха достаточно иметь температуру уходящих газов не ниже 150°.

Поэтому в котельных установках на ряду с водоподогревателем можно поставить в борове и воздухоподогреватель. Сперва ставят водоподогреватель, а за ним в борове ближе к трубе воздухоподогреватель.

Установка водоподогревателя может быть выполнена совместно с воздушным, как это было указано выше, в котлах с колосниковыми решетками, которые не пригодны для слишком высоких температур подогрева воздуха. При всякой температуре питательной

воды необходимо стремиться к ее повышению, а потому водоподогреватель должен быть установлен в борове ближе к котлу, а воздушный подогреватель должен быть установлен так, чтобы его поверхность не пострадала от выделения влаги из топочных газов и не подвергалась разъеданию.

В установках высоких давлений удорожается установка водоподогревателя, поэтому выгоднее использовать газы для подогрева воздуха, а подогрев воды—производить паром, так как устройство водоподогревателя зависит от повышения давления, а воздухоподогревателя—не зависит.

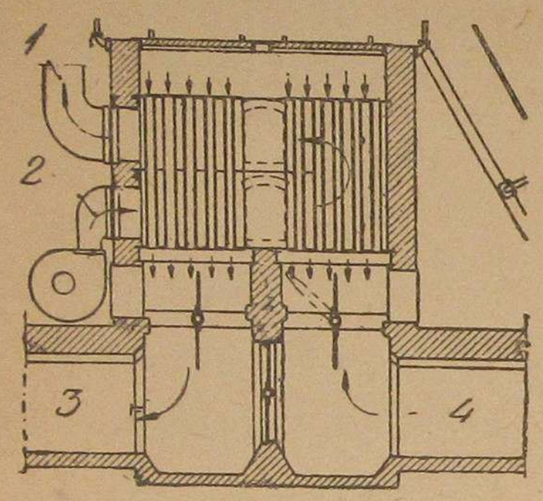


Рис. 52. Подогреватель воздуха „Б-В", дымовые газы внутри трубок, воздух снаружи, перекрестный ток. *1*—подача нагретого воздуха, *2*—холодный воздух, *3*—газы в трубу, *4*—газы из котла.

Установка воздухоподогревателя имеет, конечно, свои недостатки, которые все-же не превышают положительных качеств, сообщаемых котельной установке устройством воздухоподогревателя. Независимо от конструкции воздухоподогревателя все недостатки этого устройства могут быть сведены к следующим. Все воздухоподогреватели с течением времени загрязняются,—поверхность нагрева подогревателя покрывается пылью и сажей. При охлаждении дымовых газов до точки росы на поверхности воздухоподогревателя осаждаются водяные пары, которые с пылью и сажей образуют корку, затрудняющую передачу тепла. Образование на поверхности воздухоподогревателя капель воды при наличии в угле серы вызывает образование сернистой кислоты, которая разъедает стенки воздухоподогревателя, в особенности при этом расстраиваются швы воздухоподогревателя, которые, вообще, не обладают герметической плотностью. Вследствие уменьшения плотности швов, понижается разрежение в газопроводах и падает давление в воздухопроводе.

При повышении температуры материал воздухоподогревателя подвергается постепенному выгоранию короблению от тепловых напряжений.

Воздухоподогреватели делятся на две группы:

1) Воздухоподогреватели с особыми раздельными путями для воздуха и газов, при чем теплота распространяется от газов к воздуху через стенку. Эти воздухоподогреватели называются поверхностными или рекуператорами.

2) Воздухоподогреватели с переменным течением потока газов и воздуха по одному и тому же пути. При движении потока газов в воздухоподогревателе происходит отдача тепла стенкам канала, а затем при перемещении воздуха в тех же каналах теплота, воспринятая стенками канала, переходит в воздух. Такие воздухоподогреватели называются восстановителями или регенераторами.

Поверхностные воздухоподогреватели изготовляются следующих типов. Трубчатые, в которых газ протекает по трубам с диаметром от 60 до 100 мм при длине 2—5 м, воздух протекает между газовыми трубками противотоком или пересекающим током в коробке, в которой установлены газовые трубки. На рис. 52 показано устройство трубчатого воздухоподогревателя („Бабкок и Вилькокс"), в котором воздух подается вентилятором в пространство между трубками, где протекают топочные газы, воздух проходит пересекающим током. Трубки завальцованы в горизонтальные стенки подогревателя. На рис. 53 показана комбинированная установка. Здесь дымовые газы проходят в трубках и в особой камере, вне проходов воздуха, который протекает противотоком около внутренних дымовых трубок.

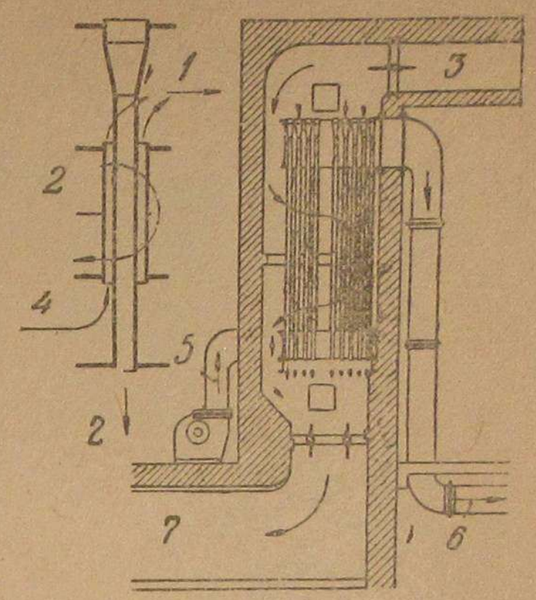


Рис. 53. Подогреватель воздуха „Б-В"; дымовые газы во внутренних трубках и вне воздушных трубок; противоток. *1*—нагретый воздух, *2*—дымовые газы, *3* дымовые газы из котла, *4*—холодный воздух, *5*—холодный воздух, *6*—горячий воздух, *7*—дымовые газы в трубу.

В этом устройстве осуществляется большая поверхность нагрева, так как воздушные трубки омываются снаружи и внутри горячими газами. Эти подогреватели изготовляются из стальных частей. Для изготовления воздухоподогревателей применяют также чугун перлитовой структуры, выдерживающий температуру до 700°. На рис. 54 показан чугунный воздухоподогреватель системы Фёге (Föge). Воздух проходит по трубкам с толщиной стенок от 4 до 10 мм. Трубки имеют каплеобразное сечение для уменьшения сопротивления движению нагретых газов, протекающих между ними в поперечном направлении. На рис. 55 показан пластинчатый воздухоподогреватель. Пластинчатые или карманные воздухоподогреватели состоят из листов, изогнутых в виде плоских плит, внутрь которых проходит воздух, а между двумя соседними плитами проходят газы. Между двумя соседними плитами ставятся распорные вставки, обеспечивающие равные расстояния между плитами. Несколько таких плит соединяются при помощи рамы в отдельный блок. Каждая плита сваривается в от-

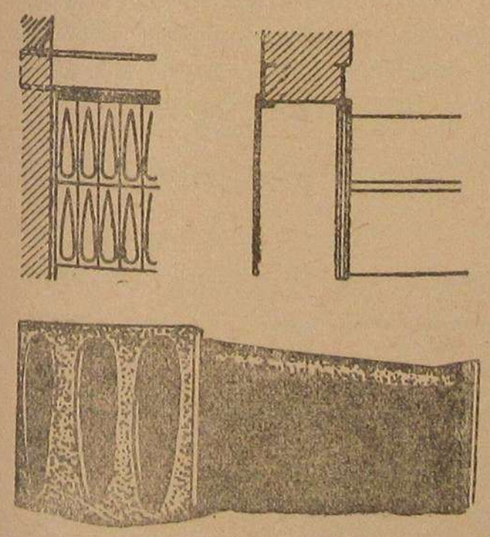


Рис. 54. Трубчатый воздухоподогреватель Фёге. Материал—чугун.

дельности по швам. Плотность сварки элементов воздухоподогревателя измеряется давлением в 200 мм вод. столба. В пластинчатых или карманных воздухоподогревателях утечка воздуха при испытании оказалась настолько мала, что, пересчитывая на содержание CO_2 в дымовых газах, понижение его оказалось 0,17%,—тогда как была бы допустима и вдвое большая величина—0,34%. Листы берутся толщиной от 3 до 4 мм. Мощность вентилятора для подачи воздуха в воздухоподогреватель, в зависимости от сопротивления и количества нагретого воздуха даны в таблице 36.

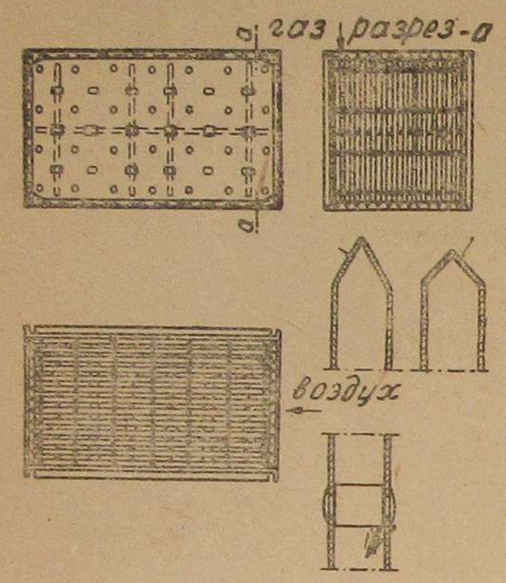


Рис. 55. Элементы карманчатого воздухоподогревателя „Штейнмюллер".

Воздухоподогреватель системы ЦККБ[1] состоит из железных листов одинаковых размеров, стянутых болтами с определенными между ними промежутками, и принадлежит к группе рекуператоров; толщина листов—2 мм.

Отдельные элементы соединяются в вертикальном направлении непосредственно или при помощи особых промежуточных вставок с лазами и обдувочными устройствами (рис. 56).

Весь воздухоподогреватель может быть собран из 1—8 групп, при чем группа может состоять из 1—5 кубов. Воздух в каждой группе движется, меняя направление движения на 180° столько раз, сколько в ней соединено кубов, а газы проходят через все кубы, не изменяя направления, по вертикали вниз или вверх, при чем воздух и газ могут быть разделены на несколько параллельных потоков. Между группами помещают канал для холостого хода газов и воздуха, с помощью которого можно воздух частично перепускать или же смешивать горячий воздух с холодным.

Воздухоподогреватель системы ЦККБ изготовляется трех типов, отмеченных буквами *A*, *B* и *C*.

Таблица 36

Расход энергии на вентилятор в пластинчатых воздухоподогревателях

Сопротивление в мм вод. ст.	50	100	150	200	250	300
Нагретый воздух	Расход энергии на валу в квт/1000—кг пара-час.					
100% количество воздуха для горения	0,32	0,63	0,95	1,47	1,58	1,90
85% количество воздуха для горения	0,27	0,54	0,81	1,25	1,34	1,61

[1] Подробности см. „Энергооборудование СССР".

Воздухоподогреватели типа *A* с поверхностью нагрева в одном кубе 144 м² до 360 м² комбинируются по высоте (рис. 57). Воздухоподогреватели типа *B* и *C* с поверхностью нагрева в одном кубе 141 м² до 363 м². Кубы в них складываются по два по направлению прохода газов или воздуха, образуя куб увеличенных

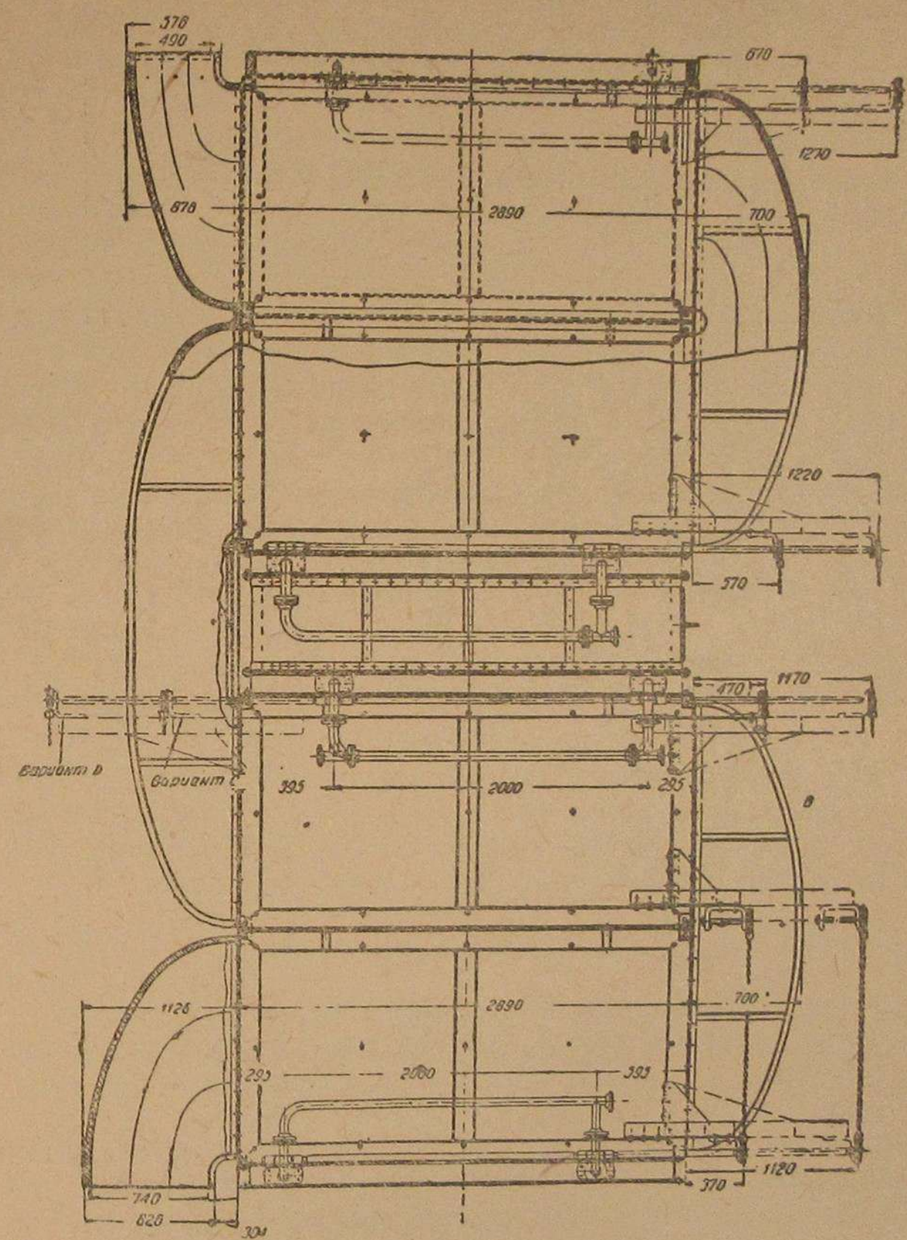


Рис. 56. Воздухоподогреватель системы ЦККБ. Конструкция сборки кубов между собой.

размеров. Такие кубы соединяются по высоте, образуя группу, и затем целый воздухоподогреватель высокой производительности. Средний вес куба на 1 м² поверхности нагрева равняется приблизительно от 19 до 21 кг, а средний вес подогревателя на 1 м² поверхности нагрева составляет 25 кг со всеми соединительными частями, каркасом, кожухом и обходными боровами. Сопротивление

для прохода $\frac{\text{воздуха}}{\text{газа}}$ в группе из четырех кубов типа А определяется по формуле

$$S = \frac{85}{40}\left(\frac{W^2}{10}\right) \text{ мм вод. ст.},$$

а для типов *B* и *C* по формуле:

$$S = \frac{80}{50}\left(\frac{W^2}{10}\right).$$

Кроме железных пластинчатых воздухоподогревателей, заводы СССР изготовляют чугунные пластинчатые воздухоподогреватели типа „Каблиц". Основу этого прибора составляет чугунная ребристая плита с поверхностью нагрева по газовой стороне 4,8 м². Вид воздухоподогревателя представлен на рис. 58. Очистка поверхности воздухоподогревателя от сажи и золы производится обдувочным аппаратом, вделанным в общую горизонтальную распределительную трубу. Против каждой газовой коробки в раме устраивают лючки для прохода трубок обдувочного приспособления.

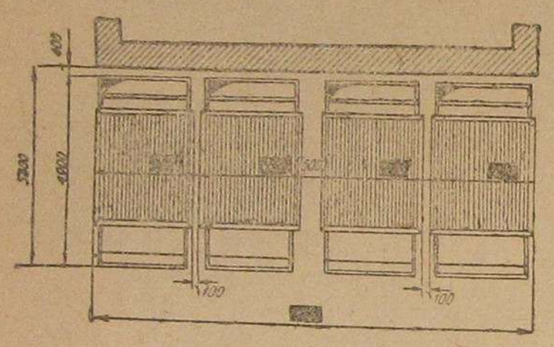


Рис. 57. Сочетание кубов типа А в воздухоподогревателе.

Наиболее подходящими значениями коэфициента теплопередачи воздухоподогревателя ЦККБ $k = 8 - 9$, при скоростях воздуха $W = (9-10)$ и $(5-6)$ м/сек. Сопротивление воздухоподогревателя может быть определено по приблизительной формуле:

$$\Delta S = 0{,}07\, W^2 n.$$

Здесь n—число кубов и W (м/сек.)—средняя скорость воздуха в каналах кубов, и на местные сопротивления прибавляется 1,5—3 мм вод. ст. на каждый куб на проход газов и воздуха в соединительных коробках.

Поверхностные воздухоподогреватели должны обладать практически достижимой совершенной плотностью нагревательных поверхностей и швов, которыми они соединяются. Практически трудно добиться совершенной плотности при их незначительной толщине. В практике американских станций установлено, что степень загрязнения и необходимость очистки возрастает с неплотностью соединений. В одной из станций были установлены пластинчатые, трубчатые и вращающиеся подогреватели воздуха. Испытание и контроль их работы показали, что потери в пластинчатых воздухоподогревателях были не выше 5%, потери в трубчатых—оказались 7%. Конструкции воздухоподогревателей с воздушными карманами, соединенными между собой сменными частями, страдают, вследствие такого устройства, неплотностью, а, следовательно, пропусками.

В таких устройствах приходится делать сменными целые отделения—секции воздухоподогревателя и не прибегать к замене отдельных частей, так как пригонка их к остающимся крайне затруднительна. Хорошо устроенные и тщательно изготовленные элементы воздухоподогревателя могут быть достаточно плотны и по одному испытанию оказалось, что количество воздуха, проходившее в сторону дымовых газов, не превышало 0,7 на 1000, и то только при сильном нагреве стенок газами высокой температуры.

Секции воздухоподогревателя должны быть испытаны до установки на плотность под давлением воздуха от 150 до 400 мм вод. ст., подаваемого компрессором с производительностью вдвое больше той, на которую рассчитан воздухоподогреватель. Объем трубчатых подогревателей на $^1/_3 - {}^2/_3$ больше объема пластинчатых подогревателей такой же производительности.

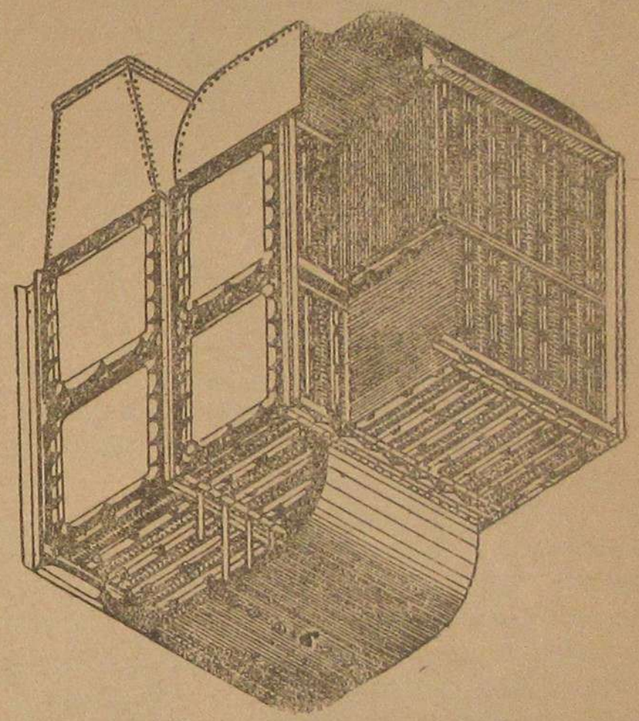


Рис. 58. Общий вид воздухоподогревателя системы „Каблиц".

Если листы воздухоподогревателя склепаны, то расстояние между заклепками должно быть незначительное, при малейшем искривлении швов образуются щели, в которые будут протекать газы.

Воздухоподогреватели поверхностного типа очень страдают от разъедания стенок, которое происходит при температуре точки росы, и от продолжительности потока воздуха, а, следовательно, воздействия кислорода на металл. Затем оказывают влияние на разъедание температура листов и соотношение поверхностей нагрева.

Процесс разъедания зависит от свойств продуктов распада металла. Иногда ржавчина бывает крепкая, сухая и плотно прилегающая к поверхности пластин или трубок воздухоподогревателя, а иногда рыхлая, влажная и легко отваливающаяся. Первая предохраняет стенки воздухоподогревателя, а вторая—способствует разрушению, так как при отщеплении слоев ржавчины открывающиеся при этом новые слои подвергаются разъеданию при медленном протекании воздуха через неплотности со стороны газов.

Конструкция воздухоподогревателя должна быть такая, чтобы можно было наращивать его в случае увеличения установки, так как иначе пришлось бы начальную установку менять полностью. Такое устройство особенно важно при использовании отборного пара из паровых турбин для подогрева питательной воды. Уста-

новка воздухоподогревателя должна быть приспособлена для выключения из потока газов, если возможно чрезмерное повышение выходной температуры воздуха. Кроме того, должен быть возможен частичный подогрев потока воздуха в воздухоподогревателе. Некоторое количество газов при этом должно направляться в воздухопровод для регулирования там температуры, во избежание наступления точки росы в воздухоподогревателе. Устройство парового очистителя и сопла для обдувания поверхностей воздухоподогревателя показано на рис. 59—паровой обдуватель с рядом сопел и подводящим трубопроводом; для перемещения по стрелке служит передача с маховичком и цепью.

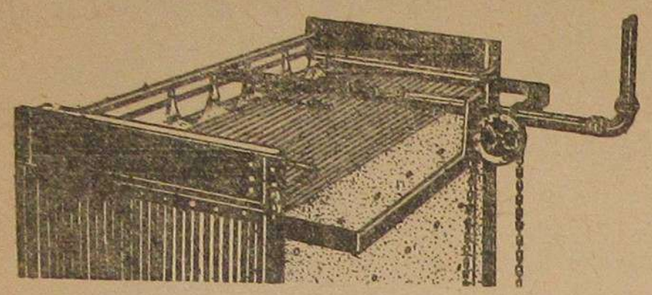


Рис. 59. Сдуватель сажи и пыли в воздухоподогревателе. Общий вид установки.

К группе восстановительных или регенеративных воздухоподогревателей принадлежит воздухоподогреватель Юнгстрема, показанный на рис. 60. Он состоит из цилиндрической коробки, в которой вращается ротор с малой скоростью 3—4 об/мин. Ротор составлен из набора металлических элементов, которые воспринимают теплоту топочных газов.

На роторе укреплен зубчатый венец для его вращения при помощи шестерни, сообщающей движение от электродвигателя. В малых конструкциях мощность электродвигателя—1 л. с., в больших—2—3 л. с. Коробка, в которой помещен ротор, делается сварная. Ротор состоит из рамки, сделанной из профильного железа, и разделен на ряд секторов, в которых установлены теплособирающие листы волнистого железа. Толщина листов 0,5—0,65 мм. Эти листы установлены так, что между волнами листов образуются многочисленные каналы для прохода воздуха или газов. Высота вращающейся части равна от 500 до 700 мм Разделение газовой и воздушных частей создается установкой пружинящих листовых уплотнительных полосок на нижних краях перегородок, которые отделяют сектора. Эти полосы скользят при вращении по широкой поверхности разделительного ящика, так что при прохождении ротора над потоком воздуха или газов ни один из секторов не может быть заполнен одновременно газом и воздухом.

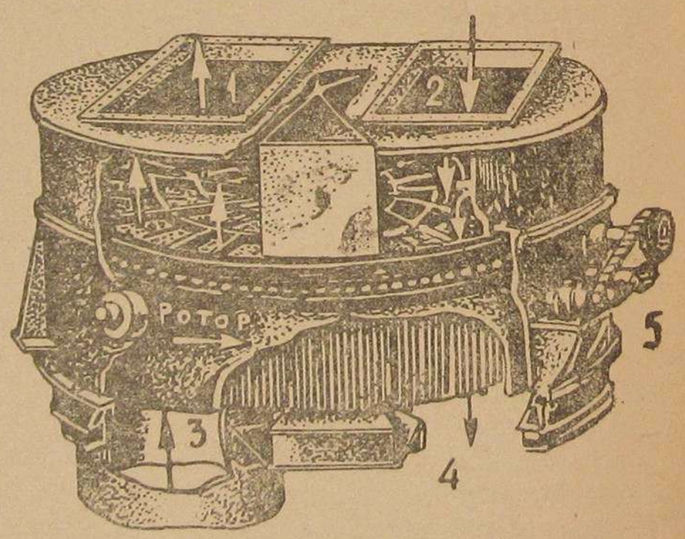


Рис. 60. Воздухоподогреватель „Юнгстрема“ *1*—охлажденные дымовые газы к трубе, 2—вход холодного воздуха, *3*—горячие дымовые газы из котла, *4*—горячий воздух к топке, *5*—привод ротора.

Горячие газы проходят по стрелке *3* (рис. 60), в ячейках ротора они отдают металлу стенок свое тепло и затем по стрелке *1* уходят, уже охлажденные, в выпускную трубу. Холодный воздух по стрелке 2 вступает в нагретые ячейки ротора, воспринимая от них тепло, далее по стрелке *4* идет по каналу в топку. На чертеже показана передача от электродвигателя к ротору, обозначенная *5*. В верхней части чертежа показана разделительная перегородка трехугольной формы, отделяющая газы и воздух. Для уменьшения гидравлических потерь потока нагретого воздуха при протекании через нагревательные элементы в случае загрязнения (рис. 61) проходным каналам придают плоско-четырехугольное сечение *1*, вместо прежней трехугольной *2*. Расстояние между листами определяется продольными желобками, сделанными в листах и идущими в направлении движения газов. Волны листов образуют с направлением газов угол в 30°. Такое устройство нагревательных ячеек удобно для очистки поверхностей каналов от сажи, вместе с тем увеличивается продолжительность соприкасания газов со стенками и возрастает теплопередача.

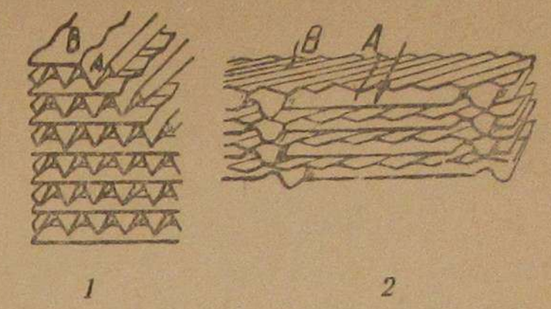


Рис. 61. Элементы воздухоподогревателя „Юнгстрема“. *1*—новая форма проходных каналов, *2*—старая форма проходных каналов.

При испытании одной из новых установок парового котла (1000 м² и 52 кг/см² ман.) оказалось, что вся поверхность нагревательных ячеек чистая и никаких следов разъедания заметно не было. Потеря воздуха не превышала 5%.

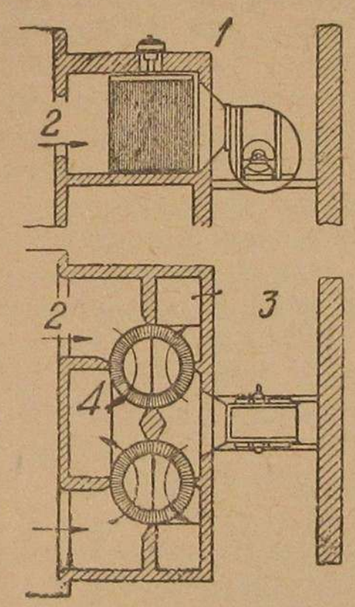


Рис. 62. Вентиляторный воздухоподогреватель. *1*—привод, *2*—дымовые газы из котла, *3*—нагретый воздух в топку, *4*—охлажденные дымовые газы в трубу.

Регенеративные воздухоподогреватели иных систем показаны на рис. 62 и 63. В первом—воздух подается вентилятором в ротор с одной стороны, а газы из топки проходят в другую диаметрально противоположную половину. Во втором устройстве газы проходят через нагревательную систему элементов, представляющих бесконечную цепь, а воздух, подаваемый вентилятором, проходит через них в приемной камере, где происходит теплообмен.

Для правильного действия воздухоподогревателя необходимо исполнять следующие требования:

1) Производить очистку поверхности тепловоспринимающих ячеек, вращающихся воздухоподогревателей, регенераторов или

газовых каналов рекуператоров струей воздуха с песком или паром по возможности чаще.

2) Во избежание получения точки росы в газах и устранения осадки влаги на стенках ротора необходимо температуру засасываемого воздуха поднимать выше точки росы частичным подводом нагретого воздуха в вентилятор. Это может быть достигнуто частичной прибавкой горячих топочных газов при предварительной их фильтровке.

3) Для проверки плотности перегородки между полостями воздуха и газа необходимо во время действия воздухоподогревателя проверять содержание CO_2 за воздухоподогревателем и перед ним.

4) Для сохранения пластинчатых и трубчатых воздухоподогревателей из железа от действия высоких температур температура входящих газов не должна быть выше 500°.

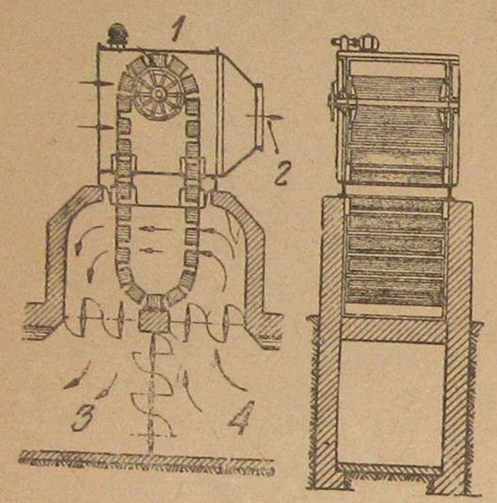


Рис. 63. Воздухоподогреватель с цепной системой. *1*—привод, *2*—горячий воздух в топку, *3*—дымовые газы в трубу, *4*—газы из топок.

5) При появлении разъедания стенок воздухоподогревателя необходимо немедленно сменить поврежденный элемент; проверку же состояния воздухоподогревателя производить не более, чем через 1000 часов работы.

6) Прежде включения воздухоподогревателя осторожно и медленно прогреть его, пропуская поток газов при помощи заслонки.

7) Включение воздухоподогревателя следует производить после достижения полной напряженности котла, когда в топке процесс горения разовьется полностью и количество газов будет наибольшее, которые будут поступать со скоростью 10—12 м/сек. Выключение производится при понижении нагрузки котла.

8) Если температура уходящих газов понижена, необходимо часть воздуха отводить до подогревателя и подавать в нагнетательный трубопровод при низкой температуре.

9) При длительной остановке воздухоподогревателя следует все пути газа в нем облить слабым раствором соды и после просыхания смазать маслом. Все дверцы и люки оставить открытыми для облегчения прохода сквозного воздуха в целях просушки воздухоподогревателя.

Подогрев воздуха следует доводить до возможно более высокой температуры, в особенности при сжигании влажного топлива, с чем приходится иметь дело в деревообрабатывающей промышленности. Отходы лесопиления, поступающие в котельную, содержат влажность в количестве 50—55%, а иногда и выше, до 62%. Сжигание столь влажного топлива крайне затруднительно, так как в топке затрачивается много тепла на испарение влажности. Хотя в других отраслях деревообработки—в фанерном и столярном производствах отходы не содержат столько влаги, но в больших комбинированных предприятиях всегда будут преобладать отходы лесопильного цеха с большой влажностью. Предел подогрева воздуха определяется, главным образом, температурой плавления золы, но так как температура плавления древесной золы очень высока, достигая 1500—1600°, то высокий подогрев воздуха в топках для древесины не представляет с этой стороны никакой опасности. Колосниковые решетки с чугунными колосниками выдерживают надежно температуру подогрева воздуха до 350°. Но железные части механических решеток с движущимися колосниками не выдерживают высоких температур, вследствие порчи их; в таких топках температура подогрева не должна быть выше 250°. В экранных топках температура подогрева воздуха может быть доведена до 420—450°. Изменение температуры подогрева воздуха производится при помощи обводного канала, по которому направляется некоторая часть топочных газов для уменьшения нагрева воздухоподогревателя. Этим же обводным каналом пользуются при растопке и остановке котла, когда недостаточно нагретые или уже охладившиеся газы несут с собой сажу и частицы золы. Понижение температуры подогрева воздуха достигается добавлением холодного воздуха при помощи особого подвода в дутьевой вентилятор.

В значительном большинстве топочных устройств следует подогревать весь воздух, расходуемый в течение процесса горения. Установка воздухоподогревателя при котле повышает его производительность и, следовательно, увеличивается потребность в воздухе, но, принимая во внимание увеличение количества CO_2 в продуктах сгорания (на 1—3%), избыток воздуха может быть несколько понижен. Температура газов за воздухоподогревателем не должна быть ниже 150—180°.

XV. ТЯГОВЫЕ УСТРОЙСТВА В КОТЕЛЬНОЙ

Для правильного течения процесса горения в топке необходимо непрерывное удаление продуктов горения топлива и приток свежего воздуха. Перемещение газов из топки в дымоходы и приток воздуха через колосниковую решетку обеспечивается тягой, которая вызывается дымовой трубой или дымососом. При устройстве дымовой трубы разрежение в топке и далее в дымоходах и в самой трубе создается, вследствие разности веса и столба холодного воздуха перед топкой с высотой, равной высоте трубы и столба горячих газов в трубе. Такая тяга называется естественной в отличие от искусственной, создаваемой дымососом. Соединение дымовой трубы с вентиляторной тягой называется смешанной тягой. Естественная тяга, создающаяся дымовой трубой, не требует особого присмотра и ухода, вместе с тем отвод газов высокой трубой не заражает окружающую местность продуктами горения: газами, сажей и копотью. Тяга дымососами или искусственная тяга, несмотря на выпуск дымовых газов в более низких слоях атмосферы по сравнению с дымовыми трубами, имеет крупное преимущество перед первым способом; прежде всего по стоимости дымовые трубы боль-

шой высоты обходятся дороже дымососных установок, а затем при дымососе имеется возможность произвольного усиления и ослабления тяги и регулировки процесса в топке. Возможность управления тягой особенно важна в случаях работы теплосиловой станции с переменным режимом, требующим резких переходов в расходе энергии. Искусственная тяга может применяться в крупных теплосиловых установках—районных станциях или в больших комбинатах с большим расходом энергии. Выбор того или другого рода тяги зависит от сопоставления расходов энергии на вентиляционную установку для дымососа или расхода на погашение стоимости трубы.

Стоимость кирпичной дымовой трубы зависит от стоимости кирпича и фундамента, цен на рабочие руки и определяется высотой и величиной диаметра. Обычные высоты дымовых кирпичных труб—40—45 м, требуемые условиями общественного здравоохранения; но часто можно видеть в промышленных районах трубы 60—70 м.

Искусственная тяга дымососами производится почти исключительно вентиляторами с электрическим приводом. По способу действия дымососы делятся на две группы: непосредственного и косвенного действия. Дымосос непосредственного действия устанавливается в борове так, что все газы проходят через него; дымососы косвенного действия устанавливаются иначе: вентилятор подает воздух в трубу при помощи особого эжектора, который устанавливается на пути газов так, что струя, выбрасываемая из сопла, движется по направлению газов, и струя воздуха засасывает газы, сообщая им бо́льшую скорость.

Система дымососа непосредственного действия требует расхода энергии в 2,5 раза меньше, чем система косвенного, а полезность этой установки—60%, тогда как для другой—25—30%. Но вместе с тем стоимость установки непосредственного действия дороже, требует большей площади, что отражается на площади котельной, и уход за ней требует большой внимательности, так как при большом числе оборотов вентилятора подшипники требуют специального охлаждения. Перегрев подшипников при порче или недостатке охлаждения вызывает остановку всей котельной установки. Постоянное нахождение вентилятора в потоке нагретых дымовых газов вызывает износ его лопастей и, следовательно, излишние расходы на ремонт.

Разрежение в топке ($p_т$) зависит от сопротивления колосниковой решетки, слоя топлива и его рода и от степени напряженности работы котла.

Разрежение в топке колеблется от 1—12 мм вод. ст.

При полном открытии заслонок, через которые подается воздух в топку, разрежение в топке $p_т$ будет следующее при различных топливах и различных напряжениях колосниковой решетки:

для кускового антрацита на колосниковой решетке с дутьем при $\frac{B}{R}$ = 130—180 кг . . . . . 1— 3 мм вод. ст.;

для каменного угля, не спекающегося при $\frac{B}{R}$ = 90—120 кг. . . . 2— 3 мм вод. ст.;

„ „ „ спекающегося „ $\frac{B}{R}$ = 90—120 „ . . . 3— 5 „ „ „

„ подмосковного курного орешкового угля на колосниковой решетке с дутьем при $\frac{B}{R}$ = 250—350 кг. . . . . 1— 3 „ „ „

„ подмосковного курного угля-мелочи на колосниковой решетке с дутьем при $\frac{B}{R}$ = 200—250 кг. . . . . 1— 3 „ „ „

„ подмосковного курного орешкового угля на ступенчатой решетке без дутья при $\frac{B}{R}$ = 250—400 кг. . . . . 6—12 „ „ „

„ торфа (W = 50%) в шахтных топках при $\frac{B}{R}$ = 300—600 кг. . 5—12 „ „ „

„ торфа (W до 50%) в шахтных цепных топках при $\frac{B}{R}$ = 500 кг. . 8— 9 „ „ „

„ дров (W = 35%) на колосниковой решетке при $\frac{B}{R}$ = 400 кг. . 3 „ „ „

„ дров в жаровой трубе в топке, заполненной топливом при $\frac{B}{R}$ = 800 кг. . . . . 6 „ „ „

„ дров (45%) в шахтных топках с наклонным зеркалом горения при $\frac{B}{R}$ = 500 кг. . . . . 7 „ „ „

„ мазута . . . . . 2— 3 „ „ „

Сопротивление в дымоходах:

Жаротрубных и горизонтальных водотрубных котлов	6—7	мм вод. ст.
Вертикальных водотрубных котлов	8	„ „ „
Пароперегревателей	1—3	„ „ „
Золоуловителей	1—3	„ „ „
Водоподогревателей	1—6	„ „ „
Горизонтального прямого борова на каждые полные 25 м	2	„ „ „

При установке пароперегревателей и водоподогревателей сопротивление на колосниковой решетке увеличивается на 5—10 мм.

При установке батареи котлов потеря тяги в борове подсчитывается для котла, наиболее удаленного от трубы. Каждый присоединяемый к борову котел дает потерю тяги 1,3 мм вод. столба.

Разрежение, вследствие сопротивления в котле, выражается формулой:

$$p_к = \mu \left(\frac{D}{H_{кот.}}\right)^2 \cdot \alpha^2 \text{ мм вод. ст.}$$

В этой формуле:

μ—коэфициент, зависящий от устройства топки и котла и способа обмуровки котла; для жаротрубных и горизонтальных водотрубных котлов μ = 0,006—0,007; для вертикальных водотрубных котлов μ = 0,005,

D—полный расход пара в кг/час,
$H_{кот.}$—поверхность нагрева котла, м²,
α—коэфициент избытка воздуха.

У вертикальных водотрубных котлов сопротивление дымоходов может быть определено по формуле:

$$p_к = 0{,}004 \left(\frac{D}{H_{кот.}}\right)^2 - 2 \text{ мм.}$$

У водотрубных горизонтальных котлов при напряженности поверхности нагрева 35—40 кг/м² сопротивление дымоходов, в среднем . . . . . $p_к = 5—7$ мм.

У водотрубных вертикальных котлов при тех же условиях . . . . . $p_к = 8—9$ „

Общее сопротивление котельной установки равно сумме частных сопротивлений и должно быть увеличено на 5—10%, тогда получится разрежение у основания дымовой трубы, необходимое для расчета тяги:

$$p_{тр} = (1{,}05—1{,}10)\, p_к$$

При искусственной тяге, создаваемой вентилятором:

$$p_{тр} = p_{вен.} + p_{дымос.} = (1{,}05 + 1{,}10)\, p_{к.}.$$

Разрежение за котлом в борове у дымовой трубы имеет такие значения, в зависимости от рода топлива:

при сжигании	каменного угля	12—18 мм.
„ „	бурого „	18—22 „
„ „	влажного топлива (бурый уголь, дрова)	20—25 „

В зависимости от величины поверхности нагрева при сжигании различных топлив:

для котельных установок	300—1000 м²	—25—30 мм.
„ „ „	1000—1500 „	—30—35 „
„ „ „	1500—1800 „	—35—40 „
„ „ „	1800—2500 „	—40—48 „

Для устранения сильного засасывания воздуха разрежения в трубе у основания не делают больше 50 мм вод. ст.

Производительность дымососа может быть определена по формуле:

$$V_г = B \cdot V_t$$

$$V_t = V(1 + 0{,}00367\, t_г).$$

В этих формулах: $V_г$—объем газов, получающихся от сжигания B—кг топлива в м³,

B—расход топлива кг/час,
V—объем газов от сжигания 1 кг топлива м³/кг при 0° и 760 мм,
$t_г$—температура газов перед дымососом.

Определив сопротивление до основания трубы, прибавляют на разрежение в трубе от 0,5 до 2 мм вод. ст., так получается то разрежение, которое будет создавать дымосос, установленный перед дымовой трубой в борове.

Мощность на привод вентилятора дымососа определится по формуле:

$$N_{эл.\ дв.} = \frac{B \cdot v - (1 + 0{,}00367\, t) \cdot (p + 5)}{3600 \cdot 75\ \eta_{вен.\ дв.} \cdot \eta_{эл.\ дв.}}.$$

Полезность вентилятора —$\eta_{вен.\ дв.} = 0{,}35—0{,}45$.
„ эл.-двигателя —$\eta_{эл.\ дв.} = 0{,}75—0{,}80$.

Искусственная тяга может быть создана подачей воздуха в поддувало—под колосниковую решетку. Такое устройство называется нижне-дутьевой тягой, которая осуществляется нагнетанием воздуха при помощи вентилятора или пароструйного прибора в плотно закрытое поддувало. Подача воздуха в поддувало производится так, чтобы воздух равномерно распределялся по колосниковой решетке и избыточное давление в топке было 5—10 мм вод. ст. Таким образом, сжигают каменноугольную мелочь и коксовую пыль. Для дутья применяют, главным образом, вентиляторное дутье, на которое расходуется от 0,4 до 2% всего пара, тогда как пароструйные приборы требуют много пара, от 5 до 10% всего количества пара, даваемого котлом.

Преимущество этого способа состоит в том, что вентиляторы имеют меньшие размеры, так как воздух подается в поддувало при сравнительно низких температурах, а значит, при малом объеме. Вентиляторы, подающие воздух, имеют более простую конструкцию, чем отсасывающие газы, да еще при высоких температурах.

Существенный недостаток нагнетательного дутья состоит в том, что газы под влиянием нагнетания могут прорываться через неплотности в обмуровке и при открытии топочной дверцы, если дутье не остановлено, вылетает пламя, которое может причинить ожоги кочегарам. Для устранения этих недостатков обмуровка должна быть совершенно плотная и, в случае необходимости открыть топочную дверцу, должно быть устроено автоматическое выключение электродвигателя, который приводит в движение вентилятор.

Производительность вентилятора определяется по формуле:

$$V = 1{,}1 \cdot B \cdot V_{д.к.}.$$

Здесь B—кг/час—часовой расход топлива,

$V_{д.к.} \frac{м^3}{кг}$—действительное количество воздуха для горения 1 кг топлива; полученное количество воздуха, подаваемого для сжигания топлива, увеличивается на 10%.

Мощность электродвигателя для вентилятора:

$$N = \frac{V\,(p_к + 5)}{3600 \cdot 75\,\eta_{вен.}\,\eta_{эл.\,дв.}}.$$

В этой формуле: $(p_к + 5)$ мм вод. ст.—давление, необходимое под колосниковой решеткой, 5 мм—на потери в выходном патрубке,

$\eta_{вен.}$—полезность вентилятора = 0,35—0,45,
$\eta_{эл.}$—полезность электродвигателя = 0,75—0,80.

Обыкновенно мощность электродвигателя будет с запасом на 10—15%; скорость движения воздуха в канале, подводящем воздух под решетку, берут 10—12 м/сек.

Заводы Главэнергпрома, изготовляющие энергооборудование, строят дымососы и вентиляторы только для крупных котлов с поверхностью нагрева 2500, 1500, 1250, 850 и 650 м². Эти устройства еще не стандартизованы в виду новизны дела их строительства. Все дымососы и вентиляторы строятся по типу „Сирокко".

Принимая во внимание, что котельные установки лесной промышленности сравнительно небольшие по поверхности нагрева и только в крупных комбинатах могут достигать величины 650 м² в одном котле, можно полагать, что в случае необходимости поставить дымососную установку, таковая будет изготовлена по индивидуальному заказу.[1]

По мощности котельных установок деревообрабатывающих предприятий в настоящее время и может быть в течение долгого времени основным тяговым устройством будет дымовая труба. Способы расчета дымовых труб приводятся в руководстве по „Паровым котлам". Расчет высоты и выходного отверстия производится по опытным формулам, из которых наиболее достоверна формула Ланга.

Дымовая труба[2]

Размеры дымовой трубы зависят от того количества газов, которое проходит через нее при сжигании определенного количества топлива. Основные размеры дымовой трубы—высота и диаметр выходного сечения — находятся в тесной зависимости от величины разрежения в трубе у основания и изменения его к устью и к топке. Наибольшее значение разрежения, определяемое в мм, вод. столба, называется силой тяги трубы. Действительной тягой или статическим напором называется разность давлений или то разрежение, которое необходимо для перемещения столба дымовых газов, за вычетом сопротивления перемещению газов, зависящего от скорости.

Обозначим $\gamma_в$ — удельный вес воздуха (кг/м³).
$\gamma_г$ — „ „ газов („).

[1] Подробности о существующих типах см. „Электрооборудование СССР". Котлотурбинные заводы Главэнергпрома. Вып. II и Атлас фиг. 125—133.
[2] Die Wärme № 31, 1932.

Сила тяги или подъемная сила 1 м³ топочных газов будет представлена:

$$p = \gamma_в - \gamma_г \text{ мм вод. ст.}$$

Полная подъемная сила газов в дымовой трубе высотой H м будет

$$P = H\,(\gamma_в - \gamma_г) \text{ мм. вод. ст.}$$

При средней температуре воздуха $t^o_в$ удельный вес его будет:

$$\gamma_в = 1{,}293 \cdot \frac{273}{273 + t_в},$$

где 1,293—удельный вес при 0° и 760 мм. рт. ст.

Сухие продукты горения при 0° и 760 мм несколько тяжелее воздуха, так как в топочных газах содержится углекислота, удельный вес которой 1,979 кг/м³.

При сжигании влажного топлива продукты горения содержат значительное количество влажных газов, а потому удельный вес их будет легче, так как удельный вес паров воды 0,806 кг/м³ при 0° и 760 мм.

Дымовые газы среднего состава имеют удельный вес $\gamma \backsim 1{,}34$. Удельный вес продуктов горения каменного угля, в среднем, равен 1,35 кг/м³, а влажного топлива — сырого бурого угля или сырых дров — 1,26 кг/м³. Так как из всех составляющих частей топочных газов углекислота имеет большой удельный вес, то удельный вес газа возрастает вместе с количеством CO_2. Так, 1 м³ сухих газов весит при $CO_2 + O_2 = 19{,}5\%$.

При содержании	8%	CO_2—$\gamma_г$	= 1,332 кг
„ „	9 „	„ — „	= 1,337 „
„ „	10 „	„ — „	= 1,343 „
„ „	11 „	„ — „	= 1,349 „
„ „	12 „	„ — „	= 1,357 „
„ „	13 „	„ — „	= 1,359 „
„ „	14 „	„ — „	= 1,365 „
„ „	15 „	„ — „	= 1,370 „

Удельный вес дымовых газов может быть представлен формулой:

$$\gamma_г = 1{,}26 \backsim 1{,}35\,\frac{273}{273 + t_г}.$$

Удельный вес воздуха при—12° будет 1,35 кг/м³, т. е. он равен удельному весу дымовых газов при 0° и 760 мм, получающихся при сгорании каменного угля. Точно так же удельный вес воздуха при +7°—1,26 кг/м³ равен удельному весу газов, получающихся при сжигании сырого топлива: дров, бурых углей.

При сжигании каменного угля при температуре воздуха 12° полная подъемная сила газов в дымовой трубе будет:

$$P = H(\gamma_в - \gamma_г) = H\left(1{,}35 - 1{,}35\,\frac{273}{273 + t_г}\right) = 1{,}35\,H\,\frac{t_г}{273 + t_г},$$

а для дров $P = 1{,}26\,H\,\frac{t_г}{273 + t_г}$.

На рис. 64 представлена зависимость удельного веса дымовых газов при 0° от содержания CO_2. Точка C показывает наибольшее содержание $CO_2 = 18{,}7\%$ при полном сгорании каменного угля без избытка воздуха. Точка D этой диаграммы представляет наибольшее содержание углекислоты CO_2—19,4% при сжигании сырого бурого угля. По этим точкам можно определить на диаграмме удельные веса продуктов сгорания:

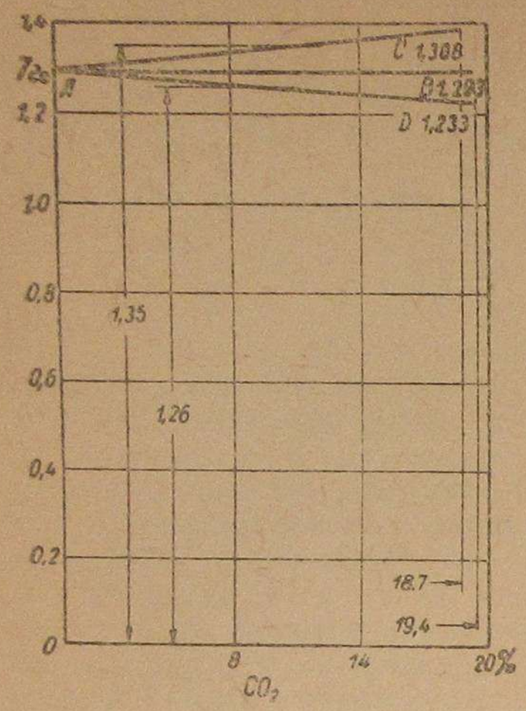


Рис. 64. График удельного веса дымовых газов при 0° γ газ.—в зависимости от содержания CO_2.

в точке C—$\gamma_г = 1{,}388$ кг/м³.

„ D—$\gamma_г = 1{,}233$ „

На диаграмме линия AC относится к сухим, а AD—к влажным газам.

Величина тяги в дымовой трубе зависит в наибольшей мере от температуры дымовых газов и окружающего воздуха.

В таблице 37 даны значения удельных весов воздуха $\gamma_в$ при температурах в пределах —30° и +40°.

Таблица 38 содержит величины удельных весов $\gamma_г$ — сухих и влажных дымовых газов от 50° до 500° и удельную силу тяги дымовых газов при тех же температурах и температуре воздуха —0° и 30° и 760 мм.

На рис. 65 показан удельный вес воздуха при температурах от —30° до +40°; линия AB соответствует $\gamma_0 = 1{,}293$, а точка $C\,t_в = -30°$ и $\gamma_в = 1{,}451$, а в точке $D\,t_в = +40°$ и $\gamma_в = 1{,}130$.

На рис. 66 по оси абсцисс AB нанесены температуры дымовых газов от 0° до 500° и по оси ординат удельный вес газов, по кривой—CD располагается удельный вес сухих газов, а по кривой $C_1 D_1$ — влажных газов. От точки A по оси ординат отложены значения удельных весов воздуха:

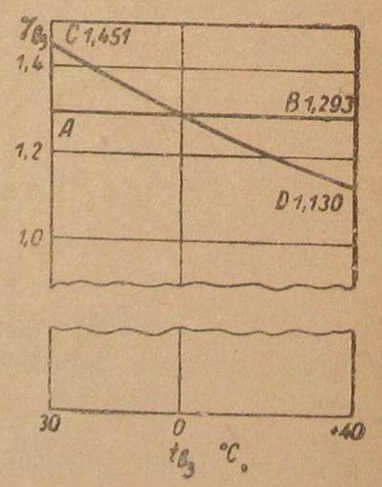


Рис. 65. График удельного веса воздуха; γ возд. в зависимости от температуры t возд. CD от—30° до + 40°.

при 0°—1,293,
„ +35°—1,165,
„ —20°—1,393

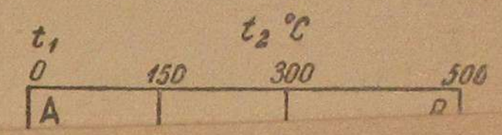
и через соответствующие точки проведены горизонтали. По этой диаграмме можно получить значения тяги, соответствующие

удельному весу. В котельной установке, у которой температура уходящих газов в борове колеблется от 150° до 300°, 1 м дымовой трубы создает:

при 0° воздуха статическую тягу от 0,4 до 0,7 мм;
„ 30° „ „ „ меньшую, чем в предшествующем случае на 30—18%;

Давление воздуха и влажность связаны между собой, так как возрастающая влажность воздуха вызывает уменьшение давления, но, вместе с тем, влажность воздуха и давление атмосферы влияют на дымовые газы.

Пусть удельная тяга при 760 мм давления равна p, тогда при каком-нибудь показании



Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
177	16 сверху	$p_д = \frac{h_б}{760} \cdot p.$	$p_б = \frac{h_б}{760} \cdot p.$	корр.

ой зависит от динамической потери в трубе, которая зависит от квадрата скорости движения газов (v)

$$h_{мм} = \gamma_г \frac{v^2}{2g}$$

и напишется так:

$$P_{д.\,т.} = Hp - \gamma_г \frac{v^2}{2g}.$$

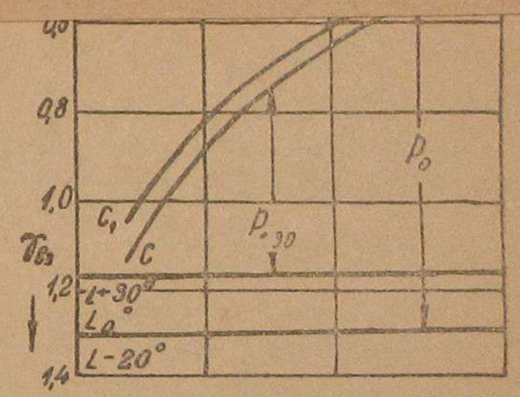


Рис. 66. График удельных весов дымовых газов в зависимости от их температуры $t_2 = 50 - 500°$; CD — для сухих и C_1D_1 — для влажных газов.

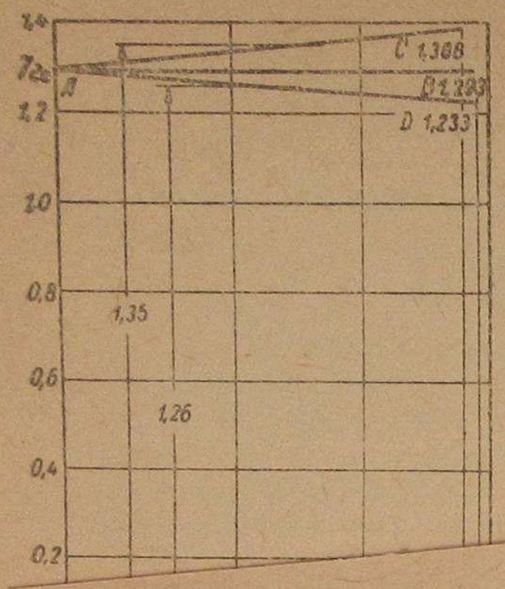
Рис. 67 представляет динамическую потерю и действительную тягу в зависимости от скорости газов для трубы высотой в 100 м при сухих дымовых газах с температурой 300° и при температуре воздуха +30°. В точке A диаграммы скорость $v = 0$ и действительная тяга равна статической.

Таблица 37

Удельный вес воздуха $\gamma_в$ в пределах температур $t_в = -30°$ и +40.

$t_в$ . . .	—30°	—20°	—10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°
$\gamma_в$ . . .	1,451	1,393	1,340	1,293	1,250	1,205	1,165	1,130
Разность	+0,158	+0,100	+0,047	0	—0,047	—0,088	—0,128	—0,163

На рис. 64 представлена зависимость удельного веса дымовых газов при 0° от содержания CO_2. Точка C показывает наибольшее содержание $CO_2 = 18{,}7\%$ при полном сгорании каменного угля без избытка воздуха. Точка D этой диаграммы представляет наибольшее содержание углекислоты CO_2—19,4% при сжигании сырого бурого угля. По этим точкам можно определить на диаграмме удельные веса продуктов сгорания:



в точке C—$\gamma_г = 1{,}388$ кг/м³.

„ D—$\gamma_г = 1{,}233$ „

... зависи-
... от содержания CO_2.

... и окру-
... воздуха.

В таблице 37 даны значения удельных весов воздуха $\gamma_в$ при температурах в пределах —30° и +40°.

Таблица 38 содержит величины удельных весов $\gamma_г$ — сухих и влажных дымовых газов от 50° до 500° и удельную силу тяги дымовых газов при тех же температурах и температуре воздуха —0° и 30° и 760 мм.

На рис. 65 показан удельный вес воздуха при температурах от —30° до +40°; линия AB соответствует $\gamma_0 = 1{,}293$, а точка $C\,t_в = -30°$ и $\gamma_в = 1{,}451$, а в точке $D\,t_в = +40°$ и $\gamma_в = 1{,}130$.

На рис. 66 по оси абсцисс AB нанесены температуры дымовых газов от 0° до 500° и по оси ординат удельный вес газов, по кривой—CD располагается удельный вес сухих газов, а по кривой $C_1 D_1$ — влажных газов. От точки A по оси ординат отложены значения удельных весов воздуха:

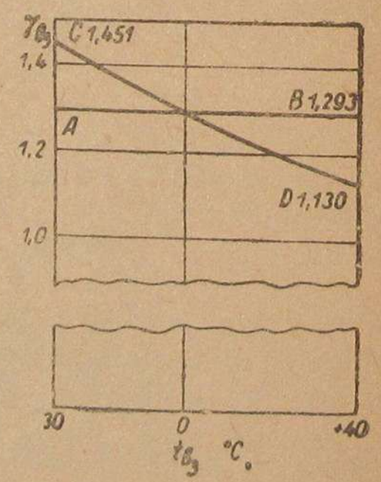


Рис. 65. График удельного веса воздуха; γ возд. в зависимости от температуры t возд. CD от—30° до +40°.

при 0°—1,293,
„ +35°—1,165,
„ —20°—1,393

и через соответствующие точки проведены горизонтали. По этой диаграмме можно получить значения тяги, соответствующие

удельному весу. В котельной установке, у которой температура уходящих газов в борове колеблется от 150° до 300°, 1 м дымовой трубы создает:

при 0° воздуха статическую тягу от 0,4 до 0,7 мм;
„ 30° „ „ „ меньшую, чем в предшествующем случае на 30—18%;

Давление воздуха и влажность связаны между собой, так как возрастающая влажность воздуха вызывает уменьшение давления, но, вместе с тем, влажность воздуха и давление атмосферы влияют на дымовые газы.

Пусть удельная тяга при 760 мм давления равна p, тогда при каком-нибудь показании барометра $h_б$ будет:

$$p_д = \frac{h_б}{760} \cdot p.$$

Действительная тяга трубы зависит от динамической потери в трубе, которая зависит от квадрата скорости движения газов (v)

$$h_{мм} = \gamma_г \frac{v^2}{2g}$$

и напишется так:

$$P_{д.\,т.} = Hp - \gamma_г \frac{v^2}{2g}.$$

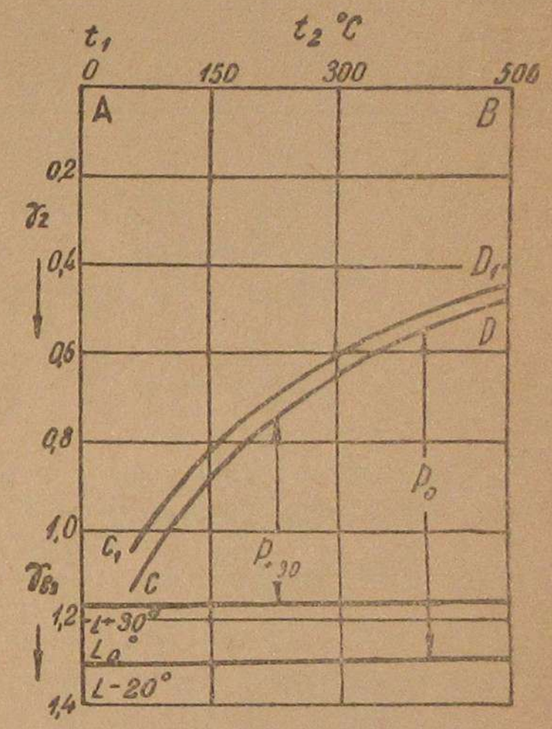


Рис. 66. График удельных весов дымовых газов в зависимости от их температуры $t_2 = 50 - 500°$; CD — для сухих и C_1D_1 — для влажных газов.

Рис. 67 представляет динамическую потерю и действительную тягу в зависимости от скорости газов для трубы высотой в 100 м при сухих дымовых газах с температурой 300° и при температуре воздуха +30°. В точке A диаграммы скорость $v = 0$ и действительная тяга равна статической.

Таблица 37

Удельный вес воздуха $\gamma_в$ в пределах температур $t_в = -30°$ и +40.

$t_в$ . . .	—30°	—20°	—10°	0°	+10°	+20°	+30°	+40°
$\gamma_в$ . . .	1,451	1,393	1,340	1,293	1,250	1,205	1,165	1,130
Разность	+0,158	+0,100	+0,047	0	—0,047	—0,088	—0,128	—0,163

Таблица 38

Удельный вес дымовых газов $\gamma_г$ в пределах 50° и 500° и удельная сила тяги p при температурах воздуха 0° и +30° при давлении 760 мм

А. Сухие дымовые газы из угля

$t_г$	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°
$\gamma_г$	1,142	0,990	0,872	0,780	0,706	0,643	0,592	0,548	0,511	0,471
p_0	0,151	0,303	0,421	0,513	0,587	0,650	0,701	0,745	0,782	0,816
p_{+30}	0,023	0,175	0,293	0,385	0,549	0,522	0,573	0,617	0,654	0,688

В. Влажные дымовые газы из сырого топлива—бурого угля и древесины

$t_г$	50°	100°	150°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°
$\gamma_г$	1,064	0,924	0,814	0,727	0,658	0,600	0,552	0,512	0,476	0,444
p_0	0,229	0,369	0,479	0,566	0,635	0,693	0,741	0,781	0,817	0,849
p_{+30}	0,101	0,241	0,351	0,438	0,507	0,565	0,613	0,653	0,689	0,721

Таблица 39

Удельный вес дымовых газов $\gamma_г$ в пределах 125° и 325° и удельная сила тяги p_{+30} при температуре воздуха +30° и 760 мм; сила тяги p_2 при +30° и 730 мм и 0,9 p_2

А. Сухие дымовые газы из каменного угля

$t_г$	125°	150°	175°	200°	225°	250°	275°	300°	325°
$\gamma_г$	0,925	0,872	0,822	0,780	0,740	0,706	0,672	0,643	0,617
p_{+30}	0,240	0,293	0,343	0,385	0,425	0,459	0,493	0,522	0,548
p_2	0,231	0,281	0,380	0,370	0,418	0,441	0,473	0,501	0,526
0,9 p_2	0,206	0,254	0,297	0,333	0,367	0,397	0,427	0,452	0,473

В. Влажные дымовые газы из сырого топлива—бурого угля и древесины

$t_г$	125°	150°	175°	200°	225°	250°	275°	300°	325°
$\gamma_г$	0,865	0,814	0,769	0,727	0,690	0,658	0,628	0,600	0,576
p_{+30}	0,300	0,351	0,396	0,438	0,475	0,507	0,537	0,565	0,589
p_2	0,288	0,337	0,380	0,422	0,456	0,487	0,516	0,543	0,566
0,9 p_2	0,260	0,304	0,343	0,380	0,412	0,438	0,465	0,490	0,510

Линия AB представляет зависимость динамической потери и действительной тяги $p_{д.т.}$ от скорости дымовых газов v. Эта зависимость изображается параболой. В точке C диаграммы динамическая потеря тяги равна 10% статического напора. В этом случае:

$$h = \gamma_г \frac{v^2}{2g} = 0{,}1\ P.$$

Подставляя в уравнение:

$$P_{д.т.} = Hp - \gamma_г \frac{v_2}{2g} = P - 0{,}1\ P = 0{,}9\,P = 0{,}9\ Hp.$$

Из уравнения

$$0{,}9\ Hp = Hp - \gamma_г \frac{v_г^2}{2g}$$

получаем, что

$$0{,}1\ Hp = \gamma_г \frac{v_г^2}{2g}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 0{,}1\, g \cdot H \cdot \frac{p}{\gamma_г}} \infty \sqrt{2H \cdot \frac{p}{\gamma_г}} \text{ или}$$

$$v = \sqrt{2\,\frac{P_{д.т.}}{0{,}9\,H}\,H \cdot \frac{1}{\gamma_г}} = \sqrt{2{,}2 \cdot \frac{P_{д.т.}}{\gamma_г}}.$$

В трубе высотой 100 м сухие газы при 300° и температуре воздуха 35° имеют скорость $v = 12{,}7$ м/сек. Эта скорость обеспечивает нормальную тягу в трубе, увеличение скорости нежелательно, так как вызовет возрастание высоты и всех размеров трубы. Возрастание размеров трубы увеличит ее вес; вес трубы возрастает пропорционально высоте.

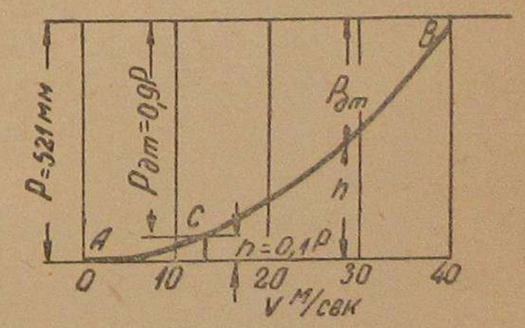


Рис. 67. График действительной тяги в зависимости от скорости дымовых газов v.

Поток газов в трубе, соприкасаясь со стенками, охлаждается. Охлаждение газов пропорционально разности температуры газов и наружного воздуха, а понижение температуры газов тем значительнее, чем меньше сечение трубы и тоньше ее стенки и меньше скорость движения газов в трубе. Оказывает влияние на температуру газов скорость движения окружающего воздуха.

При нормальной скорости движения газов в трубе понижение температуры равно 0,6—1°/пог. м высоты в кирпичных трубах и 1—1,5°/пог. м высоты железобетонных труб.

Измерения, произведенные в трубе при наружной температуре 17° и давлении 763 мм $P_г$, в трубе, имеющей высоту 95 м, диаметр верхнего отверстия 3,15 м, при толщине кладки трубы внизу 1,4 м и

в середине 0,48 м, показали, что температура у основания трубы—289°, в середине трубы—245°, что дает падение температуры 0,92° на 1 пог. м; скорость газов оказалась 5,26 м/сек.

Расчет дымовой трубы должен быть выполнен так, чтобы при неблагоприятных атмосферных условиях в ней была достаточная тяга. Неблагоприятными условиями для установления тяги надо считать достаточно высокую температуру, например, +30° и давление 730 мм. Тяга, приходящаяся на 1 пог. м трубы при 30°, дана в табл. 38 или по рис. 66, где приведены значения тяги при давлении 760 мм. Пересчет на давление 730 мм может быть произведен по формуле:

$$p_б = \frac{730}{760}\, p_{+30}.$$

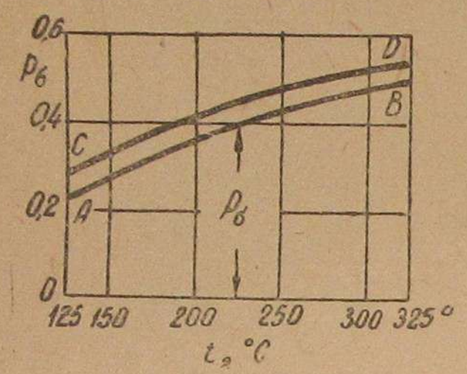


Рис. 68. График зависимости удельн. статической тяги при неблагоприятной погоде (t = 30° и 730 мм) в зависимости от температуры дымовых газов CD — для сухих газов, AB — для влажных газов.

Дымовая труба будет наиболее выгодная как по величине тяги, так и по стоимости, если скорость газов будет выбрана такой, чтобы динамическая потеря тяги составила 10% статического напора. В этом случае:

$$P_д = 0{,}9\, H \cdot p_б\,.$$

Отсюда определится высота трубы

$$H = \frac{P_д}{0{,}9\, p_б}.$$

В таблице 39 даны значения $P_д$ и $0{,}9\ p_б$, определенные для температуры +30°, и показания барометра 730 мм при температуре в борове 125—325°. На рис. 68 эти величины представлены в диаграмме, линии *AB* и *CD* относятся—первая к сухим, а вторая—к влажным газам.

Введем обозначения:

f—выходное сечение труб м²,
B—количество сжигаемого топлива кг/час,
G— „ газов из 1 кг топлива при 0° — м³,
$t_г$—температура дымовых газов,
v—скорость дымовых газов в выходном сечении,
C—содержание углерода в топливе в проц.;
H— „ водорода „ „ „ „
W— „ воды „ „ „ „
K— „ углекислоты в дымовых газах в проц.
η—полезность котельной установки.

Выходное сечение дымовой трубы определится по следующим формулам:

$$f = \frac{B \cdot G}{3600 \cdot v} \cdot \frac{273 + t_г}{273} \quad \ldots \text{ м}^2,$$

$$G = \frac{C}{0{,}536 \cdot K} + \frac{9H + W}{0{,}806} \quad \ldots \text{ м}^3.$$

Площадь сечения f будет тем больше, чем больше сжигается топлива в единицу времени, чем выше температура дымовых газов и чем меньше их скорость.

При содержании 10% углекислоты в продуктах горения на 1 кг пара (640 кал) приходится следующее количество дымовых газов при 0°:

каменного угля . . . . . $G = 1{,}3$ м³,
сырого бурого угля или древесины (влажн. 40—60%) . . . $G = 1{,}6$ „

Обозначая полезность котла η, количество дымовых газов на 1 т пара при 0° будет

$$G_г = 1{,}3 \backsim 1{,}6\ \frac{1000}{\eta}.$$

Для получения D тонн пара/час сечение трубы определится, при каменном угле:

$$f = \frac{0{,}36\, D}{\eta \cdot v} \cdot \frac{273 + t_г}{273},$$

при сыром буром угле или древесине:

$$f = \frac{0{,}44\, D}{\eta \cdot v} \cdot \frac{273 + t_г}{273}.$$

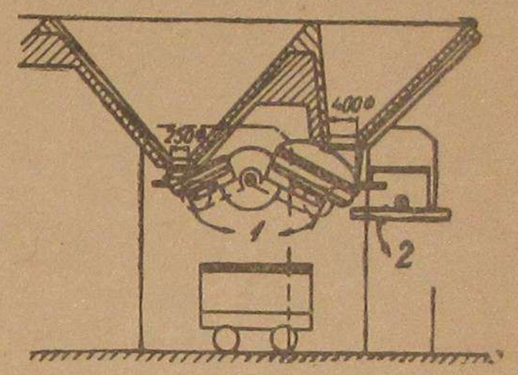


Рис. 69. Установка золоудаления системы „Швабах". *1* — отделитель золы, *2*—регулятор водяного уровня.

Эти цифры выведены для продуктов горения с содержанием углекислоты 10%; при более высоком содержании углекислоты на каждый 1% свыше 10%—площадь сечения может быть уменьшена на 7%. Эти же формулы для больших котельных установок с водоподогревателем при полезности котла $\eta = 75\%$ и температуре $t_г = 200°$ приводятся к следующему виду:

для каменного угля . . . . . $f = 1{,}3\,\frac{D}{v}$,

для сырого бурого угля и древесины . $f = 1{,}6\,\frac{D}{v}$.

Пример. Определить основные размеры дымовой трубы при водотрубном котле с каменноугольной топкой; паропроизводительность котла—5 т/час; разрежение в основании трубы 13 мм вод. ст. Температура газов внизу трубы 187°. Газы в трубе охлаждаются на 20°, так что в выходном отверстии трубы температура газов 167°.

По таблице 38—значение $p_д = 0{,}315$; высота трубы будет

$$H = \frac{P_д}{0{,}9\, p_б} = \frac{13}{0{,}9 \times 0{,}315} = 46 \text{ м}.$$

Наивыгоднейшая скорость газов—по таблице 39—$\gamma_г = 0{,}801$

$$v = \sqrt{2{,}2 \cdot \frac{P_д}{\gamma_г}} = \sqrt{2{,}2 \cdot \frac{13}{0{,}801}} \cong 5{,}9 \text{ м/сек}.$$

Сечение выходного отверстия трубы определится по формуле:

$$f = \frac{0{,}36\ D_{\text{т}}}{\eta \cdot v} \cdot \frac{273 + t_{\text{г}}}{273}.$$

$$D = 5\ \frac{\text{т}}{\text{ч}};\ \eta = 0{,}70;\ v = 5{,}9;\ t_{\text{г}} = 167^{\circ}.$$

$$f = \frac{0{,}36 \cdot 5}{0{,}7 \cdot 5{,}9} \cdot \frac{273 + 167}{273} = 0{,}72\ \text{м}^2.$$

$$d = \sqrt{f \cdot \frac{4}{\pi}} \cong 96\ \text{см}.$$

XVI. ЗОЛОУДАЛЕНИЕ

Удаление золы из котельных установок деревообрабатывающих предприятий малых размеров производится выгребом из зольника и отвозом в тачках. Поднимающаяся при этом зольная пыль наносит вред здоровью кочегаров и засоряет котельную со всеми приборами и механизмами. С ростом котельных для удаления золы устраивают подвальное помещение под котлами, куда подаются по рельсовым путям вагонетки для отвоза золы и шлаков. Из зольниковых воронок, располагаемых под топками и дымоходами котлов, зола при открывании задвижек или откидных заслонок высыпается непосредственно в вагонетки и затем силами котельной прислуги вывозится на свалку.

При расположении зольных подвалов ниже уровня пола котельных помещений вагонетки поднимаются оттуда при помощи ручной или электро-лебедки на двор и оттаскиваются к месту сбора золы.

Ручной способ удаления золы, при больших количествах, обходится очень дорого и крайне вредно отзывается на здоровье отвозчиков. При ручной выгрузке золы в подвалах выделяется большое количество пыли и вредных газов, образующихся после спуска золы из подвальных воронок при тушении ее водой. Выделяющиеся при тушении золы пары и высокая температура в подвалах создают тяжелые условия для работы.

При ручной разгрузке необходимо приспособить заслонки у зольниковых воронок к открыванию их на некотором расстоянии устройством рычажных тяг или цепных приборов на роликах. В котельных установках с дутьем необходимо устраивать зольные воронки с двойным затвором, при помощи которых зола удаляется без прекращения дутья и без прорыва вредных газов и пыли во время выгрузки золы. С ростом деревообрабатывающих предприятий количество удаляемой золы возрастает, так что выдвигается требование более совершенных способов удаления золы, хотя применяющееся в деревообрабатывающих предприятиях топливо—древесные отходы—не содержит больших количеств золы:—древесина—1%, а отходы лесосечной древесины—3—7%. По мере использования отходов в лесохимической промышленности в некоторых отраслях деревообработки возможно применение других видов топлива (торфа). При устройстве золоудалительных приспособлений

необходимо теперь же предусмотреть возможность выгодного и скорого удаления золы, без причинения вреда здоровью рабочих. Существует несколько способов удаления золы; из них наиболее распространен гидравлический, который вытеснил применявшиеся ранее механический и пневматический.

Гидравлическое золоудаление имеет значительные преимущества по сравнению с пневматическим способом золоудаления прежде всего в том, что удаляемая горячая масса золы сперва подвергается тушению и тем самым лучше приспособляется для перемещения, вследствие чего уменьшается изнашивание механизмов удаления. Гидравлическое золоудаление может производиться двумя способами: простой промывкой и напорной промывкой. Способ простой промывки состоит в транспортировке золы в открытом жолобе с естественным уклоном с применением подающих сопел. Способ напорной промывки состоит в удалении золы водой, которая подается с давлением от 10 до 25 кг/см² и уносит золу и шлаки в закрытых трубопроводах. Для успешного действия обеих систем необходимо особо тщательное выполнение тех частей, при помощи которых зола и шлаки удаляются из воронок транспортных тележек, желобов и труб. Удаление легкой золы представляет меньше затруднений, чем тяжелой—из-под колосниковой решетки и шлаков, особенно последних, которые часто требуют особого промежуточного устройства для дробления между шлаковой выпускной воронкой и транспортным устройством. Выбрасывание шлаков и золы из воронки в транспортное приспособление производится различными способами: простым свободным выпуском через трубы эжекторами и промывными устройствами, механическими или ручными приводными приспособлениями, при чем зола при этом охлаждается в баке с водой.

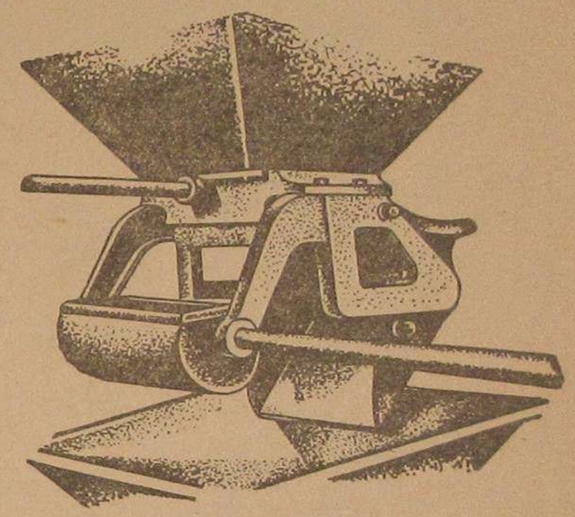


Рис. 70. Разгрузочный ковш упрощенного устройства золоудаления по системе „Швабах".

Основные положения, которыми следует руководствоваться для правильного выбора системы золоудаления, следующие:

1) количество и род золы, выпадающей в воронки под колосниками каждого котла и всей установки;

2) расстояние от котельной до места выгрузки золы и разность их высот;

3) использование золы;

4) условия снабжения котельной установки водой.

Рассмотрим основные типы золоудалительных систем, которые могут быть применены в средних установках. Система золоудаления Швабаха допускает любой способ отвозки золы,—будет ли то про-

мывка или удаление под давлением или отвозка в вагонетках. Простейшее устройство „Швабах“, показанное на рис. 69, состоит в следующем.

Зола падает в воронку и затем спускается в трубу, нижнее отверстие которой погружено в сборную коробку, где имеется водяной затвор, отделяющий зольник и топочное пространство от наружного. Зола или шлак падают в водяную коробку, охлаждаются и спускаются на дно. Из водяной коробки зола удаляется медленно вращающимся скребковым колесом. Установка разгрузочного ковша золоудалителя показана на рис. 70 под спускными зольными воронками топочного устройства. Устройство „Швабах“ для золоудаления, представленное на рис. 69 и 70, ставится для малых количеств золы, действует от ручного привода и представляет откидной ковш под зольной воронкой. Второй способ золоудаления — промывка. При этом способе выпадающая зола и шлаки удаляются естественным падением из зольниковых воронок в открытые желоба с уклоном 1 : 40. Величина кусков шлака может быть до 200 мм. Скорость течения воды в желобах должна быть не менее 2 м/сек. Скорость течения может быть увеличена устройством напорных сопел для проноса в желобах тяжелых песчаных кусков шлака. Желоба обкладываются прочной обмуровкой из камня и установка промывных баков зависит от располагаемого количества воды. Расход воды весьма различен и зависит от рода и величины установки и количества и свойств удаляемой золы. Для малых установок, какими являются установки в деревообрабатывающей промышленности, количество воды при соответствующем уклоне каналов должно быть в 10 раз больше веса золы, которая должна быть удалена, для крупных установок — в 15 раз больше. При устройстве желобов с очень малым уклоном расход воды должен быть в 30 раз больше по весу, чем удаляемая зола. Такой большой расход может быть допущен там, где имеется много текучей воды или воды, использованной в производстве. Вода, использованная для золоудаления, после отстаивания в баке может быть использована снова перекачиванием насосом из бака

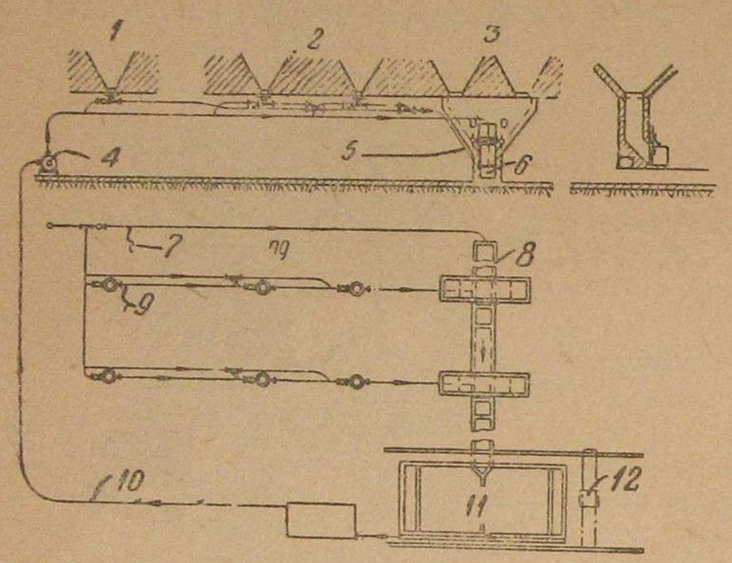


Рис. 71. Промывное золоудаление системы „Шихау“. *1*—зольный приемник под боровом, *2*—приемники летучей золы, *3*—приемники провала и шлаков. *4*—рабочий насос 3 км/см², *5*—зольниковая заслонка, *6*—промывной жолоб, *7*—промывной водопровод, *8*—промывной жолоб, покрытый рифлеными листами, *9*—зольный трубопровод, *10*—всасывающий трубопровод, *11*—отстойный бак, *12*—кран с черпаком, *13*—осветительный отстойник воды, *14*—соединительная труба.

в промыватель; расход энергии для этой цели незначителен, и количество добавочной воды—также.

На рис. 71 показана схема промывного устройства по системе „Шихау“. Тяжелая зола и шлаки через колосниковые воронки попадают в промывной жолоб, а летучая зола отводится по особому зольному трубопроводу в шлаковую воронку при помощи эжектора, подающего воду под давлением 3 кг/см², и оттуда в промывной жолоб. Из осадочного бассейна зола удаляется черпаками при помощи крана и выгружается в вагонетки для отвозки, а вода после отстаивания в особом баке насосом перекачивается опять в зольный трубопровод и в промывной жолоб. Для удаления шлаков и золы из воронок применяются различные устройства, которые плотно закрывают зольниковые воронки под колосниками, отделяя тем самым топочное пространство. На рис. 72 показан золоудалитель системы „Наторпа“.

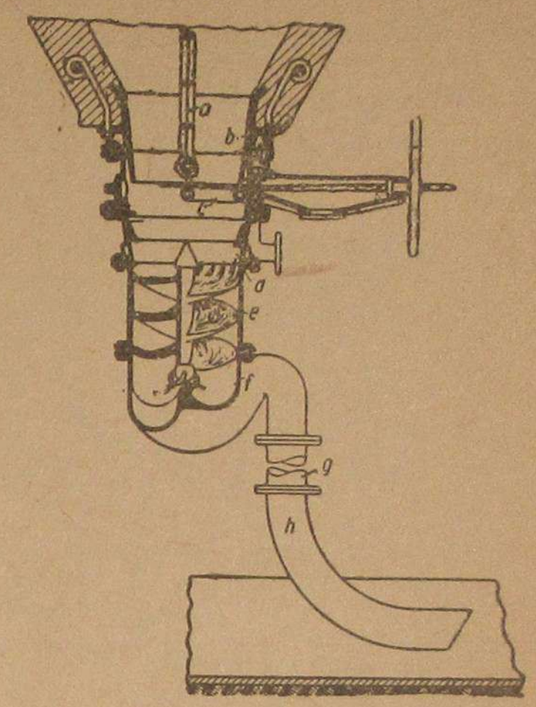


Рис. 72. *a*—потряхиватель, *b*—бункерная вставка, *c*—заслонка, *d*—спрыскиватель, *e*—спускная труба с лопастным ходом, *f*—водяной затвор, *g*—проходная труба, *h*—спускной отвод.

На рис. 73 показана схема установки удаления золы под давлением по однотрубной системе „Зейферта“. Удаление золы производится на большие расстояния при помощи струйного аппарата или посредством заслонки с соплом на малые расстояния; первый способ показан на верхнем, а второй—на нижнем чертеже. Струйный аппарат может быть перемещен и по мере необходимости установлен там, где нужно удалять золу (середина на чертеже), или же снят с места установки поворотом трубы, в которой он находится, для пропуска струи воды, если в этом месте нет золы (крайние

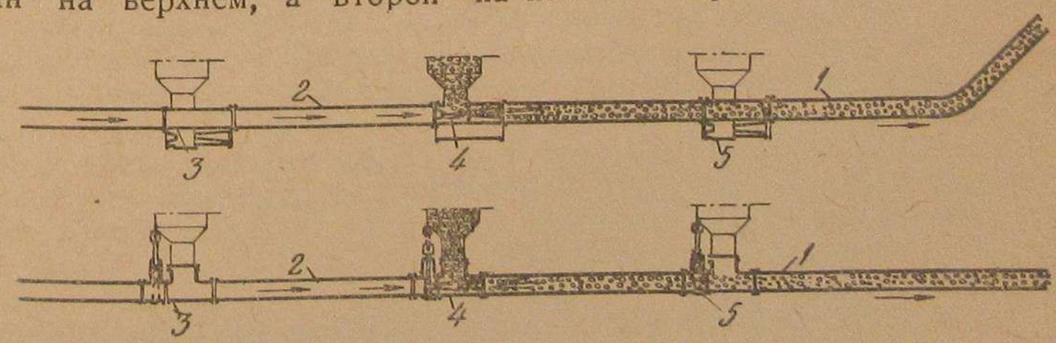


Рис. 73. Однотрубная система золоудаления „Зейферта“ с поворотными водоструйными аппаратами.

положения на чертеже). Установка с заслонкой действует таким же образом. Удаление золы производится периодически, при чем шлаки должны быть предварительно раздроблены на куски не более 50 мм.

Двухтрубная система—рис. 74—„Зейферта“ работает так же, как и однотрубная, но здесь струйный аппарат не перемещается, установлен неподвижно и имеет свой подвод воды. Переходы для подачи золы за струйными аппаратами входят в общий трубопровод, по которому отводится зола.

Гидравлический способ удаления золы дает большую экономию в расходе рабочей силы. Для ухода и наблюдения за золоудалительной установкой среднего размера нужен один рабочий, а для большой—двое. Большие золоудалительные установки выгодны, но до известного предела, при количестве золы ниже 3 т/час гидравлические золоудалительные установки становятся невыгодными.

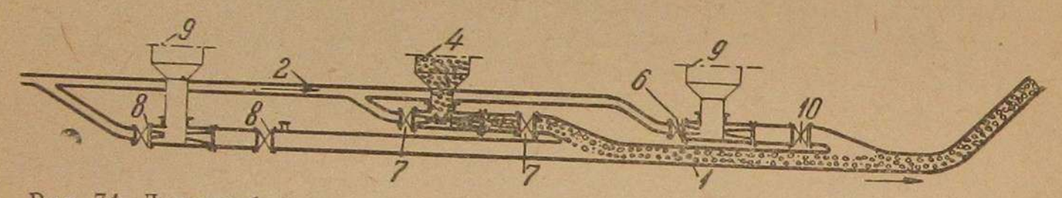


Рис. 74. Двухтрубная система золоудаления „Зейферта“ с неподвижным водоструйным аппаратом. К рис. 73 и 74. *1*—Смесь золы с водой в трубопроводе, *2*—часть водопровода под давлением, *3*—проход воды в трубопроводе,—водоструйный аппарат выключен поворотом, *4*—рабочее положение,—водоструйный аппарат включен в трубопровод, *5*—положение водоструйного аппарата или задвижки или сопла при проносе золы водой, *6*—вентиль давления закрыт, *7*—вентиль открыт, *8*—вентиль закрыт при выключении зольника, *9*—зольник выключен, *10*—спускной вентиль закрыт.

При проектировании и расчете установки необходимо иметь в виду наибольшее использование, повышая ежедневное время работы установки, сокращая тем самым часовую нагрузку, что уменьшает стоимость установки.

Механические способы удаления золы при помощи скребковых транспортеров, винтовых переместительных устройств и пневматические устройства не применяются. В последнее время появились котельные установки, работающие с удалением золы и шлаков в жидком виде, что особенно удобно при топливах с низкой температурой плавления золы.

Необходимо также заботиться об устранении уноса золы с дымовыми газами. Поэтому сейчас считают необходимым устанавливать специальные золоуловители, не допускающие уноса золы в трубу вместе с дымовыми газами.

XVII. ЭКСПЛОАТАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

1. Эксплоатационные потери и их зависимость

В деревообрабатывающей промышленности котельные установки работают с большими колебаниями нагрузки, которые зависят от условий производственного процесса. Мелкие и средние предприятия, работающие в две смены—14—16 часов, держат под

паром свои котельные установки от 10 до 18 часов, сохраняя в топках легкий огонь для поддержания такого теплового состояния, чтобы при начале работ можно было бы быстро поднять пар. Но бывает и полная остановка топки, так что перед началом работ надо за 2—3 часа начать растопку. Но и при круглосуточной работе, иногда ночью часть котлов выключается. Кроме того, в обеденный перерыв и в часы перехода производств на другую смену, топка котлов замедляется, вследствие понижения расхода пара и даже при почти полном прекращении расхода пара, так как машины-орудия приостанавливаются в значительной части. После таких кратковременных остановок топка должна быть усилена

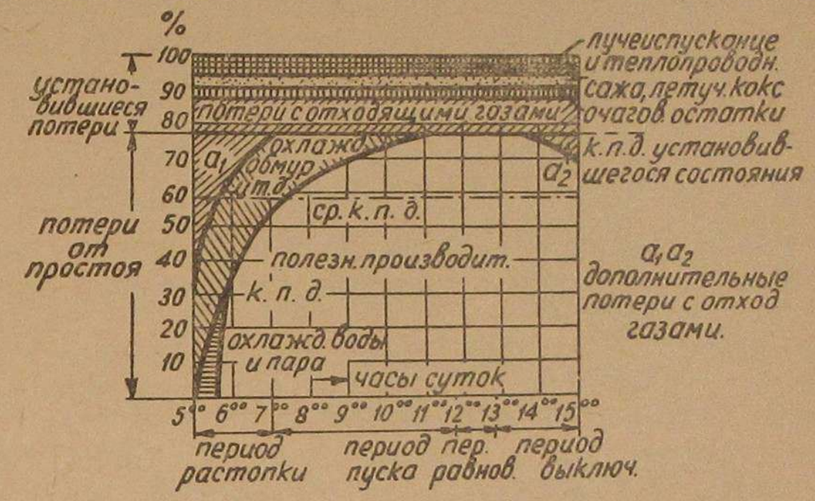


Рис. 75. Тепловой баланс парового котла в период растопки, пуска, равновесия и выключения.

в течение некоторого времени, так как за время перерыва топки давление в котле падает.

Перерывы в работе вызывают потери тепла в котле, отдачу в окружающее пространство тепла, накопленного в кладке и воде за время работы. Эти потери вызывают ежедневную затрату топлива—дров или угля на растопку котла за несколько часов до начала работы или на подтопку котла после кратковременной остановки. Расход топлива на растопку котла после остановки или перерыва составляет значительное количество, например, даже и в сравнительно небольших котлах от 100 до 300 м² на указанный расход затрачивается 1—2 т каменного угля. Затрата топлива на растопку представляет только часть и сравнительно незначительную того количества топлива, которая расходуется на достижения теплового равновесного состояния котла. Эту потерю следует называть потерей при пуске котла.

Полезность котла непрерывно возрастает при растопке, пока не достигнет большего значения и затем при поддержании топки остается постоянной до начала понижения топки при уменьшении отбора пара. Такое изменение значений полезности котла показано на рис. 75,[1] представляющем тепловой баланс котла во время всех

[1] Преториус. „Тепловое хозяйство“, рис. 64.

фаз его работы, растопки, пуска и выключения. Состояние котла после растопки определяется полезностью в 53%, а установившееся тепловое состояние, достигнутое после 5 часов, характеризуется полезностью 78%. Потери установившегося режима на лучеиспускание и теплопроводность, сажу и летучий кокс, очаговые остатки показаны на диаграмме горизонтальными полосками, в сумме они составляют 22%, а большие площадки, очерченные слева, представляют потери при растопке и пуске котла. Здесь площадки a_1 и a_2 представляют дополнительные потери с отходящими газами в период растопки и пуска и во время остановки котла. Подробный подсчет потерь тепла в котельной установке от начала растопки и до установившегося состояния и затем во время нормальной работы показывают, что сумма потерь от охлаждения превышает количество потерь во время установившегося состояния.

По исследованиям Преториуса общая потеря тепла в котельной установке состоит из потерь: 1) от внешнего охлаждения; 2) от внутреннего охлаждения; 3) при растопке и пуске и 4) потерь при остановке.

Потери от внешнего охлаждения определяются лучеиспусканием и теплопроводностью и происходят непрерывно как во время работы, так и при простое.

Температура стенок обмуровки возрастает спустя некоторое время до двух-трех часов после остановки котла, что бывает при односменной или двухсменной работе.

Если считать, что в течение 8 часов работы потери от лучеиспускания и проводимости составили 3% общего расхода топлива, то в течение 16 часов остановки котла эта потеря составит $V_{лт.} = 2 \cdot 3 \cdot 0{,}9 = 5{,}4\%$.

Для уменьшения рассматриваемой потери в котельной установке при режиме работы с частыми перерывами и остановками необходимы тщательная изоляция, уменьшение поверхности обмуровки и прекращение сквозного ветра в котельной. В практике котельных установок деревообрабатывающей промышленности можно отметить нарушение всех этих положений. Установки котлов, по преимуществу простых систем, очень часто в помещениях, совершенно не приспособленных к нуждам котельной, с постоянными сквозняками, способствующими охлаждению поверхности обмуровки котлов, и с общим состоянием запущенности котельных установок и обмуровки, отличаются громадным расходом топлива, что наблюдается на всех лесопильных заводах.

В практике котельных установок деревообрабатывающих предприятий обычно не придается никакого значения и следующему виду потерь—потерям от внутреннего охлаждения. Это объясняется, главным образом, малыми размерами котельных установок лесопильных заводов, не имеющими очень часто даже посредственно обученного состава кочегаров.

Однако, потеря от внутреннего остывания происходит во время приостановок в работе, так как котельные установки засасывают холодный воздух через трубу, через неплотности и закрытые отверстия: дверцы в топке, смотровое отверстие, дверцы в дымоходах и неплотности обмуровки. Создающиеся около котла

воздушные токи, направляющиеся в топку, выносят теплоту через дымовую трубу. Сильное внутреннее охлаждение стенок топки, дымоходов и поверхности нагрева во время длительного простоя, в течение 7—8 часов после окончания работы до начала следующего рабочего дня, приводит к перерасходу топлива при растопке и удлиняет время самой растопки.

Уменьшение потери от внутреннего охлаждения требует тщательного закрывания дымовых заслонок и всех отверстий: топочного, поддувала и других.

Во время растопки наблюдаются потери с отходящими газами и в очаговых остатках. Эти потери возрастают в период растопки, так как в это время требуется усиленная тяга для сокращения периода растопки и вместе с тем усиленного расхода топлива. По подсчетам Преториуса, на рис. 75 полезность котла во время растопки—53%, а при установившемся режиме—78%, так что расход угля] будет в $\frac{78}{53} = 1{,}47$ раза больше при растопке, а соответственно с возрастанием расхода угля увеличиваются постоянные потери до $22 \cdot 1{,}47 = 32{,}4\%$ к началу установившегося режима. В установках лесопильного производства с этими потерями обычно не считаются и никаких мер для их уменьшения не принимают, а потому эти потери достигают значительной величины.

Потери теплоты в котле при его остановке также значительны: в уходящих газах, в очаговых остатках и в остатке топлива на колосниковой решетке.

Исследуя взаимные соотношения величин потерь в паровых котлах, Преториус приходит к выводу, что потеря от внутреннего охлаждения при перерывах и остановке парового котла—наибольшая из всех потерь.

Каков бы ни был производственный процесс, но в ходе парового котла всегда будут неизбежные перерывы, не связанные с полным прекращением топки, а с временным замедлением ее. Если остановка вызвана переходящими временными причинами: кратковременным перерывом в работе станков или лесопильных рам, то выгоднее вести котел вхолостую, чем прекращать топку, так как подъем пара потребовал бы длительного времени и добавочного расхода топлива.

Количество топлива, идущего на привод котла в рабочее состояние, зависит от нескольких обстоятельств. Затрата топлива будет тем меньше, чем меньше масса обмуровки котла, которую нужно прогреть при растопке котла; чем короче промежуток времени бездействия котла и чем длительнее работал котел до остановки. После прекращения топки остывание котла и понижение давления пара в нем идет медленно в зависимости от тепла, накопленного в обмуровке.

Полное понижение давления наступает в котлах водотрубных с гнутыми трубками с поверхностью нагрева 750—800 м² через 40—50 часов; у котлов типа „Гарбе"—через 25—30 часов, а понижение температуры котельной установки до температуры котельного отделения, т. е. до 25 — 30°, происходит в течение 2 — 3 суток, а в теплое время—и дольше.

Количество топлива, необходимое для растопки котла данных размеров, почти не изменяется, но время для растопки можно сокращать в значительной мере. Это сокращение времени имеет определенный предел, который следует установить опытом, так как иначе можно повредить состояние котла чрезмерно большим тепловым напряжением, вызвав расстройство и течь в трубах или в швах котельного барабана. Котел в 600—700 м² после ремонта со свежей обмуровкой при усиленной растопке может быть растоплен в 2—3 часа, что отзовется вредно на состоянии котла, а при нормальной растопке—от 5 до 6 часов. Котел средних размеров, 200—300 м², с обмуровкой не массивной может быть растоплен в 40—45 мин., а ускоренным образом—в 20—25 мин.

В условиях действительной эксплоатации тепловой станции полный расход топлива и тепла всегда оказывается больше определенного предварительно при проектировании установки, а поэтому, принимая во внимание эксплоатационные потери, необходимо к ожидаемому расходу добавлять еще некоторое количество тепла и топлива, которые являются непроизводительным расходом; эти количества называют эксплоатационными надбавками.

2. Эксплоатационные надбавки

Точная оценка надбавок к величинам расхода тепла и топлива затрудняется сложностью зависимости их от размера и типа установки, плана эксплоатации станции и общих условий содержания котельно-машинных установок и ухода. Величина надбавок, проводимых в различных литературных работах, отличается весьма значительно, а потому необходимо в каждом отдельном случае подвергать ее строгой критической оценке в зависимости от свойств и назначения установки.

Для правильной оценки эксплоатационных надбавок необходимо уяснить их происхождение.

Гарантийный расход на всю установку W или w на единицу мощности получается при исключительно благоприятных условиях, создаваемых при „парадной“ обстановке „гарантийно-сдаточного“ испытания.

При таком испытании вся установка находится в вполне исправном состоянии, котлы и машины обслуживают испытанные кочегары и техники, знающие в совершенстве свое дело. Все измерительные приборы подвергаются предварительной проверке, а затем все записи и наблюдения по учету температур, по газовому анализу, измерению расхода топлива, воды и смазочных масел и определению мощности отдельных машин двигателей производятся хорошо обученными наблюдателями под руководством инженера-специалиста по испытанию тепловых установок. До гарантийного испытания организуется предварительное—с целью произвести проверку правильности и налаженности всего испытания и надежности состояния приборов.

Испытание начинается не с момента пуска в ход машин, а, по крайней мере, после 3 часов работы котлов и машин при постоянной нагрузке, т. е. после установления нормального режима в котле,

трубопроводах и машинах, когда вся установка работает при нормальных условиях нагрузки и скорости. Эти условия сохраняются во все время испытания.

Производительность котла определяется по количеству питательной воды и все остальные характеристические величины исчисляются по расходу топлива, но для машины учитывается лишь то количество пара, которое, действительно, вышло в двигатель, считая у входного фланца.

Потери пара и тепла в котле и в паропроводе не считаются расходом паровой машины. При испытании котла вместе с паровым двигателем, как целой единой установки, расход пара или энергии на собственные нужды котельной установки для привода питательных приборов, автоматической топки вентиляторов, поддувания или дымососа при искусственной тяге покрываются из других источников или вычитаются из расхода испытуемой установки. Испытание производится по особым правилам и инструкциям, выработанным обществами по надзору за котлами, а в СССР — энергетическими съездами.

Условия текущей эксплоатации отличаются от условий парадного испытания следующими чертами.

1) Котел и паровая машина или турбина после работы в течение ряда лет находятся в менее исправном состоянии, чем в день приемки.

2) Обслуживание и контроль менее внимательны, чем во время производства „парадного испытания“.

3) К непосредственному полезному расходу пара и тепла прибавляется расход на привод вспомогательных механизмов.

Теплота или энергия, расходуемая этими приборами, может быть перечислена на добавочный расход пара или на добавочный расход топлива.

4) Вследствие перерывов и остановок в производстве проявляются неизбежные непроизводительные расходы тепла и топлива во время остановок на подтопку, на растопку и пуск котла, а также при остановке котла.

Вышеперечисленные причины увеличивают расход пара и топлива даже при безостановочной работе установки.

Потери тепла и топлива, вследствие перерывов и остановки производства, оказываются тем более значительными, чем чаще по ходу производства происходят перерывы в работе.

Необходимые эксплоатационные надбавки можно подразделить на три группы:

1) добавка к расходу топлива . . . . . (α);
2) „ „ „ пара . . . . . (β);
3) „ к тому и другому, в зависимости от перерывов в работе . . . . . (γ).

Эти добавки могут вызываться следующими причинами:

1) Износ топки и котла; неплотность кладки, засоренность поверхности нагрева . . . . . α.

2) Несовершенство ухода за топкой . . . . . α.
3) Расход на подготовку топлива, особенно при пылевидном топливе . . . . . α.
4) Привод механических топок . . . . . α.
5) Привод вентиляторов для поддувания и тяги . . . α.
6) Добавочный расход, вследствие понижения давления температуры пара против гарантийных . . . α или β.
7) Добавочный расход пара, вследствие износа двигателя и изоляции трубопроводов . . . . . β.
8) Пропуск в предохранительных клапанах . . . . . β.
9) Периодическая продувка котла . . . . . β или α.
10) Расход пара питательными приборами . . . . . β.
11) Расход пара на предварительную очистку воды . . β.
12) Растопка котлов . . . . . γ.
13) Прогрев паропровода и машины . . . . . γ.
14) Потери тепла, вследствие лучеиспускания во время перерывов и расход топлива для поддержания рабочего давления в промежутках . . . . . γ.
15) Догорание топлива при остановке . . . . . γ.

Из приведенного перечня эксплоатационных добавок видно, что в различных теплосиловых установках они будут весьма разнообразны по величине.

Для оценки работы котла определяют испарительную способность топлива, которая равна отношению количества произведенного пара в определенный отрезок времени к израсходованному количеству топлива за то же время, выраженному в тех же мерах.

$$\frac{n_{\text{пар.}}}{n_{\text{топ.}}} = \frac{\text{количество пара}}{\text{израсходованн. топлива}} = q.$$

Испарительность топлива q определяется особым опытом. К установленному расходу топлива во время повседневной работы необходимо причислить эксплоатационные добавки, о которых было сказано выше:

1) на растопку котлов;
2) на поддержку пара во время перерывов;
3) на догорание топлива после остановок.

Эти добавки к топливу, выраженные в процентах, обозначенные α, равны:

при ежедневной работе	10—12	часов	$\alpha \leqq$	10%
„ „ „	20	„	$\alpha \leqq$	5—6
„ „ „	24	„	$\alpha \leqq$	2—4

Поэтому расход топлива надо считать $n_{\text{топ.}} + n_{\text{топ.}} \cdot \frac{\alpha}{100}$ или $n_{\text{топ.}}\left(1 + \frac{\alpha}{100}\right)$.

Расход пара для обслуживания нужд котельной, т. е. на привод насосов, инжекторов покрывается из тех же установленных

котлов, так что количество пара, получаемое для нужд производства, уменьшается. Расход пара для насосов колеблется в довольно широких границах, в зависимости от состояния и системы питательных приборов. Этот расход, обозначенный β, является величиной достаточно ощутительной и составляет 2—10% полного количества пара, даваемого котлом.

Изношенные насосы „дуплекс“ берут пара больше, так что $\beta = 15\%$, а иногда в старых котельных установках—достигает 20%. Годовое производство пара для нужд производства будет не $n_{\text{пар}}$, а $n_{\text{пар.}}\left(1 + \frac{\beta}{100}\right)$.

Добавки группы γ, необходимые, вследствие перерывов работы, могут быть еще более крупными и достигают 25—30%, возрастая с увеличением сроков простоя установки и сокращения периодов работы. Между добавками γ% и числом часов τ ежедневной работы теплосиловых установок может быть принята зависимость обратно пропорциональная этим часам.

У паровых машин и паровых турбин это соотношение представляется таким выражением:

$$\gamma \cdot \tau = 100\%.$$

В локомобилях, работающих с перегревом пара, конденсацией при машинах двойного расширения зависимость γ и τ может быть написана $\gamma \cdot \tau = 80\%$.

При ежедневной работе в течение 8 часов добавка топлива на простой будет:

для установки:

котел, паровая машина или паровая турбина . . . $\gamma = \frac{100}{8} = 12{,}5\%$,

то же для локомобиля . . . . . $\gamma = \frac{80}{8} = 10\%$.

В общей сложности эксплоатационные добавки достигают следующих значений:

$$(1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) = 1{,}45—1{,}50.$$

Иногда для исчисления надбавок, вместо произведения, считают суммарную надбавку:

$$(\alpha + \beta + \gamma)\%.$$

Для достижения возможно более высокой экономичности в эксплоатации силовой установки необходимо:

1) Установление возможно более равномерной нагрузки установки, приближающейся к нормальной.
2) Возможно более продолжительные периоды ежедневной работы без перерывов.
3) Самый внимательный надзор и текущий контроль за работой установки.

XVIII. ПАРОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

1. Общие положения

Устройство новой котельной установки или переустройство старой подчиняется всегда одному основному требованию: получению возможно более дешевого пара, который затем должен быть использован наивыгоднейшим образом с наименьшими потерями для приведения в действие машин двигателей или для технологических потребностей производства. Экономика теплосилового хозяйства требует единства в деле получения и использования пара. Рациональное ведение котельной установки и, следовательно, экономическое расходование топлива невозможно без правильно организованного и налаженного единого теплосилового хозяйства. Всякое предприятие, нуждающееся в теплосиловой энергии, должно быть налажено так, чтобы все его устройство было подчинено производству и распределению силы и тепла. Это требование имеет особенно большое значение в тех предприятиях, которые нуждаются в больших количествах пара по роду технологического процесса для производственных целей. В таком предприятии необходима установка своей силовой станции с использованием теплового отброса в технологическом процессе. Присоединение к районной центральной силовой станции, находящейся на значительном расстоянии, было бы невыгодно для производства, так как для технологического пара пришлось бы ставить отдельно установку низкого давления, что всегда является невыгодным. Это обстоятельство имеет исключительное значение для предприятий деревообрабатывающей промышленности, которые нуждаются в больших количествах технологического пара различных давлений.

Среди требований технической целесообразности и производственной выгодности, предъявляемых к организуемому или перестраиваемому предприятию, одним из существенных является правильное устройство паровых трубопроводов как в пределах котельной, так и от котлов к паровым машинам или турбинам, и к производственному оборудованию, где пар используется в технологических целях.

Для новых котельных установок необходимо выбирать возможно более высокие давления пара, для малых установок следует брать рабочие давления не ниже 17—18 кг/см², а для больших—от 25 до 35 кг/см² и выше до 40 кг/см². При увеличении давления в котле паропроводы получаются меньших диаметров, так как при этим можно принять большие скорости; к тому же меньшие размеры трубопроводов делают их дешевле. Однако, при переходе к высоким давлениям удорожаются запорные приспособления, кроме того, возрастает стоимость изоляции трубопроводов, так как необходимо устранение значительного понижения температуры пара и даже возможного его снижения при проводке на значительные расстояния.

Для этой цели все части как котельной установки, так и паропроводов, должны быть тщательно изолированы: фланцы, вентили, паросборники и компенсаторы. Кроме того, необходима тщательная изоляция отдельных водоподогревателей и баков с горячей водой.

Для больших котельных установок необходимо устраивать все трубопроводы по кольцевому очертанию. При таком устройстве паропроводов или трубопроводов питательной воды как главных, так и второстепенных, представляется возможность выключения неисправных частей для замены их новыми, переключая подачу пара из различных котлов без нарушения пропуска его к местам потребления.

Паропроводы должны быть правильно расположены, их подвеска и выбор опор должны быть сообразованы так, чтобы они могли свободно перемещаться при нагревании и охлаждении, т. е. должны быть правильно расположены подвижные опоры, подвесы, поглотители удлинения трубопроводов — лирообразные компенсаторы. Паропроводы должны быть вполне доступны для обслуживания с полной безопасностью, а смена отдельных частей и набивок должна выполняться с наименьшей затратой времени, сил и средств.

Излишнее количество соединений в системе трубопроводов уменьшает их доступность и удобство для наблюдения за их состоянием, что особенно важно в случае каких-либо существенных нарушений его.

Питательные и главные запорные вентили должны иметь особые цепные или зубчатые приводы в случае их установки на значительной высоте для удобного управления ими с пола котельной или паропроводных помещений.

При планировке трубопроводной сети необходимо предусмотреть расширения ее, для чего должно быть оставлено свободное место для новых паропроводов.

2. Расчет паропроводов

Паропроводы от котла к машинам являются причиной потери теплоты и давления пара при его перемещении в них. Потеря теплоты зависит от поверхности паропроводов, а также от разности температур пара и окружающей среды.

При движении пара в трубопроводах стенки труб оказывают сопротивление перемещению его частиц своей шероховатостью. Частицы пара прилипают к стенкам труб и скорость их уменьшается: частицы, движущиеся по оси трубы и около нее, имеют большую скорость и отставание частиц у стенок вызывает вихревые явления в струе. Изменение скорости движения в одном сечении струи, перпендикулярного к оси, вызывают взаимные удары частиц, так что при расчете необходимо принимать некоторую среднюю скорость.

Для расчета паропровода задаются его длиной в зависимости от расположения установки; затем выбирают давление в начале паропровода и в конце его, в зависимости от назначения пара; далее устанавливают количество пара, которое должно быть доставлено из котла к месту потребления: к машинам или производственным приборам.

Расчет паропровода после выбора некоторых величин сводится к определению диаметров частей паропровода, в зависимости от изменения расхода.

Потеря давления в трубопроводах зависит от диаметра внутреннего поперечного сечения трубы, длины паропровода, удельного веса пара, скорости движения и состояния внутренней поверхности трубопровода.

Для уменьшения потери теплоты пара применяются следующие меры:

1) изоляция труб и фланцев;
2) отвод сгущенного пара из труб;
3) использование стекающей горячей воды.

Сечению труб придают возможно меньшие размеры для удешевления их стоимости, но возникающие при этом потери давления не должны превышать определенной величины. Гидравлические потери обратно пропорциональны диаметру, а стоимость и потери теплоты прямо пропорциональны диаметру. Потеря давления изменяется во время подачи пара из котлов, в зависимости от нагрузки, тогда как потери тепла постоянны.

Экономически потери тепла имеют большее значение, чем потери давления. Потери давления могут быт покрыты повышением давления в котлах сравнительно небольшим увеличением расхода топлива.

В общем виде потеря давления может быть представлена следующей формулой:

$$\Delta p = \beta \frac{l}{d} w^2 \gamma \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

где d—диаметр трубы в метрах,
l—длина трубы в метрах,
w—скорость пара в м/сек.,
γ—удельный вес пара в кг/м^3,
β—коэфициент сопротивления.

По опытам Eberle $\beta = 10{,}5 \cdot 10^{-8} = 0{,}000000105$ и по Fritzsche

$$\beta = \frac{9{,}4}{10^8 \cdot (\gamma \cdot w)^{0{,}148} d^{0{,}269}} .$$

Это значение коэфициента сопротивления должно быть умножено на 1,5 по последним проверочным опытам.

Потеря давления в кг/см^2 может быть представлена формулой

$$\Delta p \, (\text{кг/см}^2) = \lambda \frac{10000}{2g} \cdot \frac{l}{d} \cdot w^2 \cdot \gamma \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Отсюда коэфициент сопротивления:

$$\lambda = \frac{2g}{10000} \Delta p \frac{d}{l w^2 \gamma} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

Вводя в формулу (3) коэфициент 1,5 и обозначая:

$$\gamma = \frac{4G}{3600 w \cdot d^2 \pi}$$

Таблица 40

Коэфициент сопротивления $\lambda_D = 10^{-10}$ A (A—значения по таблице)

Колич. пара в кг/час	30	40	50	60	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
100	2103	2120	2132	2143	2160	2172									
120	2047	2064	2076	2086	2102	2115									
150	1980	1997	2009	2019	2034	2046	2058								
200	1898	1913	1924	1934	1949	1960	1972								
250	1837	1851	1862	1871	1886	1897	1909	1918							
325	1766	1780	1791	1800	1814	1825	1836	1845							
400	1713	1727	1737	1746	1759	1770	1780	1789	1803						
500	1657	1670	1680	1689	1702	1712	1722	1731	1745						
650	1594	1607	1617	1625	1637	1647	1657	1665	1678	1688					
800	1546	1559	1568	1576	1588	1597	1607	1615	1628	1637					
1000	1496	1508	1517	1524	1536	1545	1554	1562	1574	1584	1592				
1200	1454	1467	1476	1484	1495	1504	1513	1521	1533	1542	1549				
1500	1409	1420	1428	1435	1446	1455	1464	1471	1483	1492	1499	1505			
2000	1350	1360	1369	1376	1386	1394	1403	1410	1421	1430	1437	1443			
2500	—	1317	1325	1331	1342	1349	1358	1364	1375	1383	1390	1396	1401		
3250	—	1267	1274	1280	1290	1298	1305	1312	1322	1331	1337	1343	1348		
4000	—	—	1235	1241	1251	1258	1266	1272	1282	1290	1297	1302	1306	1314	
5000	—	—	1195	1201	1211	1218	1225	1231	1241	1248	1255	1260	1264	1272	
6500	—	—	—	1154	1164	1171	1178	1184	1194	1200	1207	1212	1216	1223	1230
8000	—	—	—	1121	1130	1136	1143	1149	1158	1165	1170	1175	1179	1186	1192
10000	—	—	—	—	1093	1099	1106	1111	1120	1127	1132	1137	1141	1148	1154
12000	—	—	—	—	1064	1070	1076	1082	1090	1097	1102	1107	1111	1117	1123
15000	—	—	—	—	—	1035	1041	1047	1055	1061	1066	1071	1074	1081	1086
20000	—	—	—	—	—	0992	0998	1003	1011	1017	1021	1026	1030	1036	1041
25000	—	—	—	—	—	—	0965	0970	0978	0984	1989	0993	0996	1002	1007
32500	—	—	—	—	—	—	0926	0933	0941	0946	0951	0955	0958	0964	1969
40000	—	—	—	—	—	—	0901	0905	0912	0918	0922	0926	0929	0935	0940
50000	—	—	—	—	—	—	0871	0876	0882	0888	0892	0896	0899	0904	0909
65000	—	—	—	—	—	—	0838	0842	0849	0854	0858	0862	0865	0870	0874
80000	—	—	—	—	—	—	0813	0817	0823	0828	0832	0836	0839	0844	0849
100000	—	—	—	—	—	—	0786	0790	0797	0801	0805	1809	0811	0816	0820
120000	—	—	—	—	—	—	0765	0769	0775	0780	0784	0787	0790	0795	0798
150000	—	—	—	—	—	—	0741	0744	0750	0755	0758	0761	0764	0769	0773
200000	—	—	—	—	—	—	0710	0713	0719	0723	0727	0730	0732	0737	0740
250000	—	—	—	—	—	—	0687	0690	0695	0699	0703	0706	0708	0713	0716
325000	—	—	—	—	—	—	0660	0664	0669	0673	0676	0679	0681	0686	0689

подставляем затем в формуле (3) γ, Δp из уравнения (1) и β, приняв во внимание $\frac{2g}{10000}$, получим:

$$\lambda_D = 0{,}000000457 \frac{d^{0{,}027}}{g^{0{,}148}}.$$

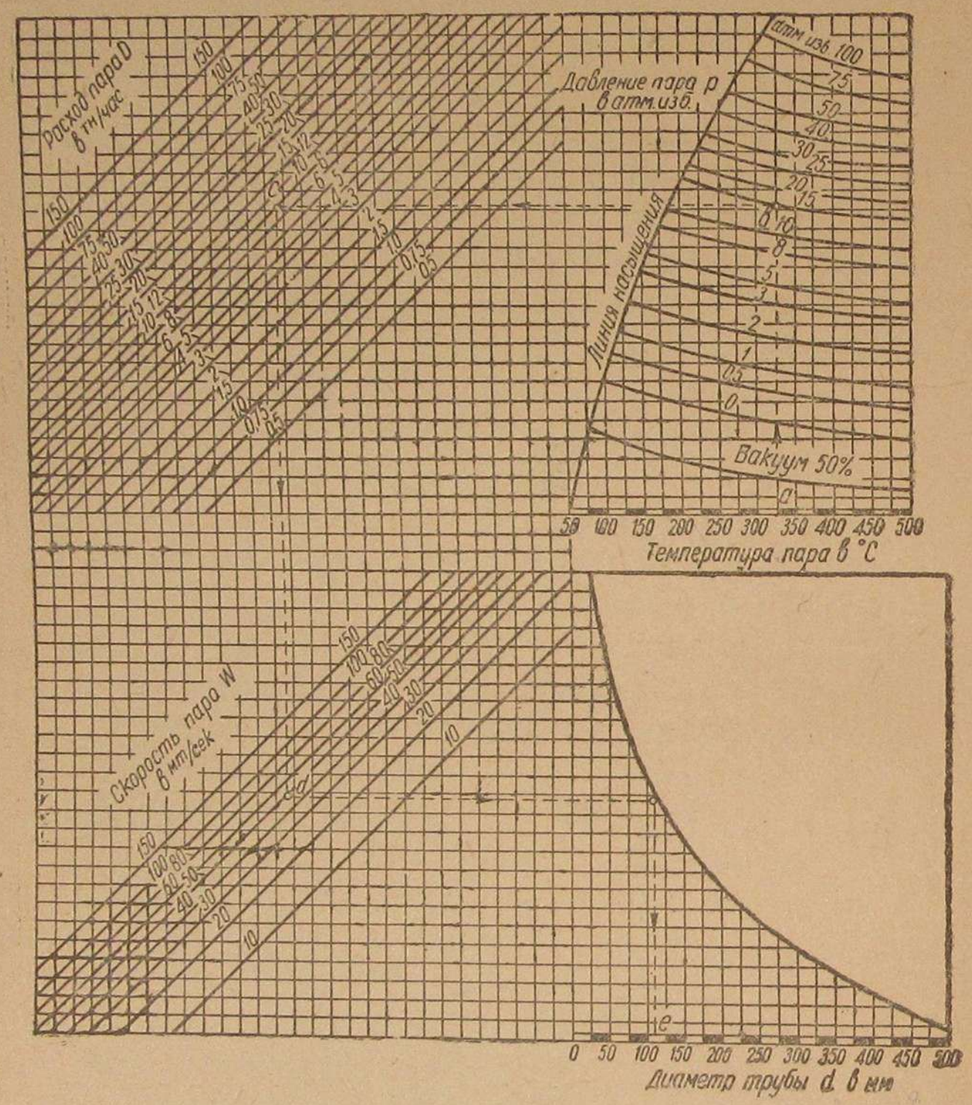


Рис. 76. Диаграмма для определения диаметров паропроводов.

Подставляя значение λ_D в формулу вторую, получим потерю давления:

$$\Delta p = \lambda_D \frac{l}{d} w^2 \gamma.$$

Значения коэфициента сопротивления λ_D могут быть взяты по таблице 40,[1] в зависимости от расхода пара в час и внутреннего диаметра трубы.

[1] Schwedler. Handbuch der Rohrleitungen.

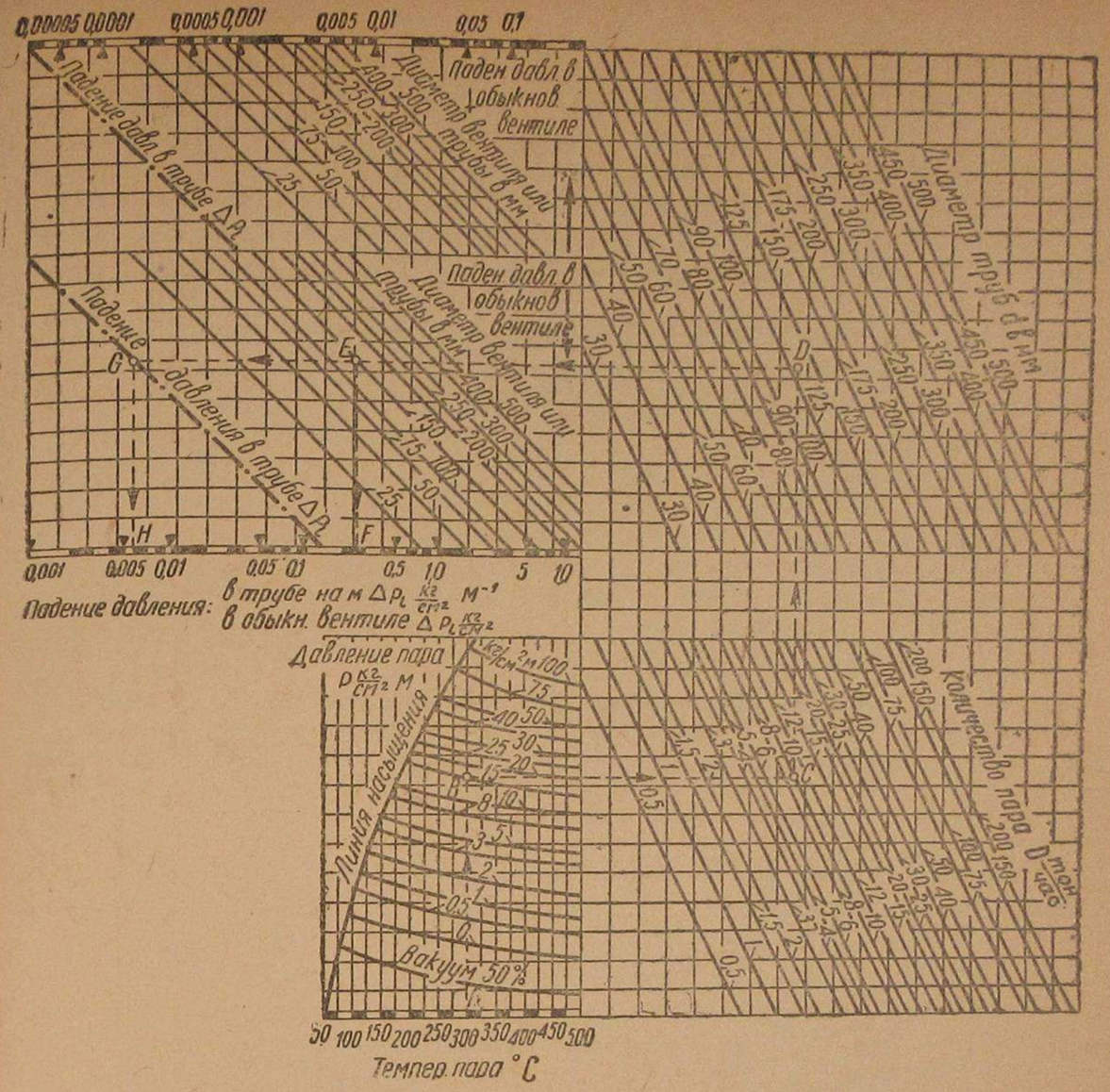


Рис. 77. Диаграмма для определения потери давления в паропроводах и вентилях.

Пример. Дано: Температура пара $t = 300°$ Ц точка A
Давление пара $p = 15$ кг/см² м точка B
Количество пара $D = 10$ т/час. „ C
Диаметр трубы $d = 125$ мм „ D

1. Гладкие уравнители

$$\Delta p = 1{,}15 \text{ до } 1{,}85\ (\Delta p_п)\ L.$$

L—выпрямленная длина уравнителя.

2. Волнистые уравнители

$$\Delta p = 3{,}8 \text{ до } 5{,}0\ (\Delta p_п)\ L.$$

3. Задвижки:

Кениг (обыкновенная)

$$\Delta p_з = 0{,}7\ (\Delta p_{вен.}).$$

Ферранти

$$\Delta p_з = 0{,}65\ (\Delta p_{вен.}).$$

Гопкинсона с полным проходом

$$\Delta p_з = 0{,}04\ (\Delta p_{вен.}).$$

с $^3/_4$ проходом

$$\Delta p_з = 0{,}10\ (\Delta p_{вен.}).$$

Найти: падение давления $p_п$ на 1 пог. м паропровода; падение давления $p_{вен.}$ в обыкновенном вентиле.

Расчет паропровода может быть произведен при помощи диаграммы, представляющей уравнение непрерывности: $G \cdot v = F \cdot w$; на рис. 76 изображена диаграмма для определения диаметров паропроводов.

Пример. Определить диаметр трубопровода в свету d по следующим заданиям: температура пара $t = 325°$, давление пара $p = 15$ кг/см², количество пара $D = 10$ т/час, скорость пара $w = 50$ м/сек.

Решение. На масштабе температур отмечаем точку a, соответствующую заданной температуре 325°; через точку a проводим вертикаль до пересечения с изобарой 15 кг/см² ман., отмечаем точку b. Затем из этой точки b проводим горизонталь до пересечения с линией количества пара ($Д$ т/час) 10 т/час в точке c; далее из точки c проводим вертикаль до пересечения с прямой на диаграмме скоростей в соответствие с заданной скоростью = 50 м/сек. и от точки d—горизонталь до кривой на диаграмме диаметров трубопроводов. Вертикаль, проведенная на этой диаграмме, отсекает в точке e на горизонтальной оси значение соответствующего диаметра трубопровода d в мм.

Диаграмма для определения потери давления в трубопроводах и вентилях—рис. 77—построена по уравнению потерь давления в трубопроводах:

$$p_т = \frac{Cw^2}{vd} \cdot \frac{кг/см^2}{м}.$$

Пример. Дана температура пара $t = 300°$ — на диаграмме соответствует точка A. Вертикаль, проведенная через эту точку, в пересечении с изобарой 15 кг/см² дает точку B; горизонталь, проведенная через эту точку на диаграмме количества пара D, дает точку C в пересечении с линией 10 т/час. Далее, проведенная вертикаль на диаграмме диаметра паропровода дает точку D и горизонталь, проведенная через эту точку, в пересечении с линиями соответствующих диаметров трубопроводов и вентилей дает E и G, которые проектируются на горизонтальную ось, где получаются точки H и F.

Точка H дает потерю давления в трубопроводе на 1 м трубы $p_т = 0{,}006 \frac{кг/см^2}{м}$, а точка F—потерю в вентиле $p_{вен} = 0{,}24$ кг/см². Падение давления в трубопроводе $p_т$ выражается в $\frac{кг/см^2}{м}$ и в нормальном вентиле $\Delta p_{вен}$ в кг/см².

По опытам Баха:

1) Гладкие уравнители—$\Delta p = 1{,}15$ до $1{,}85\ (\Delta p_т) \cdot L$, где L—вытянутая длина уравнителя.

2) Волнистые уравнители—$\Delta p = 3{,}8$ до $5{,}0\ (\Delta p_т) \cdot L$.

3) Задвижки:

Обыкновенная задвижка—$\Delta p_з = 0{,}9\ (\Delta p_т)$.
Ферранти „ —$\Delta p_з = 0{,}65\ (\Delta p_т)$.
Гопкинсона „ с полным проходом—$\Delta p_з = 0{,}04\ (\Delta p_т)$.
Гопкинсона „ с $^3/_4$—проходом—$\Delta p_з = 0{,}10\ (\Delta p_т)$.

3. Потеря давления в вентилях и коленах

При конструировании паропроводов необходимо избегать крутых закруглений и угловых соединений, особенно под острым углом, причиняющих потерю давления пара. Запорные вентили создают потерю давления, равную потере в прямой трубе длиной 16,4 м с отверстием в свету, одинаковым с проходным отверстием в вентиле.

Опытами Eberle было установлено сопротивление, создаваемое вентилями, у которых диаметр отверстия равен 70 мм, при скоростях пара 9,4 и 14,2 мм. Опытные величины сведены в таблице 41.

Таблица 41

Абсолютн. давление перед вентилем кг/см²	Потеря давления за вентилем кг/см²	Количество пара, протекающего в 1 час кг	Скорость пара м/сек	Сопротивление вентиля, привед. к длине трубы м
10,09	0,0109	668	9,37	16,1
10,86	0,0277	1081	14,14	16,7

Потеря давления при протекании пара через закругление соответствует потере в трубе длиной 12 м.

Для вентиля, имеющего отверстие — диаметр 100 мм, потери давления, в зависимости от скорости, приведены в таблице 42.

Таблица 42

Скорость пара	15	20	25	30	40	50	60
Потери в кг/см² . . .	0,037	0,066	0,10	0,148	0,264	0,408	0,59

Вообще же потери в фасонных частях могут быть определены по формуле:

$$\Delta p = \varphi \frac{W_п^2}{2g} \gamma \text{ кг/см}^2,$$

где по определению Brabbée

$\varphi = 6{,}5—7$ . . . . для обычных вентилей,
$\varphi = 4$ . . . . . „ уравнителей удлинения,
$\varphi = 1$ . . . . . „ тройников,
$\varphi = 1{,}5—2$ . . . . „ 90° угловых поворотов,
$\varphi = 0{,}3$ . . . . . „ 90° чугунных колен,
$\varphi = 0$ . . . . . „ 90° закруглений с $r > 5d$.

В системе паропроводов особое значение имеют так называемые лирообразные уравнители, которые вставляются в паропроводы для поглощения удлинений при нагревании трубопроводов. Эти уравнители были испытаны C. Bach и им были определены их сопротивления. На рис. 78 представлена схема уравнителя, а в таблице 43 приведены размеры (в мм).

Таблица 43

Диаметр в свету d	55	100
Длина по фланцам B	1090	1145
Вылет A	1060	990
Радиус кривизны R	325	350
„ закругления R_1	275	225
Длина средней линии	3165	13,75
Высота волн	8—8,5	2960
Число волн	100	69
Наружный диаметр труб, покрытых кизельгуром	160	210

Уравнители с диаметра 55 мм были испытаны при температуре от 350 до 364°, давлении от 5,0 до 12,8 кг/см² и скорости от 51 до 121 м/сек.

Коэфициент сопротивления был определен:

для волнистых уравнителей $\beta = 0{,}0032—0{,}0036$;

для гладких „ $\beta = 0{,}00163$.

Для волнистых неизолированных труб величина β больше на 4—5%, чем для изолированных.

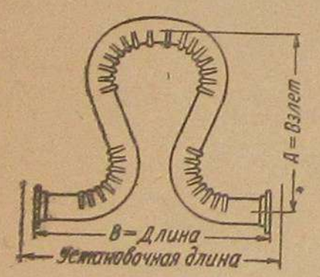


Рис. 78. Схема лирного уравнения удлинения паропровода.

Для гладких неизолированных труб—β больше на 8—9%.

Волнистые уравнители с диаметром 100 мм испытывались при температуре 354°, при давлении 3—9 кг/см² и скоростях пара 25—55 м/сек.; для этих уравнителей—$\beta = 0{,}00492$.

Сопротивления в гладких уравнителях с диаметром 55 мм вдвое меньше, чем у волнистых уравнителей. Если подсчитать по формуле Eberle сопротивление 1 м прямой трубы, то сопротивление гладкой трубы уравнителя в 1 м с диаметром 55 мм равняется сопротивлению прямой трубы в 1,55 м, и сопротивление волнистого уравнителя—3,1—3,5 м прямой трубы, а 1 м уравнителя с диаметром 100 мм соответствует 4,7 м прямой трубы.

Повышенному удельному сопротивлению при протекании пара в волнистых уравнителях соответствует их большая упругость. В таблице 44 приведены значения потери давления от сопротивления в арматуре паропроводов, выраженные эквивалентными длинами прямых труб в метрах.

4. Схемы паропроводов

Устройство паропроводов может быть выполнено по одной из следующих схем:

1) простой одиночный паропровод;
2) двойной паропровод;
3) кольцевой паропровод;

Таблица 44

Потери давления от сопротивления в арматуре, выраженные эквивалентными длинами прямых труб в метрах[1]

Номинальный диаметр	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Колено 90° R=4d	1	1,7	2,5	3,2	4	5	6	7	8	9
Колено 90° R=3d	1,5	2,5	4	5	6	7,5	9	11	12,5	14
Лир. компенсат.	4	9,5	14,5	20	27	33	41	48	54	64
Лир. компенсат., складчатый[2]	5	12	18,5	26	34	42	52	61	69	82
Отвод складчатый[2], R=4d	1,7	2,8	4,2	5,5	6,5	8,5	10	12	13,5	15
Отвод складчатый[2], R=3d	2,4	4	6,5	8	9,5	12	14,5	17,5	20	23
Т-образное соединение	3,6	5,5	8	6,3	15,5	21	26	32	36	43
Т-образное соединение	4,5	7	9,5	14	19	25	31	38	43	51
Т-образное соединение	5	11,5	17,5	26	36	47	65	74	84	100
Т-образное соединение	4,5	9	14,5	20	26	34	41	47	54	63
Норм. вентиль	13	31	50	73	100	130	160	200	230	270
Норм. вентиль	10	20	32	45	61	77	95	115	130	150
Косва вентиль	2,1	5	8,5	12	16	20	25	30	38	39
Возвратн. клапан	3,2	7,5	12,5	18	24	30	38	44	50	59
Параллельн. задвижка	0,6	1,5	2	3	4	5	6,5	7,5	8,5	10

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
203	Таблица 44	Отвод лист. железный	Отвод складчатый железный	авт.

[1] Schwedler. Handbuch der Rohrleitungen.

[2] При волнистой поверхности лирообразных компенсаторов и отводов величины эквиваленты трубопроводов удваиваются.

В системе паропроводов особое значение имеют так называемые лирообразные уравнители, которые вставляются в паропроводы для поглощения удлинений при нагревании трубопроводов. Эти уравнители были испытаны C. Bach и им были определены их сопротивления. На рис. 78 представлена схема уравнителя, а в таблице 43 приведены размеры (в мм).

Таблица 43

Диаметр в свету d	55	100
Длина по фланцам B	1090	1145
Вылет A	1060	990
Радиус кривизны R	325	350
„ закругления R_1	275	225
Длина средней линии	3165	13,75
Высота волн	8—8,5	2960
Число волн	100	69
Наружный диаметр труб, покрытых кизельгуром	160	210

Уравнители с диаметра 55 мм были испытаны при
от 350 до 364°, давлении от 5,0 до 12,8
121 м/сек.

Коэфициен

4- неизолированных труб величина β больше на
..., чем для изолированных.

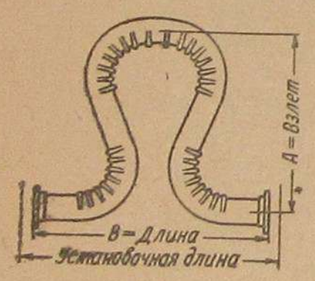


Рис. 78. Схема лирного уравнения удлинения паропровода.

Для гладких неизолированных труб—β больше на 8—9%.

Волнистые уравнители с диаметром 100 мм испытывались при температуре 354°, при давлении 3—9 кг/см² и скоростях пара 25—55 м/сек.; для этих уравнителей—β = 0,00492.

Сопротивления в гладких уравнителях с диаметром 55 мм вдвое меньше, чем у волнистых уравнителей. Если подсчитать по формуле Eberle сопротивление 1 м прямой трубы, то сопротивление гладкой трубы уравнителя в 1 м с диаметром 55 мм равняется сопротивлению прямой трубы в 1,55 м, и сопротивление волнистого уравнителя—3,1—3,5 м прямой трубы, а 1 м уравнителя с диаметром 100 мм соответствует 4,7 м прямой трубы.

Повышенному удельному сопротивлению при протекании пара в волнистых уравнителях соответствует их большая упругость. В таблице 44 приведены значения потери давления от сопротивления в арматуре паропроводов, выраженные эквивалентными длинами прямых труб в метрах.

4. Схемы паропроводов

Устройство паропроводов может быть выполнено по одной из следующих схем:

1) простой одиночный паропровод;
2) двойной паропровод;
3) кольцевой паропровод;

Таблица 44

Потери давления от сопротивления в арматуре, выраженные эквивалентными длинами прямых труб в метрах[1]

Номинальный диаметр	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Колено 90° R=4d	1	1,7	2,5	3,2	4	5	6	7	8	9
Колено 90° R=3d	1,5	2,5	4	5	6	7,5	9	11	12,5	14
Отвод чугунный	3,2	7,5	12,5	18	24	30	38	44	50	55
Отвод лист. железный	7,5	17,5	29	42	56	70	87	102	115	137
A = 12; B = 12										
Лир. компенсат.	4	9,5	14,5	20	27	33	41	48	54	64
Лир. компенсат., складчатый[2]	5	12	18,5	26	34	42	52	61	69	82
Отвод складчатый[2], R = 4d	1,7	2,8	4,2	5,5	6,5	8,5	10	12	13,5	15
Отвод складчатый[2], R = 3d	2,4	4	6,5	8	9,5	12	14,5	17,5	20	23
Т-образное соединение	3,6	5,5	8	6,3	15,5	21	26	32	36	43
Т-образное соединение	4,5	7	9,5	14	19	25	31	38	43	51
Т-образное соединение	5	11,5	17,5	26	36	47	65	74	84	100
Т-образное соединение	4,5	9	14,5	20	26	34	41	47	54	63
Норм. вентиль	13	31	50	73	100	130	160	200	230	270
Норм. вентиль	10	20	32	45	61	77	95	115	130	150
Косва вентиль	2,1	5	8,5	12	16	20	25	30	38	39
Возвратн. клапан	3,2	7,5	12,5	18	24	30	38	44	50	59
Параллельн. задвижка	0,6	1,5	2	3	4	5	6,5	7,5	8,5	10

[1] Schwedler. Handbuch der Rohrleitungen.

[2] При волнистой поверхности лирообразных компенсаторов и отводов величины эквиваленты трубопроводов удваиваются.

4) кольцевой с промежуточным соединением;
5) трехпроводный паропровод;
6) групповой паропровод.

На рис. 79 представлен простой одиночный паропровод, состоящий из одного трубопровода с выключательным вентилем по середине его между двумя группами котлов. От каждого котла идет

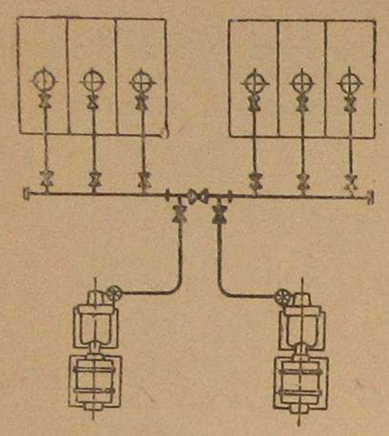


Рис. 79. Простой одиночный паропровод.

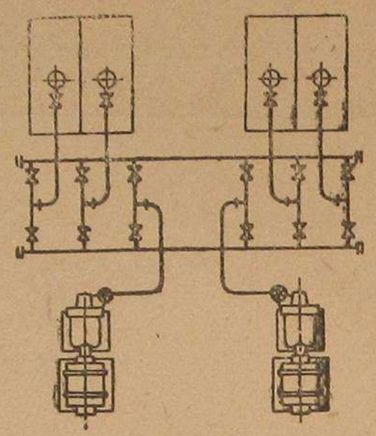


Рис. 80. Двойной паропровод.

соединительный паропровод к главному с двумя запорными вентилями, из которых один, ближайший к котлу, служит для выключения котла при его остановке, а другой, ближайший к общему паропроводу,—для прекращения прохода пара во время остановки котла в соединительный паропровод. При одном запорном вентиле всегда возможна протечка пара в остановленный котел, да и в бездействующем паропроводе застойный пар стал бы сгущаться. Одиночный паропровод применяется в малых установках и отличается простотой и дешевизной; хотя количество вентилей и большое, но они—малых размеров.

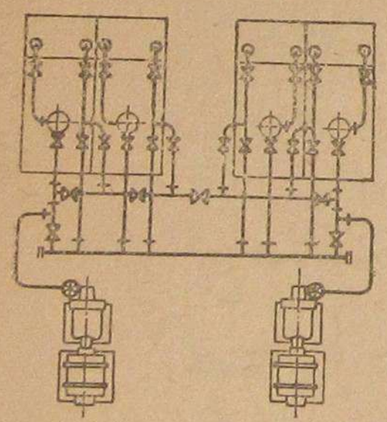


Рис. 81. Соединительный двойной паропровод.

На рис. 80 представлена схема двойного паропровода: одна система паропровода находится под парами, а другая—является запасной. Если в действующем паропроводе произойдет порча, то всегда возможно переключение на другой; но для уверенности в исправном состоянии запасного трубопровода его держат под паром. Иногда же кратковременным пропуском пара удостоверяются, что паропровод в любое время может принять всю нагрузку и, вместе с тем, этот паропровод прогрет для пропуска пара в машину, так как при переключении на холодный паропровод машина могла бы потерпеть аварию. Однако, держание паропровода под паром вызывает добавочные потери пара, вследствие чего работа таким способом обошлась бы дороже, а потому правильнее подавать пар

по обоим паропроводам, регулируя скорость пара на среднюю, экономически допустимую скорость, которая соответствует обычным условиям работы машины.

Каждый паропровод рассчитывается на наибольшую допустимую скорость на 30—40 м/сек.

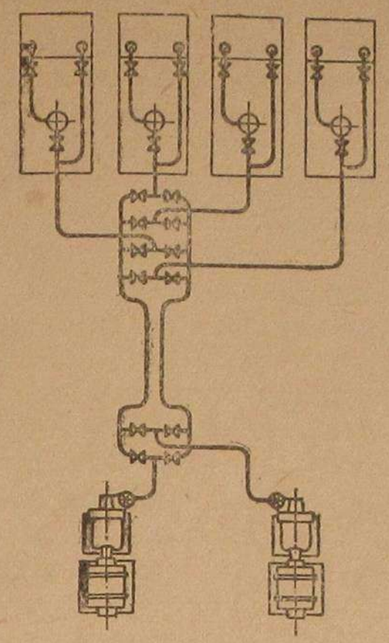


Рис. 82. Двойной паропровод.

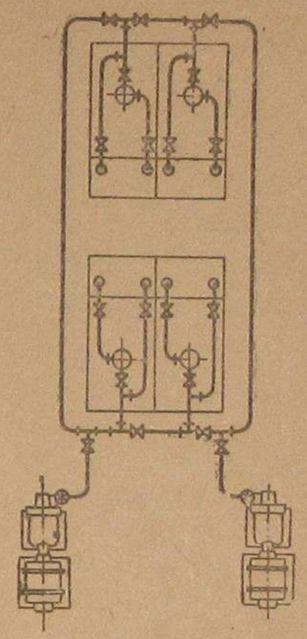


Рис. 83. Кольцевой паропровод.

Для сокращения числа запорных вентилей в системе двойного паропровода можно присоединение котлов к нему выполнять так, как это показано на рис. 81. Здесь на соединительном двойном паропроводе—6 запорных вентилей, тогда как в схеме паропровода — 2 (рис. 80). Для удобства управления запорными вентилями их можно разместить на паропроводах так, что каждый котел и каждая машина будут иметь свой запорный орган, как это показано на схеме рис. 82. Двойной паропровод по сравнению с одиночным имеет вдвое больше фасонных частей и арматуры, а потому его стоимость больше простого в 2—2,5 раза при вентилях меньших диаметров на соединительных трубах между магистралями, чем на одиночном паропроводе. Кольцевой паропровод представлен на рис. 83. По этому чертежу видно, что кольцо может соединять

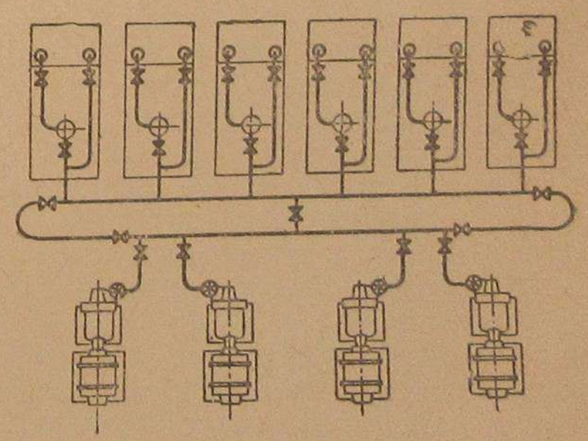


Рис. 84. Кольцевой паропровод специального устройства.

отдельные группы котлов, или же отводы от каждого котла присоединяются к кольцу, которое таким способом соединяется с машинами. При таком устройстве трубопровода не может быть никаких затруднений в случае порчи трубопровода для подачи пара от любого котла в любую машину. Запорные вентили на магистрали установлены около отводов, так что каждая часть кольцевого паропровода может быть выключена. В случае установки большого количества котлов между ветвями кольцевого паропровода, — воспринимающего и отдающего пар,—вставляется поперечный паропровод для выравнивания давления в отдаленных частях кольца (рис. 84).

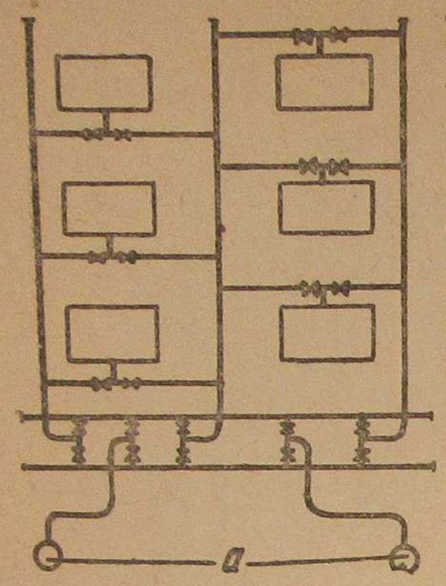


Рис. 85. Трехпроводный паропровод.

Расчет поперечного сечения производится из предположения, что пар идет в машины по обеим сторонам кольца с средней скоростью 25—30 м/сек. При сравнении кольцевого паропровода с двойным, последнему следует отдать предпочтение, так как он имеет меньшую длину, а, следовательно, в нем будут меньшие потери на охлаждение.

Трехпроводная система с двойным парооборотом проводов и трехпроводная кольцевая система паропровода представлены на рис. 85. Средняя соединительная ветвь паропровода дает возможность выравнивать давление в отдаленных частях паропроводной системы. Средний паропровод (рис. 85) рассчитывается на пропуск нормального количества пара, чем определяются давление и малые потери давления и тепла. На рис. 86 изображена двойная кольцевая система паропроводов в установке, где котлы и машины расположены взаимно перпендикулярно. Эта система паропроводов обеспечивает возможность ремонта на ходу в случае обнаружения неплотности или какой-нибудь другой неисправности. Раздельные трубопроводы, самостоятельно обслуживающие каждый турбогенератор или паровую машину установки, применяются в больших, мощных установках с котлами большой паропроизводительности. Подача пара происходит независимо в каждую машину и в случае порчи трубопровода исключается только одна машина, а остальные — работают без каких-либо осложнений. Система раздельных трубопроводов имеет следующие преимущества по сравнению с другими.

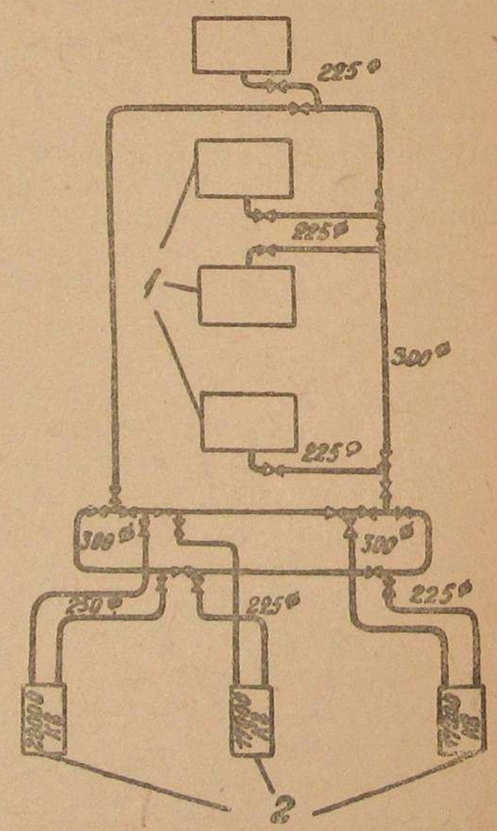


Рис. 86. Двойной кольцевой паропровод.
1—паровые котлы,
2—паровые турбины или машины

1) Меньшие диаметры труб и всей паропроводной арматуры, что делает установку паропровода более дешевой, уменьшает потери тепла и упрощает обслуживание паропроводной сети.

2) Машины паросиловой установки независимы между собой.

Но вместе с тем, групповая система паропроводов имеет существенный недостаток, который заставляет крайне осмотрительно применять ее. В случае порчи трубопровода в одной из машин при ее исправном состоянии она все же выбывает из строя, тогда как при кольцевой и двойной системе возможно быстрое выключение испорченной части трубопровода и переключение машины на один из других котлов с исправными паропроводами. Эта возможность имеет громадное значение во всяких теплосиловых установках, так как порча паропроводов всегда возможна даже при внимательном наблюдении. При изменяющейся нагрузке фабрично-заводских станций или районных, обслуживающих промышленные предприятия, групповая установка паропроводов совершенно непригодна, так как она не представляет возможности, в связи с изменением нагрузки при выключении отдельных машин, использования способности котлов изменять свою паропроизводительность в соответствии с требованиями нагрузки. Выключение или включение какой-либо машины непосредственно сказывается на котле, обслуживающем ее. При выключении какой-нибудь из машин станции, при возможности добавочно нагрузить другие, освободившийся при этом котел использован быть не может. При кольцевой и двух- и трехпроводных системах всегда возможна подача пара из любого котла в любую машину. И если американская практика применяет групповую систему паропроводов, то германская, в противоположность первой, пользуется круговой, в комбинации с двух- и даже трехпроводной системой паропроводов или групповой с параллельным соединением групп.

5. Вспомогательные трубопроводы

В котельной установке наряду с главными паропроводами от котлов к машинам имеют особо важное значение трубопроводы питательных приборов: паропроводы от котла к паровым насосам и инжекторам и водопроводы, подающие воду в котел. Неисправное состояние этих трубопроводов оказывает влияние на всю котельную установку и может даже вызвать взрыв котла.

Трубопроводы, подающие пар из котла к питательным приборам: поршневым насосам, инжекторам и центробежным насосам, проектируются и рассчитываются по тем же соображениям, что и главные паропроводы, и устраиваются простые, двойные или кольцевые. Поперечное сечение трубопроводов к питательным приборам, принимая во внимание подачу пара толчками, рассчитывается на скорость 10—15 м/сек.

Паропроводы к насосам ведутся непосредственно от котла, но при перегретом паре присоединяются к котлу до пароперегревателя. При расширении котельной установки необходимо устанавливать особые паровые насосы для питания удаленных котлов, во избежание больших потерь тепла в чрезмерно протяженных паропроводах. Паропроводы к питательным приборам подчиняются тем же требованиям, как и главные паропроводы; также устраиваются соединения труб, поглотители расширения труб и водоотводчики.

Трубы, подводящие воду к питательным приборам—поршневым насосам,— находятся в иных условиях рабочего состояния, чем водопроводы к инжекторам и центробежным насосам. При поршневых насосах вода засасывается толчками, так как она поступает во время каждого всасывающего хода, и при нагнетательном ходе вновь приобретает ускоренное движение. Для уничтожения вредного влияния переменного движения струи засосанной воды в трубопровод следует ввести воздушный колпак для поглощения толчков.

Во всасывающих паропроводах центробежных насосов и инжекторов вода движется с постоянной скоростью. Скорость движения воды во всасывающих трубопроводах поршневых насосов при длине, не превышающей 30—40 м, принимается около 1 м/сек., но при трубопроводах свыше 40 м до 50 м—0,75 м/сек. Для центробежных насосов можно принимать скорость до 2 м/сек. При пользовании инжектором для питания котлов, имея в виду подачу горячей воды, высота всасывания не должна быть больше 2 м; температура питательной воды может быть доведена до 90°. При прокладке водопроводных труб к питательным приборам необходимо избегать острых колен и применять дуговые соединения больших радиусов. Для предохранения водопроводов от разъедания и, в особенности, от вредного влияния кислорода воздуха, который растворен в воде в количестве 2% по объему, необходимо тщательно наблюдать за плотностью всех соединений водопроводов, через которые может быть засосан воздух. Прокладка водопроводов должна вестись так, чтобы не допустить образования воздушных мешков, для чего трубы следует укладывать с подъемом к насосу. Подъем труб облегчит выход воздуха к насосу и переход в воздушный колпак. На всех поднимающихся участках трубопровода, где имеются закругления, на высших точках необходимо ставить автоматические водяные клапаны и краны для выпуска воздуха. Скопление воздуха в водопроводных трубах и переход его с питательной водой в котлы представляет громадный вред не только для самих трубопроводов, но еще более для котла, где кислород воздуха в присутствии углекислоты производит особо сильное разъедающее действие на стенки котла. При пуске питательного насоса всасывающая труба должна быть заполнена водой, а потому для задержания воды в ней при выключении насоса или для заполнения всасывающей трубы конец ее снабжается обратным клапаном, который устанавливается во всасывающем наконечнике (рис. 87). На рис. 88 показан всасывающий наконечник с двойной сеткой, которую можно снимать и чистить во время работы насоса. Для всасывающих труб в установках с инжекторами всасывающие клапаны не нужны, так как инжектор засасывает воду без предварительного заполнения водой всасывающей трубы, если он расположен над уровнем воды в приемном колодце не выше 6 м. Но все же на конце этой трубы нужно установить сетку для удержания крупного мусора, засоряющего воду.

Для малых установок всасывающий наконечник изготовляется из чугуна, но для больших—всасывающий приемник делают в виде решетки из оцинкованного железа с круглыми отверстиями или с продольными щелями, которые не так быстро засоряются, как круглые. Для подачи холодной воды всасывающие клапаны уплотнятся кожаными или резиновыми прокладками, а при засасывании горячей воды уплотнение всасывающих клапанов делают из красной меди или твердой резины.

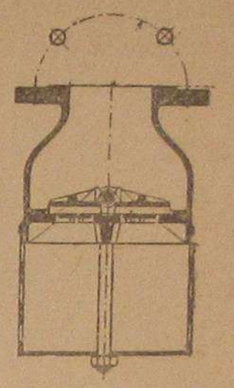


Рис. 87. Конец всасывающей трубы с обратным клапаном.

Нагнетательные трубопроводы от питательных насосов, по которым вода подается в котлы, находятся под котельным давлением; они рассчитываются на давление, превышающее котельное на 2—5 кг/см² для преодоления сопротивлений в трубопроводе. Нагнетательные трубопроводы высокого давления собирают из цельнотянутых стальных труб и соединяют их навальцованными фланцами. Для давлений ниже 10 кг/см² нагнетательные паропроводы делают чугунными. Для предохранения труб от ржавчины наиболее действительные меры—удаление воздуха из воды и уплотнение стыков нагнетательного трубопровода от засасывания воздуха в трубы.

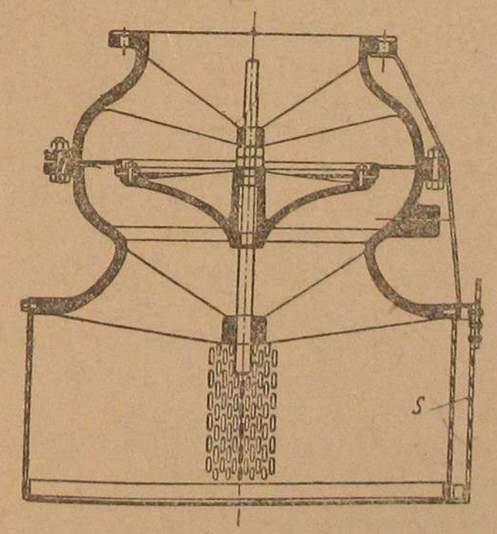


Рис. 88. Всасывающий наконечник с двойной сеткой; *s*—сетка.

Увеличение скорости движения воды в трубопроводе также уменьшает ржавление трубопроводов. Небольшие ответвления нагнетательного трубопровода присоединяются к главному трубопроводу при помощи приваренных отводов, а большие — при помощи литых фасонных частей из чугуна для давлений до 13 кг/см² ман., но для более высоких давлений отводы делаются из литой стали.

Запорные приборы нагнетательных трубопроводов—задвижка или вентили делаются чугунными или из литой стали, у которых седла и конуса изготовляются медные для воды до 100°, а выше этой температуры названные части никелируются или делаются стальными. В нагнетательном трубопроводе у самого котла устанавливается запорная задвижка и питательный обратный клапан, закрывающийся давлением пара при прекращении действия питательного прибора. В насосе у нагнетательного фланца ставят обратный клапан для предохранения его от ударов падающего столба воды в случае порчи или мгновенной остановки.

Воздушные колпаки нагнетательного трубопровода служат для устранения ударов в трубопроводе в установках поршневых насосов. На экономайзерах при выходе воды ставят воздушные колпаки с воздуховыпускными клапанами, так как при нагревании воздух выделяется из воды. Питательные трубопроводы для усиления надежности обслуживания котлов устраивают двойными или по кольцевой системе; при чем этим трубопроводам дают подъем сразу же от насоса для установки воздухоотводных клапанов и кранов на высших точках трубопровода, где будет собираться воздух, выделяющийся из воды. На рис. 89 представлена схема питательных трубопроводов к котельной установке, состоящей из двух групп по 3 котла. Питательная система состоит из кольцевого трубопровода с двойным направлением воды к экономайзерам от питательных насосов котлов. Для поглощения удлинения питательных трубопроводов, возникающих, вследствие их нагревания, при высоком подогреве питательной воды, применяют, как и в паропроводах, лирообразные уравнители удлинения, так как кривые соединения в трубопроводе в данном случае непригодны для поглощения удлинений трубопровода. При расчете питательных трубопроводов принимают скорость воды от 1,5 до 2 м/сек, для поршневых насосов принимают меньшие значения, а для центробежных — большие.

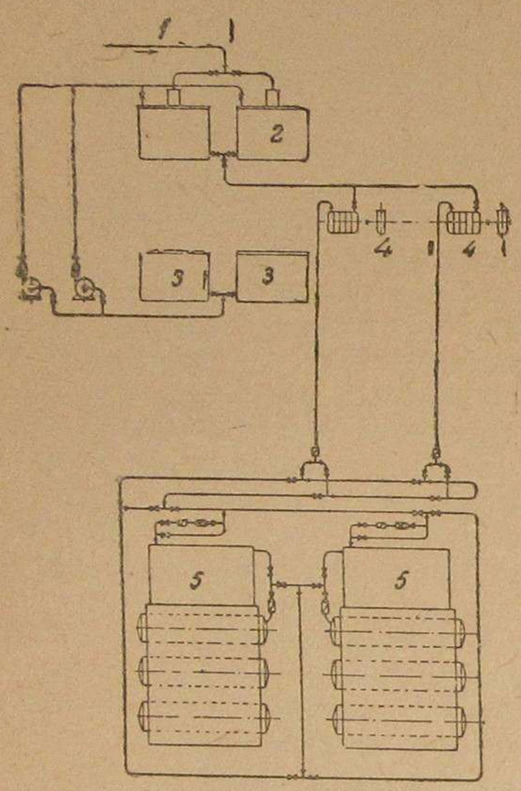


Рис. 89. Схема питательных трубопроводов. *1*—трубопровод конденсационной воды, *2*—конденсатный бак, *3*—резервуары чистой воды, *4*—питательные насосы котлов, *5*—экономайзер.

Трубопроводы отработавшего пара из паровых машин и турбин направляются в холодильники, или же по ним пар подается в специальные технические аппараты для производственного использования, что имеет особо существенное значение в деревообрабатывающем производстве, где механическая обработка древесины всегда соединяется с сушкой ее или с рядом способов обработки древесины, в которых используется отработавший пар, как, например, пропарка, гнутье, варка клеев и другие, а также отопление. При использовании отработавшего пара в технологических целях необходимо тщательно изолировать трубопроводы для уменьшения потери тепла, точно так же эти трубы должны быть снабжены водоотводчиками. А так как использованный в машинах пар, особенно в случае паровых турбин, следует снова направлять для питания паровых котлов, то в трубопроводы отработавшего пара после производственного использования надо включать маслоотделители из сгущенного пара.

Для надежной работы паросиловой установки с использованием пара необходимо сеть паропроводов отработавшего пара устраивать так, чтобы в нее автоматически или по желанию мог быть включен выхлопной паропровод на случай порчи или приостановки работы тех приспособлений, где используется отработавший пар. Кроме того, в приборы использования отработавшего пара необходимо провести паропровод непосредственно из котла с приспособлением для понижения давления при недостатке отработавшего пара. Скорость отработавшего пара в паропроводах не должна превышать 15 м/сек., иначе возрастающие сопротивления уменьшат мощность машин. При проводке выпускных паропроводов нужно избегать крутых поворотов и соединений под острым углом, все соединения отдельных труб должны быть плавные с постепенными переходами. Для удаления из выхлопных паропроводов накапливающегося охлажденного пара в наиболее низких точках надо устраивать водоотводные трубки в виде сифона. Длина сифона зависит от давления в пароотводной трубе: так, при избыточном давлении 0,2 кг/см² длина трубки, заполненная водой, должна быть от 2 до 2,5 м. На верхнем конце выхлопной трубы устанавливается противодождевой колпак, а для выхлопных труб устанавливают водоуловитель-глушитель, улавливающий воду и масло (рис. 90).

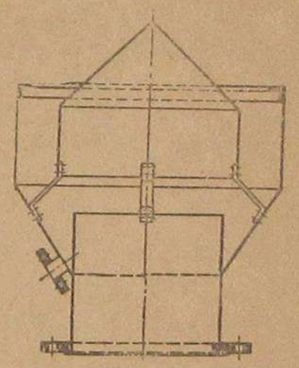


Рис. 90. Водоуловитель—глушитель.

Непременная принадлежность котла—приборы для спуска воды с осаждающимися во время кипения взвешенными частицами котельной накипи, которая при очистке котла отделяется от стенок и собирается в его нижней части. Скапливающуюся грязь в котле следует выпускать, выдувая ее под давлением, не реже одного раза в день во время перерывов в работе. Для возможности свободно производить продувку котла все спускные приборы должны быть легко доступны и установлены с возможностью пользования ими в любое время.

Внутренние части спускных кранов, задвижек и вентилей должны быть кислотоупорны и из никелевой или нержавеющей стали, при чем все поверхности поворотных частей должны быть хорошо пригнаны для обеспечения плотности. Корпусы спускных приборов должны быть стальной отливки. На трубопроводе для спускных вод для обеспечения плотности и предупреждения утечки воды из котла должны быть два запорных прибора: один—у котла, а другой—на конце выпускного трубопровода. Этот трубопровод должен быть сделан из цельнотянутой трубы от котла до задвижки, если же эта труба проходит через дымоход, то ее следует прикрыть слоем огнеупорной глины.

Все трубопроводы, обслуживающие котельную, проводящие пар из котла к машинам, подводящие пар в питательные насосы,

а также водопроводные трубы, питающие котел, должны изготовляться из самого лучшего материала. Для паропроводных труб применяются цельнотянутые трубы с навальцованными фланцами из прессованной стали. При перегретом паре для труб с внутренним диаметром больше 100 мм фланцы закрепляются заклепками или электронаваркой. Для уплотнения фланцевых соединений применяют клингеритовые или металлические уплотнительные прокладки: стальные или никелевые кольца.

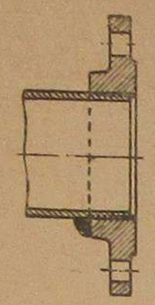


Рис. 91. Навальцованные фланцы.

Фасонные соединения и запорные приспособления изготовляются из литой стали, а уплотнительные поверхности фланцев—из никелевых сплавов. Небольшие отводы от паросборника могут быть приварены.

Паропроводы питательных насосов при высоких давлениях устраиваются из стальных цельнотянутых труб или же из сварных труб, а для всасывающих труб применяют и чугунные. Для предотвращения засоса воздуха необходимо уплотнять соединения труб. Для стальных труб применяют те же уплотнительные средства, как и для главных трубопроводов—навальцованные фланцы (рис. 91), или наваренные или свободные фланцы с упором в закраину трубы (рис. 92). Соединения всасывающих труб для холодной воды уплотняются резиновыми прокладками; для нагретой воды в качестве уплотнителей соединений применяют клингеритовые прокладки. Фасонные части трубопроводов большого диаметра отливают из чугуна, малых диаметров—гнут из стальных труб или приваривают к ним.

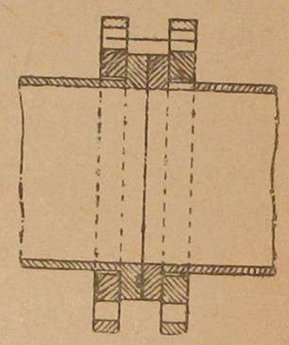


Рис. 92. Свободные фланцы с упором в приваренную закраину трубы.

Нагнетательные трубы для подачи воды насосами в котлы при высоких давлениях устраиваются из цельнотянутых стальных труб, а для соединений применяют навальцованные фланцы или фланцы, закрепленные заклепками, как для соединения паровых труб. Применяются и чугунные трубы, но до давления 10 кг/см² ман.; эти трубы легко подвергаются разъеданию. Для уменьшения разъедания применяют большие скорости в трубопроводах и употребляют все меры для предотвращения засоса воздуха в трубы. Замену железных и стальных питательных труб медными, которые отличаются большой сопротивляемостью растяжению, не приходится производить в виду весьма высоких цен на медные трубы.

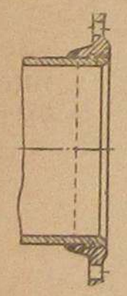


Рис. 93. Нарезные фланцы.

Паропроводы, отводящие отработавший пар при малых внутренних диаметрах до 50 мм, собираются из газовых труб. Для больших размеров применяют сварные трубы, а для высоких давлений—трубы, сварные водяным газом. Фасонные части приваривают к трубам или их отливают из чугуна или же из стального литья. Фланцы для соединения труб применяют следующих типов: нарезные фланцы (рис. 93) при больших размерах—навальцованные фланцы или свободные фланцы на забортованном

конце (рис. 94). Фланцевые соединения уплотняются клингеритом. При большой длине труб отработавшего пара вводят в сеть паропровода уравнитель удлинения: трубы из волнистого железа, плоские компенсаторы или гибкие металлические трубы.

6. Уменьшение потерь тепла в паропроводах

Общие положения

Паропроводы, подающие пар из котлов в паровые машины или турбины, создают большие потери тепла и пара; особенно эти потери возрастают при длинных трубопроводах и большом диаметре их. Для уменьшения тепловых потерь необходимо принять следующие меры:

1) отводить сгущающийся пар;

2) организовать правильное использование горячей конденсационной воды;

3) изолировать трубы, фланцы и все фасонные части.

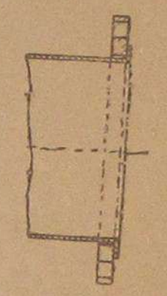


Рис. 94. Свободные фланцы на забортованном конце.

Отвод конденсационной горячей воды из паропроводов необходим не только потому, что вода в трубопроводе является причиной потери тепла, но еще и для сохранения постоянства сечения паропровода, так как вода уменьшает его и тем самым затрудняет проход пара. Присутствие воды в паропроводах создает опасность при подаче пара в машины или турбины, вследствие возможности разрушительного действия гидравлических ударов в цилиндрах, паровых машинах и в паровых турбинах, где прежде всего разрушаются лопатки. Если же пар подается для отопления, то скопляющаяся конденсационная вода глушит поверхность нагрева отопительных приборов и, кроме того, остывая в период прекращения отопления, поглощает тепло во время пуска свежего пара.

При расчете трубопровода, т. е. при определении диаметра труб, наиболее соответствующего заданным условиям подачи пара, необходимо принять во внимание: потери давления и потери тепла в паропроводе.

Чем больше диаметр труб, тем меньше потеря давления, но, вместе с тем, больше потери тепла, а, следовательно, соответственно выше стоимость паропровода.

При выборе и проектировании паропровода необходимо иметь в виду, что практически выгоднее понижать потери от охлаждения и стоимость паропровода, уменьшая диаметр, хотя при этом возрастают потери давления.

Наибольшие потери давления возникают в период наибольшей нагрузки машины и, в особенности, ее перегрузки, т. е. возникают периодически и, вообще, бывают кратковременны. Потери же тепла в паропроводе имеются постоянно, во время подачи пара. Потери тепла экономически более убыточны, чем потери давления, которые могут быть покрыты повышением давления в котле и то кратковременным. Для уменьшения потери тепла через поверхность паро-

проводов применяют изоляцию из плохих проводников или воздушные прослойки. Для изоляции трубопроводов, в которых протекает пар высокого давления и температуры, применяют материалы, не поддающиеся действию высокой температуры, т. е. не разлагающиеся и не подвергающиеся сухой перегонке, а также сохраняющие свою форму и механические свойства в теплоизолирующей конструкции при внешнем механическом воздействии.

Основные теплоизолирующие материалы следующие:

кизельгур (инфузорная земля), колошниковая пыль, гипс, мел, угольная зола, асбест, диатомит. Кроме этих материалов неорганического происхождения применяются вещества органические: пробка, торфяная мелочь, размельченный кокс, древесный уголь. Эти вещества, подготовленные надлежащим образом, т. е. подвергнутые размельчению и образующие однородную массу, склеиваются пропитывающими веществами, из которых главнейшие: неорганического происхождения — глина, жидкое стекло, кальцинированная сода; органического происхождения—деготь, смола, декстрин (получаемый из крахмала обжигом), казеин (обладающий клейкостью и получаемый осаждением из нагретого снятого молока), меласса-патоки сахарного производства. Основное свойство теплоизолирующих свойств тела—их способность образовать пористую массу с наибольшим объемом пор при наименьшей величине,—наименьшая величина пор создает наибольшее и равномерное распределение воздуха, содержащегося в теле. С этой целью вышеперечисленные материалы после размельчения подвергают воздействию разрыхляющих веществ для увеличения пористости, среди которых главнейшее: вода, необходимая для формовки изолирующих масс, при чем испаряющаяся вода образует в них поры. К основному теплоизолирующему материалу прибавляют пробку в виде порошка, заранее протертого для увеличения объема пор в основной массе при его прогревании.

Изолирующие пластические материалы доставляются в виде порошка. При устройстве изоляции их предварительно смешивают с водой, а затем слоями наносят на изолируемый трубопровод, который предварительно просушивается. Точно так же следующий слой изоляции кладут на нижележащий только после тщательной просушки последнего.

Изолирующая обмазка обматывается холстом, который покрывается масляной краской для предохранения изолирующего слоя от влаги. Очень часто из таких же изолирующих материалов изготовляются твердые полуцилиндрические скорлупы различной толщины.

Фланцы трубопроводов оставляют свободными при изоляции труб и затем их покрывают специальными разборными футлярами. Для сохранения изоляции на паропроводах ее иногда покрывают жестяными футлярами. При высокой стоимости изоляции устройство ее быстро окупается, так как изоляция дает экономию от 60 до 90% тепла, теряющегося неизолированными паропроводами.

Распространение теплоты от тела нагретого к телу холодному осуществляется тремя способами: проводимостью, переносом и лучеиспусканием.

Проводимостью теплота распространяется внутри твердого тела непосредственно от частицы к частице; переносом теплота

распространяется в капельной или газообразной жидкости, в которых легко перемещающиеся частицы переносят тепло, вследствие изменения своего местоположения. Такое изменение может происходить, вследствие внешних механических причин, создающих принужденное перемещение частиц или внутренних условий — разности температур, вследствие чего изменяется удельный вес частиц и создается свободное перемещение частиц.

Распространение теплоты излучением происходит в процессе превращения теплоты на поверхности нагреваемого тела в лучистую энергию, которая проходит через прозрачную среду, отделяющую одно тело от другого. На поверхности этого тела она частью поглощается и частью, превращаясь в лучистую энергию, излучается вновь. Излучение происходит с поверхности тела и при низких температурах по направлению к другим телам.

Однако, при малых разностях температур в распространении теплоты преобладает проводимость и излучением отдается лишь незначительная часть тепла. Определяя потерю тепла паропроводами, можно без большой погрешности принять отдачу только теплопроводимостью.

Теплота, распространяясь от пара в окружающее воздушное пространство через стенку трубы и изолирующий слой, преодолевает сопротивление внутренней поверхности паропровода, сопротивление стенки трубы, изоляции и затем наружной поверхности. Величина сопротивлений на пути теплового потока зависит от ряда обстоятельств, которые характеризуются коэфициентами теплопередачи. Коэфициент теплопередачи от пара зависит от скорости пара в трубопроводе и состояния внутренней поверхности, распространение теплоты в стенке трубы и изоляции зависит от ее толщины и коэфициента теплопроводности материала трубы и изоляции. Точно так же коэфициент теплопередачи на внешней поверхности зависит не только от ее свойств, но и от состояния окружающей среды, так, в случае отдачи тепла с поверхности паропровода—от состояния воздуха, т. е. будет ли он неподвижен или в движении, а также от его влажности. Все эти обстоятельства, влияющие на распространение теплоты, объединяются одним общим коэфициентом теплопередачи.

Обозначая:

Q — количество теплоты, передаваемое через погонный метр трубы,

k — общий коэфициент теплопередачи $\frac{\text{кал.}}{\text{м}^2\text{-ч}\,^\circ\text{Ц}}$

t_1 — температура пара,

t_2 — температура окружающего воздуха,

t_{c1} — температура внутренней стенки,

t_{c2} — температура наружной стенки,

$r_{вн.}$ — внутренний радиус трубы,

$r_{нар.}$ — наружный радиус трубы,

$r_{и.}$ — наружный радиус изолирующего слоя,

δ — толщина стенки трубы,

α_1 — коэфициент теплопередачи внутренней поверхности,
α_2 — коэфициент теплопередачи наружной поверхности,
λ — коэфициент теплопроводности материала трубы.

Тогда количество теплоты, проходящей через 1 м² трубы по внутренней поверхности, может быть представлено уравнением:

$$Q = \alpha_1 \, 2\pi r_{вн.} \cdot (t_1 - t_{c1}) \text{ кал/м}^2.$$

Количество теплоты, проходящее через стенку трубы:

$$Q = \frac{\lambda}{ln \frac{нар.}{r}} 2\pi (t_{c1} - t_{c2}) \text{ кал/м}^2 \text{ час.}$$

От наружной стенки в окружающее пространство топлота будет распространяться по уравнению:

$$Q = \alpha_2 2\pi r_{нар.} \cdot (t_{c2} - t_2) \text{ кал/м}^2 \text{ час.}$$

Исключая температуры стенки из трех приведенных уравнений, получим общее уравнение:

$$Q = \frac{2\pi}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}} (t_1 - t_2) \text{ кал/м}^2 \text{ час.}$$

Если же труба имеет длину l и отдача тепла происходит в течение времени τ, обозначая выражение:

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}} = k,$$

которое и представляет общий коэфициент теплопередачи, тогда количество тепла, переданное во время τ трубы длиной l м, будет:

$$Q = 2\pi k (t_1 - t_2) l\tau \text{ кал.}$$

Если труба изолирована, то стенки трубы состоят из нескольких слоев и выражение общего коэфициента теплопередачи может быть написано так, в случае однослойной изоляции:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_1} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_2} ln \frac{r_{и.}}{r_{нар.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}}.$$

Этот расчет может быть произведен в предположении, что труба развернута, тогда она превращается в плиту и все формулы для расчета количества теплоты, проходящей через стенку, могут

быть приложены к расчету трубы. Толщина стенки будет $\delta = r_{нар.} - r_{вн}$ и общий коэфициент теплопередачи представится так:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Площадь плиты должна быть равна площади 1 пог. м трубы F, при чем ее сопротивление теплопередаче должно быть такое же, как у 1 пог. м трубы.

Количество теплоты, передаваемое через стенку:

Стр.	Строка	Напечатано	По чьей вине
216	Формула 8 сверху	$Q = \frac{\lambda}{ln \frac{нар.}{r}} 2\pi (t_{c1} - t_{c2})$ кал/м² час.	тип.

Должно быть

$$Q = \frac{\lambda}{ln \frac{r_{нар}}{r_{вн}}} 2\pi (t_{c1} - t_{c2}) \text{ кал/м}^2 \text{ час.}$$

Стр.	Строка	Напечатано	По чьей вине
216	**Формула 4 снизу**	$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_1} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_2} ln \frac{r_{и.}}{r_{нар.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}}$	авт.

Должно быть

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_1} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_2} ln \frac{r_{и.}}{r_{нар.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{и.}}}$$

Для подсчета количества тепла, отдаваемого паропроводом, как видно из предыдущего, необходимо знать значения коэфициентов теплопередачи:

1) для кипящей воды $\alpha = 2000—6000$; при высоких температурах и больших скоростях следует брать большие значения;

2) для охлажденного пара $\alpha = 10\,000$;

3) для неподвижной воды $\alpha = 500—3000$, бо́льшие значения при высоких температурах и больших разностях температуры; для движущейся воды: 2000—5000, в зависимости от скорости воды;

α_1 — коэфициент теплопередачи внутренней поверхности,
α_2 — коэфициент теплопередачи наружной поверхности,
λ — коэфициент теплопроводности материала трубы.

Тогда количество теплоты, проходящей через 1 м² трубы по внутренней поверхности, может быть представлено уравнением:

$$Q = \alpha_1 \, 2\pi r_{вн.} \cdot (t_1 - t_{c1}) \text{ кал/м}^2.$$

Количество теплоты, проходящее через стенку трубы:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_1} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda_2} ln \frac{r_{и.}}{r_{нар.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}}.$$

Этот расчет может быть произведен в предположении, что труба развернута, тогда она превращается в плиту и все формулы для расчета количества теплоты, проходящей через стенку, могут

быть приложены к расчету трубы. Толщина стенки будет $\delta = r_{нар.} - r_{вн}$ и общий коэфициент теплопередачи представится так:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Площадь плиты должна быть равна площади 1 пог. м трубы F, при чем ее сопротивление теплопередаче должно быть такое же, как у 1 пог. м трубы.

Количество теплоты, передаваемое через стенку:

$$Q = kF(t_1 - t_2),$$

где

F—поверхность 1 пог. м трубы, должно быть равно количеству теплоты, передаваемому через поверхность трубы, т. е.

$$kF(t_1 - t_2) = \frac{2\pi}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{н.}}}(t_1 - t_2),$$

а так как $F = 2\pi r_{ср.}$ и, подставляя k из уравнения для плоской стенки, получаем:

$$2\pi r_{ср.} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = 2\pi \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}}.$$

Откуда

$$r_{ср.} = \frac{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\lambda} ln \frac{r_{нар.}}{r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}},$$

зная $r_{ср.}$ можно определить F.

При применении тонкостенных труб, имеющих высокую теплопроводность, последнее уравнение перепишется так:

$$r_{ср} = \frac{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}{\frac{1}{\alpha_1 r_{вн.}} + \frac{1}{\alpha_2 r_{нар.}}}.$$

Для подсчета количества тепла, отдаваемого паропроводом, как видно из предыдущего, необходимо знать значения коэфициентов теплопередачи:

1) для кипящей воды $\alpha = 2000—6000$; при высоких температурах и больших скоростях следует брать большие значения;

2) для охлажденного пара $\alpha = 10\,000$;

3) для неподвижной воды $\alpha = 500—3000$, бо́льшие значения при высоких температурах и больших разностях температуры; для движущейся воды: 2000—5000, в зависимости от скорости воды;

4) при спокойном воздухе в случае горизонтальных изолированных трубопроводов:

$$\alpha = 5{,}0 + 0{,}05\,(t_{c2} - t_2).$$

В случае нахождения трубопроводов в потоке воздуха, значение коэфициента теплопередачи определяется по формуле Нуссельта:

$$\alpha_2 = 0{,}067\,\frac{\lambda_{вз}}{\alpha_н}\,\left(1273 + \frac{d_н w}{v}\right)\,0{,}716$$

$\lambda_{вз.}$ —коэфициент теплопроводности воздуха:

$$\lambda_{вз} = 0{,}01894\,(1 + 0{,}00228\,t),$$

где d—диаметр трубы,
w—скорость воздуха,
v—вязкость паров воды, значения которой даны для различных температур:

t	0	5	10	15	20	40	60	80	100	°C
$10^7 \cdot v$	17,75	15,15	13,1	11,4	10,1	6,59	4,67	3,51	2,74	m^2/S

Ниже приведены значения α_2—коэфициента теплопередачи от поверхности трубы различных диаметров при скоростях воздуха 5 и 10 м/сек., при температуре воздуха 20°.

d мм:	100	125	150	175	200	250	300	400	500	1000
$w =$ 5 м/сек.	27,4	25,6	24,3	23,1	22,2	20,9	19,7	18,1	17,1	13,9
$w = 10$ „	44,5	41,5	39,4	37,6	36,2	34,0	32,2	29,7	27,8	22,9

Для жидкостей, протекающих в трубах, коэфициент теплопередачи α_1 для некоторых случаев имеет следующие значения (таблица 45).

В таблице 46 приведены значения коэфициентов теплопроводности материалов, которые применяются для изоляции паропроводов.

Определение наивыгоднейшей толщины изоляции[1]

Наивыгоднейший размер слоя изоляции на паропроводах определяется на основании следующих соображений:

1) потеря теплоты уменьшается все медленнее с увеличением толщины слоя изоляции;

[1] Die Wärme № 9, 1929.

Таблица 45

	Давление кг/см²	Температура °Ц	⌀ трубы мм	Скорость м/сек.	α	Примечание
Воздух	1	20	22	5	2,5	
	1	20	22	50	15,0	
	10	20	22	5	16,5	
	10	20	22	50	100	
	10	100	22	5	14	
	10	100	22	50	82	
Перегретый пар	8	250	22	10	180	
	8	250	22	50	670	
	15	250	22	10	330	
	15	250	22	50	1200	
	15	400	22	10	260	
	15	400	22	50	95	
Вода		0	20	0,5	1700	Трубы цельно-тянутые, без шва; латунные. Для стальных труб эти значения α меньше приведенных в таблице на 15%.
		50	20	0,5	2900	
		0	20	1,5	4100	
		50	20	1,5	7000	
		0	20	0,5	1250	
		50	20	1,5	3000	

2) капитальные затраты на производство изоляции возрастают несколько быстрее, чем толщина изоляции на паропроводе.

Таблица 46

Коэфициент теплопроводности λ

Материал	λ	Температура °Ц	Удельный вес. кг/м³
Пробочный пласт	0,044	20	200
Торфяная пыль	0,07	20	195
Опилки	0,0504	30	190
Асбестовая шерсть	0,1020	100	380
Стеклянные нити	0,043	100	219
Шлаковая шерсть (плотно утрамбованная)	0,0525	100	450
Кизельгур	0,057—0,07	100	250—330
Магнезиальные изолирующие покрышки с асбестом	0,0683	70	298
Обожженные кизельгуровые камни	0,120	300	510
Альефол (тонкие алюминиевые листы)	0,06	250	—

В каждом частном случае для каждого паропровода необходимо определить наивыгоднейшую толщину изоляции, в зависимости от диаметра паропровода. Толщина изоляции, сокращающая потерю тепла в наибольшей мере, требует наименьших капитальных затрат по производству изоляции паропроводов. Для выгодности изоляции необходимо соблюдение еще одного условия: наименьших расходов по содержанию изоляции в исправности. Итак, экономически выгоднейшая толщина изоляции зависит от ряда величин:

1) диаметра паропровода,
2) температуры пара и воздуха,
3) коэфициента и теплопроводности изоляции,
4) капитальных затрат на устройство изоляции,
5) расходов на погашение,
6) расходов на содержание изоляции в исправности,
7) стоимости потери тепла в теплопроводе на одну калорию,
8) длительности подачи пара в год.

Итак, выгоднейшая толщина изоляции определится в том случае, если сумма годичных затрат—проценты на капитальные затраты и потери теплоты будут наименьшими.

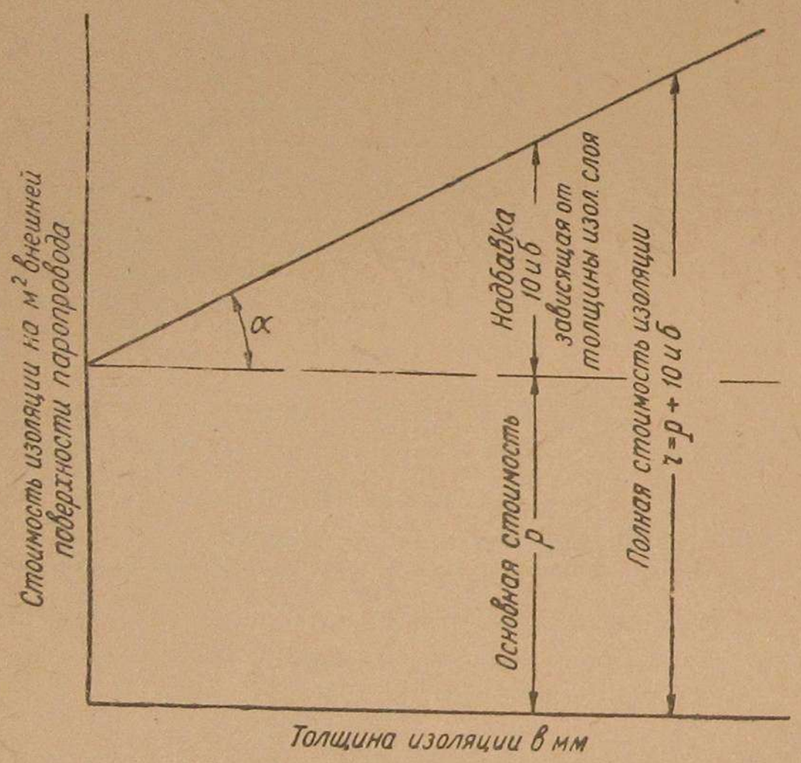


Рис. 95. Диаграмма стоимости изоляции 1 м² внешней поверхности паропровода.

Обозначим:
G—сумма годичных затрат,
I—стоимость изоляции,
$\frac{m}{100}$—погашение,
Q—общая потеря теплоты в кал./час,
q—стоимость миллиона калорий,
τ—число часов работы в год,
d—наружный диаметр паропровода (м),
l—длина паропровода (м).

Стоимость 1 м² изоляции зависит от рода применяющихся материалов, способа выполнения изоляции, всей толщины изоляции и толщины слоев.

Сумма годичных затрат представляется таким уравнением:

$$G = I\frac{m}{100} + Qq\tau\ 10^{-6}.$$

Стоимость изоляции слагается из двух частей: основной, которая определяется родом примененного материала, его доброкачественностью и изготовлением, и надбавочной, которая возрастает пропорционально толщине изоляции.

Изменение цены изоляции может быть представлено прямолинейной диаграммой в координатах, где по оси абсцисс откладывается толщина изоляции в миллиметрах, а по оси ординат — стоимость изоляции 1 м² внешней поверхности паропровода (рис. 95).

На этой диаграмме:

p—основная стоимость изоляции,
u—надбавочная стоимость на 1 см толщины,
δ—толщина изоляции в мм.

Тогда полная стоимость 1 м² изоляции изобразится таким уравнением:

$$r = p + 10\ u\delta.$$

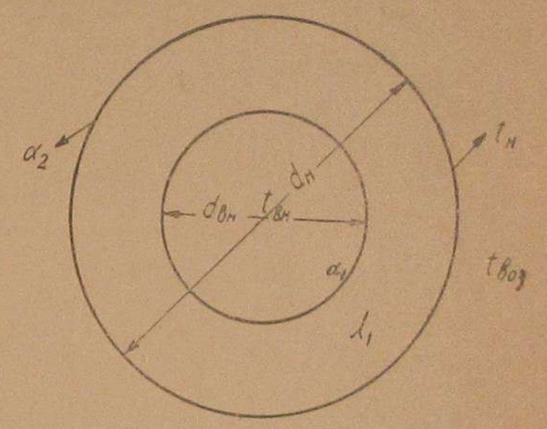


Рис. 96. Схема поперечного сечения трубопровода с изоляцией для определения потерь тепла через изолирующий слой.

Количество капитальных затрат на 1 пог. м² поверхности паропровода представится так:

$$G = \pi d_н\ (p + 10\ u\delta).$$

Процентное начисление, принимая во внимание погашение:

$$G_1 = \pi d_н (p + 10\ u\delta)\frac{m}{100}.$$

Определение потерь теплоты обусловливается предположением, что в паропроводе имеется только отдача тепла наружу, т. е. естественное охлаждение при установившемся состоянии.

Потеря теплоты через изолирующий слой—рис. 96 определится так:

Количество теплоты, распространяющееся через слой изоляции:

$$Q = \frac{2\pi(t_{вн} - t_н)}{\frac{1}{\lambda}\ ln\frac{d_н}{d_{вн}}}.$$

То же количество теплоты будет передано с наружной поверхности изоляции:

$$Q = \sigma_2\ (t_н - t_{вз})\ \pi d_н.$$

Температуру воздуха $t_{вз}$ принимаем равной 0°.

Из вышенаписанных уравнений тепла получаем:

$$\alpha_2 (t_н - t_{вз}) \pi d_н = \frac{2\pi (t_{вн} - t_н)}{\frac{1}{\lambda} ln \frac{d_н}{d_{вн}}},$$

откуда определяется температура на наружной поверхности изоляции:

$$t_н = \frac{t_{вн}}{1 + \frac{1}{2\lambda} ln \frac{d_н}{d_{вн}} \alpha_2 d_н}.$$

Подставляя в уравнение, представляющее теплоту, отдаваемую наружу, получим:

$$Q = \alpha_2 t_н \pi d_н - \frac{\alpha_2 \pi d_н t_{вн}}{1 + \frac{1}{2\lambda} ln \frac{d_н}{d_{вн}} \alpha_2 d_н}$$

или

$$Q = \frac{2\pi\lambda t_{вн}}{\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н} + ln \frac{d_н}{d_{вн}}}.$$

Годовая потеря тепла с поверхности изоляции паропровода на 1 пог. м стоит:

$$G_2 = \frac{2\pi\lambda t_{вн} q\tau}{\left(\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н} + ln \frac{d_н}{d_{вн}}\right) 10^6}.$$

Полная затрата: проценты на капитальные и другие затраты и стоимость потерянного тепла может быть представлена в виде следующего выражения:

$$G = \frac{\pi m}{100} d_н (p + 10\ u\delta) + \frac{2\pi\lambda t_{вн} q\tau}{\left(\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н} + ln \frac{d_н}{d_{вн}}\right) 10^6}.$$

Для определения минимального значения функции G, выражающей полную затрату в год, берем первую производную, по независимой переменной, которой является $d_н$, приравниваем нулю и, в зависимости от знака второй производной, определяем значение наивыгоднейшей толщины изоляции.

Таким образом:

$$\frac{dG}{dd_н} = \pi \cdot \frac{m}{100} (p + 10\ ud_н - 5\ ud_{вн}) - \frac{2\pi\lambda t_{вн} q\tau}{10^6} \frac{\frac{1}{d_н} - \frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н^2}}{\left(\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н} + ln \frac{d_н}{d_{вн}}\right)^2} = 0.$$

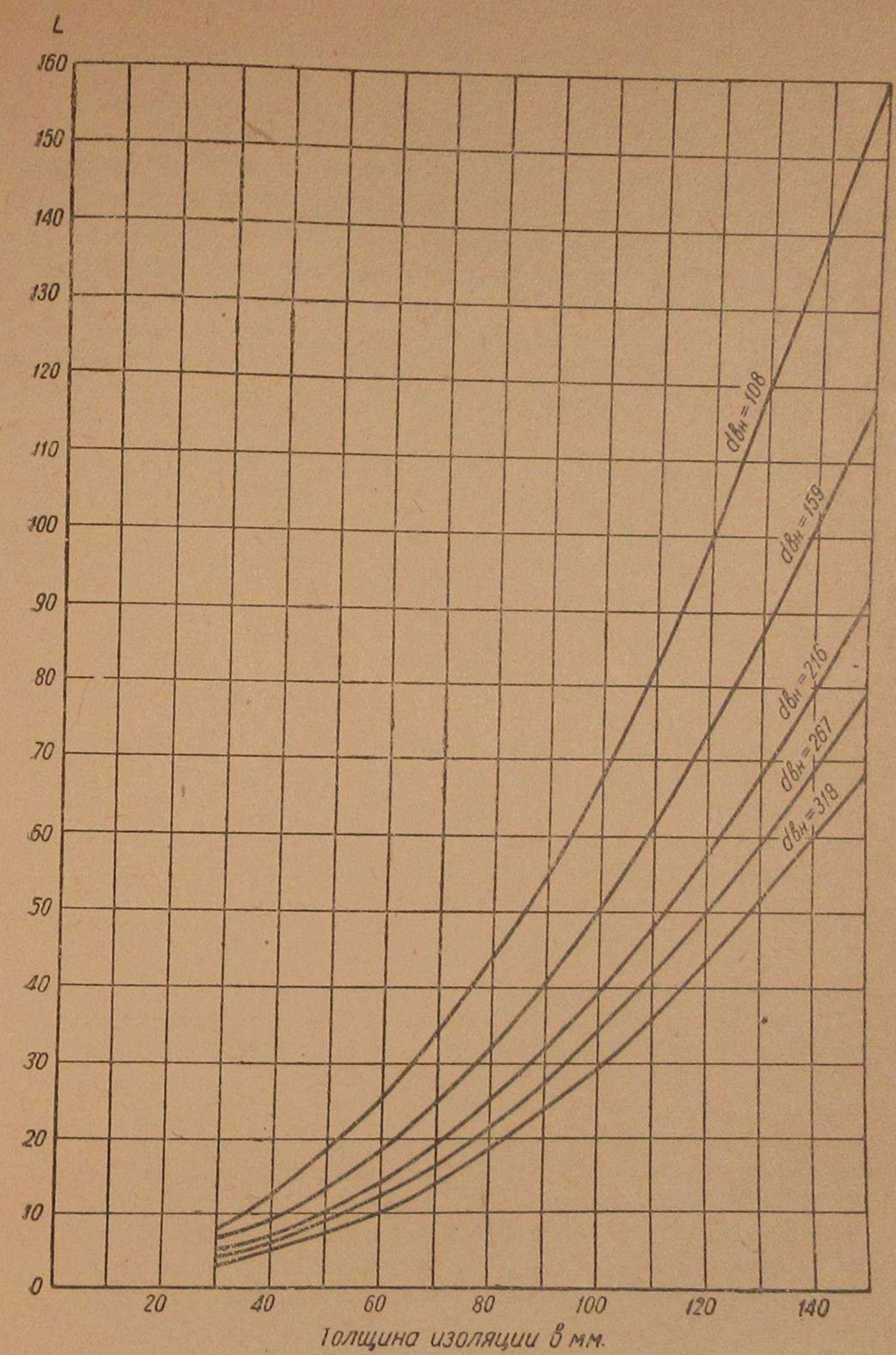


Рис. 97. График для определения толщины изоляции в зависимости от диаметра паропровода, температуры пара, стоимости тепла, капитальных затрат и числа рабочих часов в году.

Из этого уравнения получаем:

$$(*)\ldots\ldots \frac{d_н}{2\lambda}\,\frac{(p+10\,ud_н-5\,ud_{вн})\cdot\left(\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н}+ln\frac{d_н}{d_{вн}}\right)^2}{1-\frac{2\lambda}{\alpha_2 d_н}}=\frac{t_{вн}\,q\tau}{\frac{m}{100}\cdot 10^6}.$$

В левой части этого выражения находятся величины, которые должны быть выбраны $d_н$, λ и α_2 для данного сорта изоляции.

Задаваясь определенными значениями толщины изоляции для различных значений внутреннего диаметра, можно построить ряд кривых, представляющих (правую) часть выражения (*).

На рис. 97 представлены такие кривые, по которым можно определить толщину изоляции для заданных значений внутреннего диаметра изолирующего слоя, который и есть наружный диаметр паропровода.

Имея заданные—температуру пара $t^\circ_{вн}$, стоимость миллиона калорий пара — q, число рабочих часов в год и погашение, нужно определить наивыгоднейшую толщину изоляции.

По этим заданиям вычисляется правая сторона уравнения (*):

$$L=\frac{t_{вн}\cdot q\cdot\tau}{\frac{m}{100}\cdot 10^6}.$$

Значение L наносят по оси ординат (рис. 97) и проводят горизонталь до пересечения с кривой, соответствующей внутреннему диаметру изоляции или наружному паропроводу. Перенося эту точку на ось абсцисс, получим наивыгоднейшее значение толщины изоляции соответствующим заданным условиям.

7. Отвод воды из паропроводов

Пар при пропуске из котлов в машины частично охлаждается в паропроводах — сначала в холодных паропроводах, вследствие значительной разности температур, а затем, при установившемся движении в паропроводах, вследствие отдачи тепла через стенки труб наружу.

Появляющаяся вода в паропроводах должна быть отведена в самом непродолжительном времени, иначе машины могут подвергнуться действию гидравлических ударов, которые оказывают на машину губительное влияние. Поломка вентилей, разрывы фланцевых соединений труб, разрушение лопаток в паровых турбинах и порча паровых машин в значительной мере являются последствием гидравлических ударов, которые производятся скопившейся в паропроводах водой под действием быстродвижущегося пара. И не только во время работы машин пар должен быть удален из паропроводов, но и во время их остановки. Так как при пуске пара в трубопроводы застоявшаяся в них вода будет вынесена в машину или турбину со всеми тяжелыми последствиями; необходимо отметить, что попадание воды вместе с паром в паровую машину или

турбину понижает мощность и, вообще, длинные паропроводы от котлов к машинам следует постоянно держать под паром, чтобы не давать им охлаждаться. Пониженный подогрев паропроводов во время кратковременных остановок машин, хотя и является накладным расходом, но прекращение подачи пара в паропроводы вызывает еще большие потери при новом отогревании их.

Для постоянного удаления воды из паропроводов применяют особые приборы, которые называются водоотделителями и водоотводчиками или конденсационными горшками. Для того чтобы водоотводчики работали непрерывно и даже во время остановки работы машины, а, следовательно, и при прекращении подачи пара, паропроводы кладут с уклоном к машине.

Действие водоотделителя заключается в следующем: поток пара при входе в прибор резко меняет свое направление, огибая поперечные стенки, устроенные внутри него; затем пар проходит через трубки, соединяющие наружное пространство с внутренними частями прибора, и сетки. Частицы воды при изменении направления движения потока пара выпадают из него и задерживаются на сетке водоотделителя и стекают вниз прибора, откуда по трубке выбрасываются давлением пара. Простейшего типа водоотделитель представлен на рис. 98. Пар поступает сверху и перемещается влево или обратно слева вверх, выделяющаяся вода стекает в горшок, откуда отводится по трубке периодическим открытием крана.

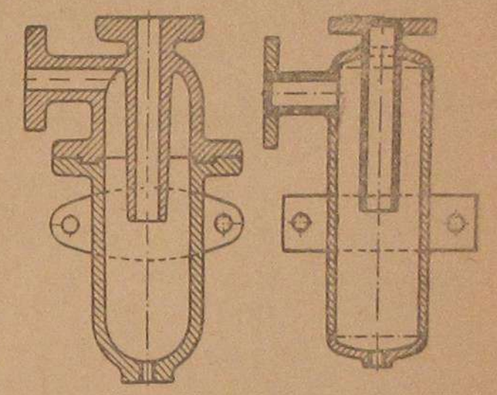


Рис. 98. Простейший водоотделитель.

Для паропроводов насыщенного пара низких давлений небольшого диаметра водоотделители делаются литые из чугуна, при более высоких давлениях и перегретом паре—из литой стали. В установках с большой паропроизводительностью водоотделителям придают форму котла с сварными швами.

В новых установках очень высокого давления водоотводчики изготовляются цилиндрической формы без шва, кованые из высокосортной стали.

У водоотводчиков больших размеров и для паропроводов высокого давления швы должны быть сварные внахлестку, так как только такая конструкция обеспечивает продолжительную плотность, клепаные конструкции не гарантируют исправности швов, так как заклепки сдают, вследствие переменности температурных и иных внутренних напряжений, возникающих при гидравлических ударах, которые часто повторяются в водоотводчиках. Особенно часто происходят гидравлические удары в водоотводчиках, включенных в паропроводную сеть паровых машин, которые потребляют пар толчками. Пар из котлов на-ряду с водой несет с собой мельчайшие частицы котельной накипи, которая, попадая в паровые турбины, оседает на лопатках, что при больших числах оборотов

паровых турбин угрожает целости лопаток, вследствие динамических влияний. Для предохранения турбинных лопаток следует ставить непосредственно перед машиной, после ближайшего водоотводчика, особую сетку с ячейками в 2 мм, которую можно сменять для задержания взвешенных частиц, увлекаемых паром.

Рис. 99. Смотровое стекло.

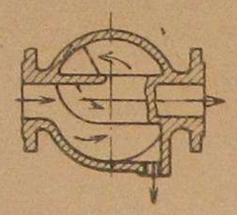


Рис. 100. Шаровой водоотводчик.

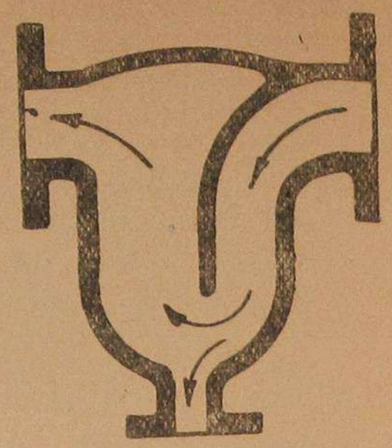


Рис. 101. Цилиндрический водоотводчик.

Охлажденный пар в поверхностных холодильниках при паровых турбинах представляет чистую перегонную воду, так как в этих устройствах пар не смешивается с загрязненной охлаждающей водой, а в самой турбине пар не загрязняется смазочным маслом; перегонная вода должна быть использована для питания котлов. Во всяком деревообрабатывающем предприятии затрачивается пар на сушила и отопление; использованный пар в этих устройствах конденсируется и затем спускается в особые водосборники, откуда вода спускается в отепленный бассейн при лесопильных заводах, так как вода из пара, использованного в технических целях, имеет более низкую температуру, чем из холодильника. Смешивание всех сортов отбросной воды из всех паропроводов дает слишком большие тепловые потери и делает тем самым невыгодным питание котла такой водой.

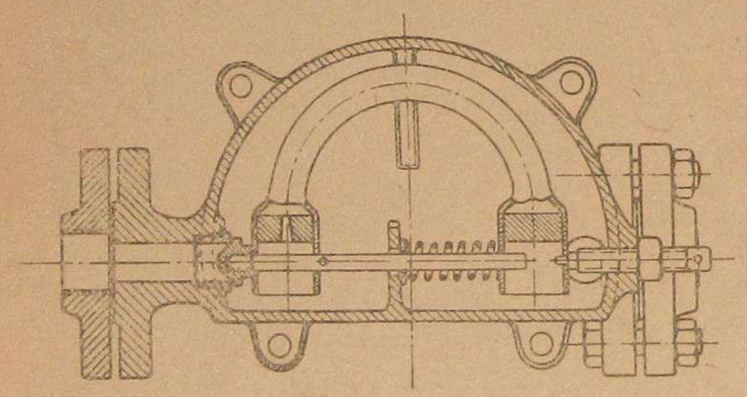


Рис. 102. Конденсационная коробка с пружинным затвором.

Лучше сгущенный пар из холодильников направлять в котлы, а весь остальной—использовать для подогрева отепленного бассейна или для других технических надобностей.

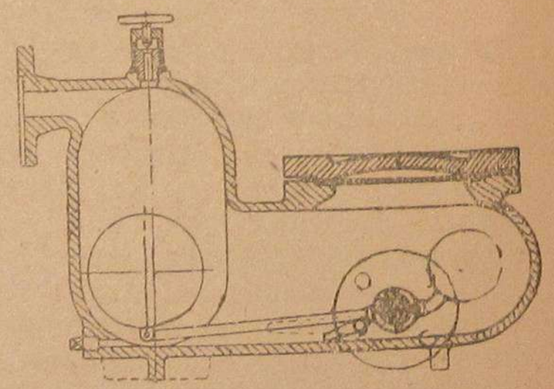


Рис. 103. Конденсационный горшок с поплавком сист. „Зейферта".

Сток воды из мест скопления в трубопроводах совершается при помощи конденсационных горшков.

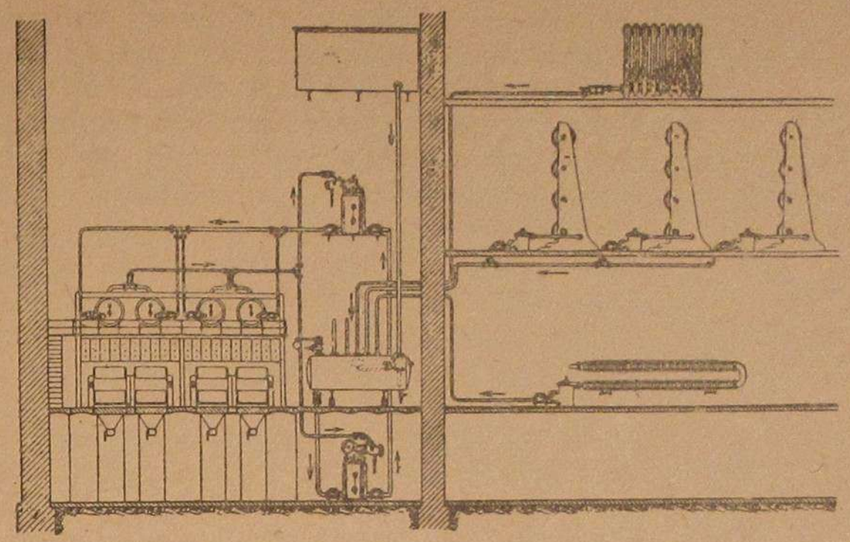


Рис. 104. Установка водоотводчика.

Принцип действия конденсационных горшков заключается в следующем: в горшке имеется всплывающий поплавок, который соединен при помощи рычагов с вентилем или золотником. При накоплении воды в конденсационном горшке поплавок всплывает и непосредственно поворачивает запорный прибор — золотник или клапан, который выпускает скопившуюся воду.

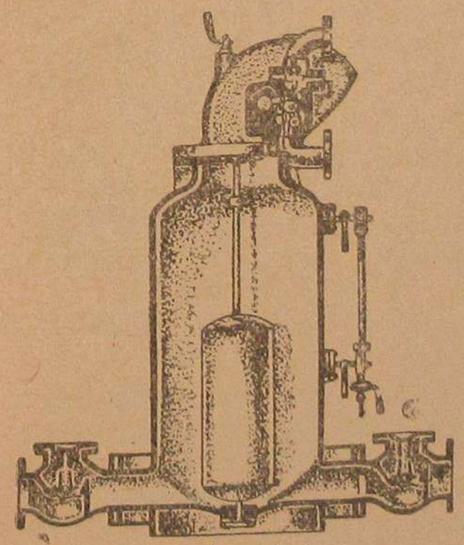


Рис. 105. Водоотводчик, подающий воду непосредственно в котел.

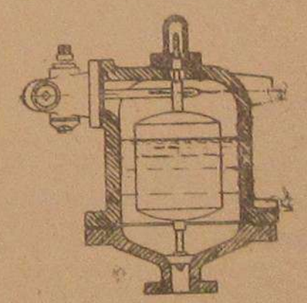


Рис. 106. Воздухоудалитель.

Для удаления накапливающегося в конденсационном горшке воздуха в верхней части его имеется соответствующий выпускной воздушный клапан.

Паропроводы низкого давления снабжаются конденсационными отводчиками воды, в которых на спускные вентили действует осо-

бое устройство, состоящее из разных металлов, имеющих разные коэфициенты расширения. Конденсационные водоотводчики изготовляются для низких давлений и влажного пара—из чугуна, а для перегретого пара—из литой стали; вентили и заслонки выполняются из нержавеющей стали. Для наблюдения за действием этих приборов устанавливают за ними смотровые стекла или трехходовые краны (рис. 99). Для смены конденсационного горшка или его чистки без остановки паропровода следует в этой части поставить обходную ветку паропровода с запорным вентилем, а перед и за конденсационным горшком—вентиль для его выключения. Для паропроводов к насосам устанавливают простейшие шаровые водоотводчики (рис. 100 или рис. 101). Для больших паропроводов ставят большие сварные цилиндрические водоотводчики, так как у клепаных—очень скоро ослабевают швы, вследствие переменных тепловых напряжений, с подходящим внутренним водоотделительным устройством, в зависимости от направления движения пара и положения фланцев, к которым присоединяется водоотводчик. Такие же водоотводчики применяются для трубопроводов высокого давления. Конденсационные водоотводчики или конденсационные горшки автоматически направляют воду из водоотводчиков в водосборники у насосной установки. Такие конденсационные горшки представлены на рис. 102 и 103. Применяются еще особые водоотводчики, подающие сгущенный пар непосредственно в котел; такие приборы показаны на рис. 104 и 105. Для удаления скопления воздуха из водопроводных труб устанавливаются особые воздухоудалители (рис. 106).

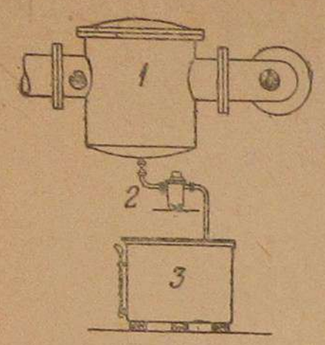


Рис. 107. Установка маслоудалителя. *1*—маслоудалитель для выхлопа, *2* — конденсационный горшок, *3*—отстойный бак открытого типа.

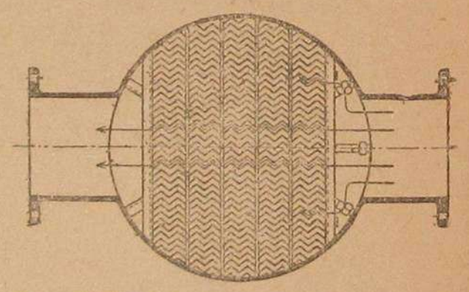


Рис. 108. Схема маслоудалителя.

Раньше было указано на необходимость удалять масло из конденсационной воды из холодильников при паровых машинах или из трубопроводов отработавшего пара для подачи очищенной воды для питания в котел. Рис. 107 представляет установку маслоотделителя и его разрез, а рис. 108 — схему маслоотделителя.

XIX. ПАРОВЫЕ МАШИНЫ

В условиях работы деревообрабатывающей промышленности паровые машины являются двигателями, которые имеют широкое распространение и еще долго будут занимать в ней первенствующее положение, особенно в лесопильных заводах малой и средней величины и для временных установок. И только теперь в деревообрабатывающей промышленности стало развиваться строительство крупных производственных объединений, нуждающихся в больших силовых установках в несколько сот и даже тысяч лош. сил, которые будут обслуживаться паровыми турбинами. Построение паровых машин на заводах в СССР пока еще не получило должного размера.[1] Однако, можно полагать, что ряд преимуществ паровых машин в эксплоатации—допускаемая перегрузка, а также выгодность и удобство использования отработавшего пара,—приведет к возобновлению большего построения паровых машин. Поршневая паровая машина с непосредственным приводом электрогенератора с мощностью до 500 л. с. и с мощностью до 1000—1500 л. с., с отбором пара или противодавлением более экономична, чем паровая турбина.

Хотя в настоящее время строят паровые турбины малых мощностей, в виде турбин особого типа или с зубчатой передачей, однако, для электростанции небольших размеров, какими являются силовые станции деревообрабатывающих предприятий с непременным использованием отработавшего пара при давлениях 3—7 кг/см², установка таких турбин не всегда выгодна и удобна. Турбины малых типов не могут нести перегрузки, тогда как паровые машины обладают в полной мере способностью нести перегрузку. В силу условий производства перегрузка машины - двигателя в лесопильном производстве неизбежна при одновременной загрузке лесопильных рам и станков. Оставляя в стороне разнообразные типы паровых машин с устарелыми системами парораспределения—золотниками, кранами и клапанами, необходимо остановиться на современных новейших типах паровых машин, которые должны получить применение в деревообрабатывающих заводах.

Наиболее распространенная паровая машина в настоящее время—горизонтальная паровая машина с клапанным распределением. Паровая одноцилиндровая машина работает на холодильник, в котором давление 0,15 кг/см² абс. Такая машина может быть выполнена, как машина простого расширения, с распределением Лентца или Кольмана, или в виде прямоточной машины Штумпфа. Одноступенчатая машина может быть применена для работы с противодавлением для использования пара в технических и производственных целях.

Одноцилиндровые машины простого расширения с конденсацией в настоящее время строятся для давлений 15—16 кг/см² абс.; при более высоких давлениях применяются машины двойного или тройного расширения.

Горизонтальные паровые машины выполняются с распределением Лентца, которое по простоте устройства, бесшумности работы и особо точной регулировке должно быть признано одним из лучших. Эти машины наиболее известных машиностроительных заводов выполняются с большим числом оборотов,—до 250 при умеренных скоростях поршня, что обеспечивает спокойный ход машины.

---

[1] Можно отметить постройку стационарных паровых машин с противодавлением на Сумском машиностроительном заводе.

Эти свойства влияют на удешевление и размеры генератора с непосредственным соединением. Прежде паровые машины строились с числом оборотов 75—100; подобные машины можно видеть и теперь на лесопильных заводах в СССР.

В современных паровых машинах применяются такие же давления и перегретый пар, как и в турбинах—12—32 кг/см² и выше до 40 кг/см² (есть машины с давлением 100 кг/см² абс.—завод Гартмана в Саксонии и Борзига в Берлине) и пар с температурой 320—350°.

Повышение давления и температуры пара улучшает экономичность расхода пара и топлива. В таблице 47 даны: относительная полезность и расход пара в одноцилиндровой паровой машине мощностью 750 инд. л. с. при различных давлениях, температуре пара 350° и разрежении в холодильнике 0,15 кг/см² абс.

Таблица 47

Давление пара при впуске (350°) кг/см² абс.	10	12	14	16
Относительная полезность	63,7	63,4	63,1	62,8
Расход пара на инд. л. с. час кг	5,25	5,08	4,95	4,87

Новейшие паровые машины выполняются в следующих конструкциях:

1) одноцилиндровые машины;

2) двойного расширения—однокривошипные (с промежуточной частью);

3) двойного расширения—однокривошипные—укороченные (без промежуточной части);

4) сдвоенные—двойного расширения;

5) прямоточные.

Машины тройного расширения строятся очень редко и для условий деревообрабатывающей промышленности они не подходят, так как их стоимость, полезное действие, нужная площадь, расходы по содержанию и расход пара не представляет особых преимуществ по сравнению с машинами однокривошипными двойного расширения с перегретым паром.

Все паровые машины с использованием отработавшего пара для технических целей строятся с холодильниками и для выпуска из них пара в случае необходимости в отбор или в сеть противодавления.

В машинах двойного расширения перепад давления используется в двух цилиндрах. Такая машина может быть выполнена с противодавлением. Пар, поступающий в цилиндр высокого давления с давлением 30 кг/см² абс. при 350°, работает в нем, например, до давления 8 кг/см² абс. Часть пара, выходящего в промежуточный приемник, отводится в приборы производства, а в цилиндре низкого давления работает оставшаяся часть пара до противодавления в 3—3,5 кг/см² абс. и далее передается в сеть противодавления на сушку и другие цели нагрева. Для паровой машины такого устройства цилиндры располагаются рядом, в виде двухкривошипной машины или в виде однокривошипной с продольным расположением цилиндров, при чем цилиндр низкого давления устанавливается ближе к кривошипу.

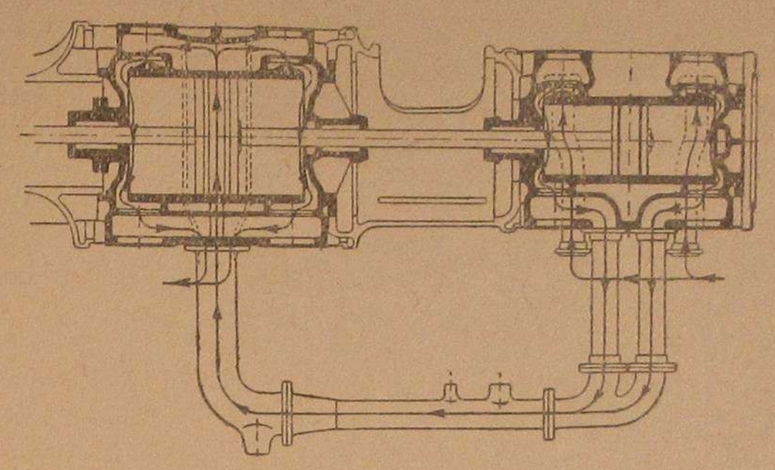


Рис. 109. Пути пара в однокривошипной машине двойного расширения с промежуточной частью.

Однокривошипные машины двойного расширения строятся в настоящее время открытого типа, с открытой промежуточной частью между цилиндрами высокого и низкого давления (рис. 109).

Для таких машин применяется также укороченная конструкция, при которой оба цилиндра соединяются вплотную (рис. 110). Машины этого типа конструируются так, что все части, особенно поршни

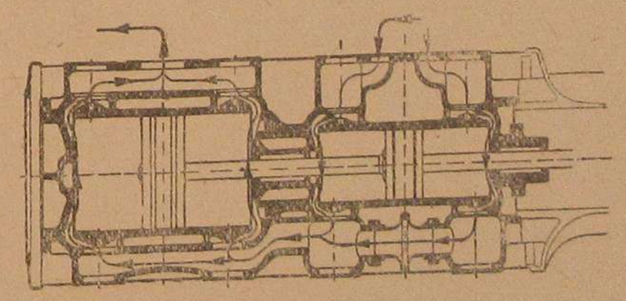


Рис. 110. Пути пара в однокривошипной машине двойного расширения без промежуточной части.

и сальники, вполне доступны для проверки и ремонта. У паровых машин укороченного типа ц. в. д. лежит перед ц. н. д. и установка поршня в ц. в. д. не представляет никаких особых затруднений по сравнению с машиной с промежуточной частью. Преимущество паровой машины укороченного типа отчетливо выступает при рассмотрении путей пара в этой машине (рис. 110) и в машине с промежуточной частью (рис. 109). У первой машины пути короче, а, следовательно, в таких машинах уменьшаются тепловые потери при переходе пара из цилиндра в. д.—в цилиндр н. д. Отсутствие

промежуточного приемника, обычно представляющего отрезок трубы достаточно большого диаметра, уменьшает место, необходимое для машины, и понижает начальные затраты и расходы по уходу за машиной.

Прямоточная машина весьма существенно отличается от паровых машин с обычными путями пара с раздельным впуском и выпуском при клапанном распределении или при золотниковых распределениях, так как в этой машине пар входит в машину и уходит из нее по одному и тому же направлению. В прямоточной машине Штумпфа сделаны в середине цилиндра выпускные окна, которые открываются и закрываются поршнем. Вследствие отсутствия выпускных клапанов уменьшается вредное пространство и охлаждающие поверхности. Выпускные окна имеют настолько большие сечения, что перепад давления между цилиндром и конденсатором исчезает почти полностью.

В прямоточной машине в одном цилиндре достигается равномерное использование тепла при экономичном расходе пара, который получается в лучших машинах двойного расширения.

У всех паровых машин смазка внутренних движущихся частей производится подачей смазочного масла в пар. Вследствие этого сгущенный пар в холодильнике непригоден для питания котлов без предварительной очистки, т. е. без удаления смазочного масла. В настоящее время имеются маслоотделители, очищающие пар до 5 мг/кг.

Этот остаток масла настолько незначителен, что он не представляет вреда при использовании пара в значительном большинстве случаев. Но в случае необходимости в установку может быть введен химический маслоочиститель. Пар, содержащий масло, вводится в цилиндрический маслоочиститель, для устройства которого может быть приспособлен жаротрубный котел, снизу через сопло. Маслоудалитель заполняется водой на $^2/_3$ объема. В воде растворяется гидрат окиси алюминия $[Al_2(OH)_3]$, который связывает следы масла, находящегося в паре, и оно затем выпадает. Для очистки воды применяют серноалюминиевую соль $[Al_2(SO_4)_3]$ и едкий натр ($NaOH$), которые добавляются в промежутке от 3 до 4 недель.

Электрификация деревообрабатывающих предприятий требует совместной работы паровых и электрических машин. Встречающаяся еще в настоящее время на старых деревообрабатывающих предприятиях канатная или ременная передача от основного двигателя к машинам-орудиям отходит все более и более в прошлое.

Работа паровой машины с электрической машиной на одном валу или через передачу требует равномерного хода, работы без ударов, точности регулировки при колебании нагрузки—сохранении числа оборотов, а также кратковременной перегрузки. При этом необходимо полное соответствие числа оборотов паровой машины числу оборотов генератора и степени неравномерности.

Наконец, паровая машина должна быть пригодна к параллельному включению и параллельной работе с другими машинами. Современная паровая машина с парораспределением Лентца и осевым регулятором вполне соответствует этим требованиям. Лучшие современные паровые машины при изменении числа оборотов на 4% восстанавливают при помощи регулятора нормальное число оборотов в течение 4—5 сек. Изменение числа оборотов, как показали испытания установленных паровых машин, не выходят при этом за предельное число оборотов генератора.

Способность паровых машин выносить перегрузку удовлетворяет требованиям эксплоатации в деревообрабатывающих предприятиях.

Особенно хорошо выносит перегрузку прямоточная машина, как машина, обычно работающая с малой степенью наполнения при 12%, тогда как распределение допускает увеличение наполнения до 60%.

Площадь, необходимая для размещения паровых машин,—значительно больше, чем для паровых турбин той же мощности. Однако, улучшение конструкции паровых машин, появление укороченных типов и прямоточной машины сократило необходимую площадь для установки паровых машин. На рис. 111, 112 представлены сравнительные площади для вертикальной и горизонтальной паровых машин в 1200 л. с. укороченного типа, которые почти одинаковы. При малых мощностях паровые турбины с зубчатой передачей требуют площадь для установки не более площади для паровых машин укороченного типа или прямоточной машины.

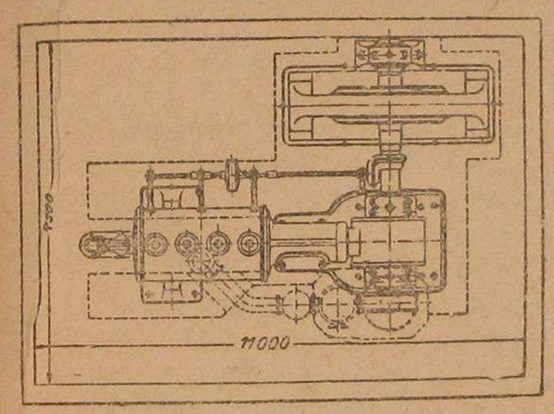


Рис. 111.

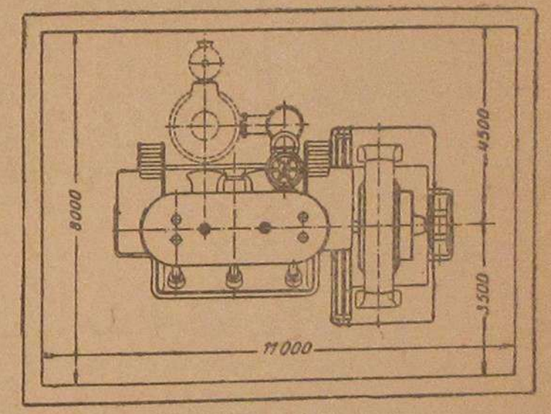


Рис. 112.

Сравнение площадей, занимаемых горизонтальной паровой машиной укороченного типа и вертикальной паровой машиной по 1200 пол. л. с.

Фундамент паровой машины получается больше и тяжелее, чем основание паровой турбины. Для установки паровых машин нужен фундамент надежнейшей конструкции.

Конденсационное помещение для паровой машины устраивается в подвале, что должно быть учтено при сравнении установки паровой машины и паровой турбины.

Необходимость сооружать тяжелый фундамент под паровую машину заставляет производить разведку грунта на месте установки и создавать прочное основание под фундаменты. При необходимости делать фундамент, углубляя его значительно, машина должна быть установлена на уровне пола и для конденсационного

помещения нужно предусмотреть особые выемки в фундаменте с соответствующей изоляцией установки, холодильника и насосов от грунтовых вод. Если уровень почвенных вод стоит высоко, и грунт на месте предположенной силовой станции—слабый, то, учитывая устройство дорогостоящего фундамента для паровой машины и, вместе с тем, удорожание всего помещения станции, возможна замена установки паровой машины установкой паровой турбины.

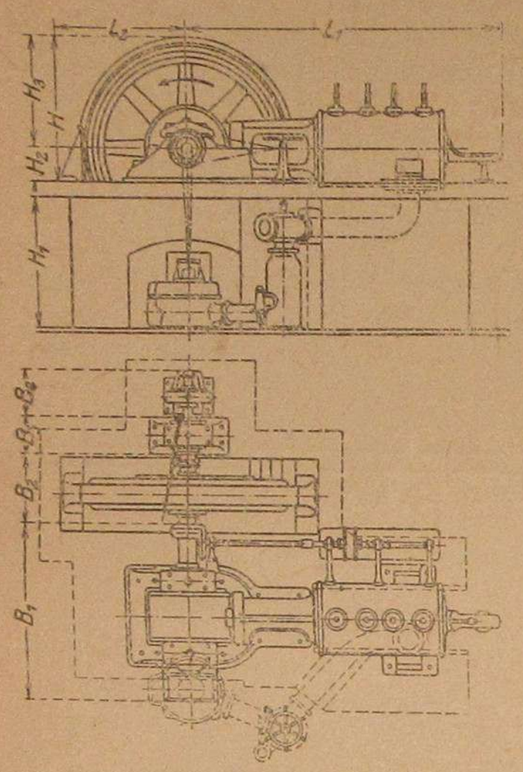


Рис. 113. Чертеж размеров горизонтальной клапанной однокривошипной паровой машины, соединенной с генератором переменного тока (к табл. 49).

Для проектных соображений и сравнительных расчетов необходимой площади и объема установки машины, высоты подвальных помещений в таблице 48 (рис. 113) приведены размеры установки паровых машин от 200 до 1000 л. с.

Экономичность установки определяется, в зависимости от расхода пара, масла, стоимости обслуживания и содержания и стоимости всей машинной установки.

В таблице 49 приведена величина расхода цилиндрового и машинного масла, расход пара в килограммах на 1 квт-ч. для машин укороченного типа (характеристика машин: мощности от 200 до 1000 л. с., давление—12 кг/см² и перегретый пар—350°, разрежение 88—90%).

Таблица 48

Главнейшие установочные размеры горизонтальной паровой машины двойного расширения с генератором переменного тока

Мощность паровой машины пол. л. с.	Мощность генератора $\cos\varphi = 0{,}8$ квт.	Наибольшее давление пара кг/см²	Температура перегретого пара, °Ц	L_1	L_2	H_2	H_3	B_1	B_2	B_3	B_4	Высота подвального помещения для холодильника: для поверхностного холодильника	Высота подвального помещения для холодильника: для смесительного холодильника
				миллиметры									
200	165	12	350	5 000	1 925	600	1 860	2 100	940	500	700	2 000	1 800
400	335	14	350	5 900	2 245	600	2 150	2 500	1 000	600	735	2 200	2 000
600	500	14	350	6 200	2 355	600	2 280	3 200	1 030	650	780	2 300	2 100
800	675	14	350	6 750	2 650	700	2 550	3 800	1 075	700	830	2 500	2 300
1 000	850	14	350	7 600	2 885	750	2 850	4 000	1 125	725	860	2 600	2 400

На рис. 114 даны кривые расхода пара и изменения полезности поршневой паровой прямоточной машины 500 пол. л. с. при давлении 12 кг/см² об., 350 °Ц, 88—90% разрежения и различных нагрузках.

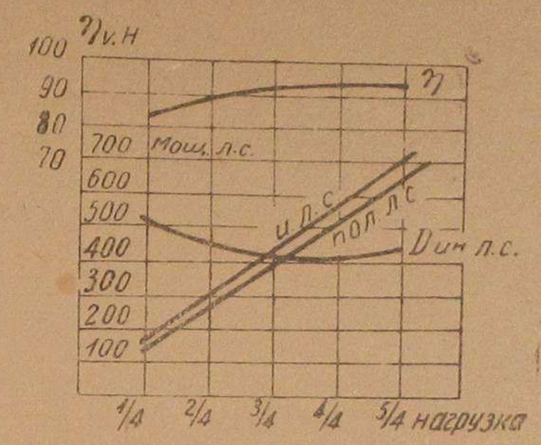


Рис. 114. Кривые расхода пара и изменения полезности прямоточной паровой машины при давлении 12 кг/см². 350° Ц, 88—90% разрежения при различных нагрузках.

Таблица 49

Расход пара и смазочных масел в паровых машинах завода „Hanomag" укороченного типа

Мощность квт	Число оборотов n	Маховой момент GD^2 кг.м²	Расход масла в час кг: Цилиндровое масло	Расход масла в час кг: Машинное масло	Расход пара на кт/час кг	Примечание
200	187	21 000	0,12	0,18	6,9	Степень неравномерности 1 : 250.
400	167	65 000	0,16	0,22	6,5	
600	167	84 000	0,19	0,25	6,25	Для машины с непрерывной смазкой маслом лучшего качества и при использовании отработавшего масла.
800	150	174 000	0,23	0,27	6,15	
1 000	150	218 000	0,26	0,31	6,00	Пар: 12 кг/см² при впуске; темпер. пара 350° Ц; вакуум—88—90%.

XX. ПАРОВЫЕ МАШИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА

1. Использование энергии в паровой машине

Пар, выпускаемый из паровой машины в холодильник или на воздух, содержит еще большое количество теплоты—теплоту жидкости (q) и внутреннюю теплоту испарения (ρ), соответствующие давлению выпуска, которые в холодильнике (сгустителе пара) отдаются охлаждающей воде, нагревая ее до 40—45°. При выпуске пара в воздух это тепло переходит в окружающее пространство и теряется. В обоих случаях теплота отработавшего пара пропадает бесполезно. Пар, расширяющийся в машине без потерь от начальных $p_1 = 20$ кг/см² абс. и $t_1 = 340°$ до давления $p_2 = 1{,}2$ кг/см² абс., производит работу, равную тепловому перепаду от 744 до 606 кал., т. е. 138 кал., а при расширении до 0,2 кг/см² абс. работа пара равняется тепловому перепаду $744 - 544 = 200$ кал. При этом в теоретической машине используется 26,8% сообщенной пару теплоты.

В действительной машине использование теплоты значительно ниже, вследствие потерь от мятия пара в органах парораспределения, передачи теплоты проводимостью и лучеиспусканием, обмена теплоты между паром и стенками и несовершенства расширения, так что в индикаторную работу превращается только часть располагаемого теплового перепада. В цилиндре получается работа, составляющая на основании опыта, примерно, 70% теплоты в паре, которая могла бы быть превращена в теоретическом процессе. Итак, следующие величины характеризуют полезность машины с выпуском в холодильник:

Относительная полезность[1]—$\eta_{отн.} = \frac{140}{200} = 0{,}70$.

Теоретическая тепловая полезность[1]—$\eta_{теор.\ т} = \frac{200}{744} = 0{,}268$.

Индикаторная тепловая полезность $\eta_{инд.} = \frac{140}{744} = 0{,}18$.

Механическая полезность . . . . . $\eta_{мех.} = \frac{119}{140} = 0{,}85$.

Следовательно, экономическая полезность машины, отнесенная к теплоте затраченного пара, будет:

$$\eta_{эк.} = 0{,}7 \cdot 0{,}268 \cdot 0{,}85 = 0{,}16.$$

Сравнивая использование тепла в действительной машине с идеальной машиной Карно, полезность которой при данных температурах будет:

$$\eta_{к.} = \frac{340 - 59{,}66}{613} = 0{,}457,$$

получаем термодинамическую полезность действительной паровой машины

$$\eta_{тд.} = \frac{0{,}16}{0{,}45} = 0{,}355,$$

т. е. действительная машина использует лишь 35,5% теплоты по сравнению с машиной Карно.

[1] Термин „коэфициент полезного действия", вследствие недостаточно точного соответствия выражаемому им понятию, заменяю термином „полезности". *Автор.*

В машине без потерь с выпуском в воздух при вышеприведенных начальных данных используется 138 кал., вследствие несовершенств процесса в индикаторную работу превращения около 70%, т. е. 96,6 кал., а потому полезность машины характеризуется следующими величинами:

$$\eta_{отн.} = \frac{96{,}6}{138} = 0{,}70;$$

$$\eta_{теор.\ т.} = \frac{138}{744} = 0{,}185;$$

$$\eta_{инд.} = \frac{96{,}6}{744} = 0{,}13;$$

$$\eta_{мех.} = \frac{82}{96{,}6} = 0{,}85;$$

$$\eta_{эк.} = 0{,}70 \cdot 0{,}185 \cdot 0{,}85 = 0{,}11.$$

По сравнению с полезностью машины Карно, которая равна:

$$\frac{340 - 104{,}24}{613} = 0{,}384$$

термодинамическая полезность машины с выпуском пара на воздух будет равна:

$$\frac{0{,}11}{0{,}384} = 0{,}28 \text{ или } 28\%.$$

Для воспроизводства 1 пол. л. с. необходимо для машины с выпуском в холодильник затратить теплоты:

$$632 \cdot \frac{744}{119} = 3950 \text{ кал.},$$

а для машин с выпуском в воздух:

$$632 \cdot \frac{744}{82} = 5734 \text{ кал.}$$

Потеря тепла на 1 пол. л. с.-час:

у машины с выпуском в воздух: $5735 - 632 = 5101$ кал.,

а у машины с выпуском в холодильник: $3950 - 632 = 3318$ кал.

В машине с конденсацией пара теряется 544 кал., что составляет 73% тепла, сообщаемого пару при температуре 59,66%, тогда как в машине с выпуском в воздух потеря при выпуске—606 кал., что составляет 81% при температуре 104,24°. В машине с холодильником использование пара улучшается на 62 кал., что составляет 8,3% по отношению к сообщаемому теплу и к получаемой полезной мощности около 10%.

Сгущенный пар при давлении выпуска в холодильник 0,2 кг/см² абс. имеет 59,66° ∽ 60°. При возможности использовать его для питания котла—в котел возвращается теплота жидкости—60 кал.,

а 544 — 60 = 484 кал. уносится охлаждающей водой без всякой пользы. Это тепло составляет 65% теплоты, сообщенной пару, а у машины с выпуском на воздух—81%.

По Шнейдеру в поршневых паровых машинах с перегревом пара содержащиеся в паре каждые 100 кал. распределяются следующим образом (таблица 50).

Таблица 50

Распределение теплоты	Паровые машины	
	с охлаждением пара в процентах	с выпуском на воздух в процентах
Превращено в полезную работу	16—20	12—15
Работа трения воздушных и масляных насосов	1,5	1,0
Потери на начальную конденсацию	1,5	1,0
Тепловой отброс	81—77	86—83

Эта теплота, которая бесполезно пропадает в охлаждающей воде или разносится в воздухе, может быть использована для производственных и хозяйственных надобностей.

Если же принять во внимание потери в котле и трубопроводе, т. е. составить характеристику всей паросиловой установки, начиная с парового котла; тогда, учитывая полезность котла и трубопровода,

$$\eta_к = 0{,}75 \text{ и } \eta_{трб.} = 0{,}97,$$

в установке: котел—паровая машина с холодильником используется

$$\eta_{эк.уст} = \eta_{эк}\eta_к\ \eta_{трб.} = 0{,}16 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}97 = 0{,}116$$

или 11,6% теплоты топлива, сожженного в топке, а в установке котел—паровая машина без холодильника используется:

$$\eta_{эк.\ уст.} = 0{,}11 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}97 = 0{,}08$$

или 8% теплоты топлива. В общем, в котельно-паро-машинной установке используется от 8 до 15% теплотворности топлива. В настоящее время экономическая полезность паровых машин, характеризующая использование теплоты пара, колеблется от 5 до 20%, в зависимости от совершенства выполнения устройства машины и, главное, от условий правильной организации обслуживания рабочего процесса машины. Низкая полезность паровой машины зависит от несовершенств процесса, происходящего в машине. Наивысшая экономическая полезность паровой машины $\eta_{эк} = 30\%$ была достигнута Шмидтом (Германия) в построенной им в 1921 г. паровой машине 4-кратного расширения с двойным промежуточным перегревом при начальном давлении 55,5 кг/см² абс. Машина Шмидта дала расход тепла около 2000 кал/пол. л. с.-час. Использованием теплового отброса паровых машин улучшается процесс установки паровой машины.

Для использования теплового отброса необходимо переоборудование машины с выпуском на воздух; если тепловой отброс такой паровой машины используется для отопления, то в летнее время машина может работать на холодильник. Если же машина установлена в лесопильном заводе или в каком-нибудь деревообрабатывающем предприятии, где нужен пар для технологических целей, например для сушила, пар направляется туда, так как обычно сушила действуют непрерывно в течение суток.

Полезность паровой машины с использованием теплового отброса при выпуске пара в особую паропроводную сеть для производственно-технических целей повышается до 80—86%, при чем из пара затрачивается на производство силовой энергии в лучшем случае не более 18%. Машины, у которых отработавший пар направляется с повышенным давлением после выпуска в особую паропроводную сеть, называются „машинами с противодавлением".

Если же пар отводится для технических целей из приемника пара между ц. в. д. и ц. н. д. машины двойного расширения, то такие машины называются „машинами с отбором пара".

Расход пара на 1 л. с.-час в машинах с противодавлением и отбором пара больше, чем в машинах с выпуском в воздух и в холодильник, но при использовании этого пара для производственных целей—варки, сушки, нагревания или отопления, увеличенный расход пара определяется производственными требованиями и повышение его целесообразно. При повышении расхода пара для каких-нибудь производственных нужд силовая энергия, получающаяся пропуском пара через машину, является отбросной энергией, часть которой может быть продана на сторону.

Особые свойства паровой машины делают ее пригодной для работы с использованием отработавшего пара с противодавлением или отбором из промежуточного приемника. В части низкого давления процесс, происходящий в паровой машине, наиболее отличается от теоретического процесса, так как отдача теплоты в стенки и увеличенные размеры цилиндра не дают возможности полностью использовать то разрежение, которое соответствует температуре охлаждающей воды. При использовании отработавшего пара отбором в сети противодавления для технических целей с высокой полезностью отсутствие части низкого давления в паровой машине в работе пара не является ущербом.

2. Применение паровых машин с использованием отработавшего пара

При оценке экономичности работы паровой машины, как уже было показано в предшествовавшем разделе, принимается во внимание тепловое состояние пара, поступающего в машину и уходящего из нее. Расход теплоты топлива в паровом котле и его использование в нем характеризует паровой котел, который является обособленной частью паросиловой установки. Для оценки паровой машины с использованием отработавшего пара необходимо охватить ее всю в целом с той частью, где используется отработавший пар.

Тепловая полезность отопительной машины или с использованием отработавшего пара представляет отношение суммы теплоты, преобразованной в работу и использованной теплоты отработавшего пара к теплоте, затраченной в подведенном паре к машине.

По Шнейдеру полная экономическая полезность отопительной паровой машины представляется так:

$$\eta_{эк.от.м.} = \frac{632 + D_п\ \eta_{от.уст.}\ (i_2 - i_3)}{D_п\ i_1}.$$

В этой формуле:

$D_п$ —расход пара на полезную л. с.-час,

$\eta_{от.уст.}$ —полезность отопительной установки,

i_2 —теплосодержание пара при выходе из машины,

i_3 — „ „ „ „ „ нагревательной установки,

i_1 —теплосодержание пара при входе в машину.

Это выражение представляет отношение теплоты, приходящейся на 1 пол. л. с.-час и полезно использованной в нагревательных приборах к теплоте, затраченной в машине на 1 пол. л. с.-час.

В таблице 51 даны величины $\eta_{эк.от.маш.}$ в предположении, что теплота отработавшего пара, доведенного до 0° или до состояния полного сгущения при 100°, использована в нагревательных приборах.

Таблица 51

Род машины	Теплота, не превращенная в мех. работу кал/пол. л. с.-час.	Использованный тепловой отброс кал. пол. л. с.-час	Использованный тепловой отброс в проц. от первого столбца	Использованный тепловой отброс в проц. затраченного тепла	$\eta_{эк.}$ при 0° отраб. пара и охлажд. воды	$\eta_{эк.}$ при 100° для использов. тепла отраб. пара	$\eta_{эк.}$ для использования тепл. отброса до полного сгущения при 40°
Паровая машина с выпуском на воздух	6 500	5 950	91,5	83,5	93,5	80,5	—
Паровая машина насыщающего пара с холодильником . .	4 650	4 000	86	76	88	—	86
Паровая машина с противодавлением 2 кг/см² абс. . . .	6 500	6 380	98	89,5	98	86	—
Паровая машина с противодавлением 5 кг/см² абс. . . .	9 200	9 080	98,8	92	98	86	—
Паровая машина перегретого пара с выпуском на воздух	4 900	4 780	97,5	86,5	98	85	—
Паровая машина перегретого пара с холодильником . .	3 600	3 430	96	81	96,5	–	93

Практически общая экономическая полезность паровых машин с использованием отработавшего пара достигает, в среднем, 85%. Поэтому использование теплового отброса широко применяется в хозяйственных и производственных целях.

Отходящий пар из паровых машин может быть применен для сушил, производственных варочных и распарочных устройств, отопления мастерских, контор, фабрично-заводских школ, торговых помещений, зданий общего пользования и поселковых жилищ, а также для нагревания воды для заводских бань, прачечных и общественных кухонь при заводах и в поселках.

В таких установках тепловой отброс используется полностью и тепло расходуется в течение года без длительных перерывов.

В отопительных установках при отоплении с разрежением (вакуум-отопление) применяется давление ниже атмосферного. В отопительных устройствах низкого давления пар используется с небольшим превышением атмосферного давления 1,1—1,4 кг/см² абс.; в системах среднего давления пар имеет 1,4—2 кг/см² абс. В отопительных системах высокого давления и при передаче пара на дальние расстояния применяют пар с давлением 6—8 кг/см² абс.

При устройстве водяного отопления следует пользоваться паровыми машинами с поверхностными холодильниками пара при разрежении, соответствующем температурам, нужным для отопления, имея в виду, что пар при давлениях от 0,1 до 0,5 кг/см² абс. имеет температуры (таблица 52).

Таблица 52

Давление кг/см² абс.	Температура °Ц	Давление кг/см² абс.	Температура °Ц
0,1	45,44	0,40	75,42
0,15	53,59	0,45	78,27
0,20	59,66	0,50	80,87
0,25	64,56	0,60	85,45
0,30	68,68	0,70	89,45
0,35	72,26	0,80	98,99

Для удовлетворения нужды в горячей воде для мытья в банях, ванных, прачечных и других устройствах социальной гигиены употребляется отработавший пар при давлении 1,5 кг/см² абс. Вне сомнения, что в деревообрабатывающей промышленности отработавший пар может быть использован для удовлетворения гигиенических нужд рабочих лесной промышленности посредством проводки в поселки горячей воды, которая может быть получена в достаточном количестве.

В лесопильном производстве и связанных с ним побочных производствах, а также в фанерном, в целлулозно-бумажном и лесохимических производствах применяется большое количество отработавшего пара для сушки, пропарки древесины и для варки и сушки целлулозы.

В деревообделочных производствах отработавший пар употребляется для варки клея, упаривания смол, для сушки и пропаривания изделий. Древесина для столярных работ подвергается сушке, которая производится воздухом, нагретым до 35—40°.

Заводы для пропитки дерева применяют большое количество пара низкого давления для пропаривания заготовленных изделий в целях их предохранения от гниения. Давление пара при этом— 1,5—3 кг/см² абс. и после пропитки противогнилостными жидкостями изделия для глубокого проникновения их в древесину подвергают обработке паром при давлении от 6 до 8 кг/см² абс.

Во всех этих производствах вполне возможно применение машин с противодавлением или с промежуточным отбором. В сушильных устройствах при лесопильных заводах пользуются подогретым воздухом, который нагревается отработавшим паром при давлении 1,5 кг/см² абс., но используемый пар должен быть сухой. Для этой цели пар в особых калориферах подогревает воздух, но, вместо подогрева воздуха паром в отопительных калориферах, могут быть применены воздушные охладители пара вместо водяных, которые непосредственно дают воздух, нагретый до нужной температуры.

3. Паровые машины с противодавлением

Машины с противодавлением применяются в вышеперечисленных производствах—в тех случаях, если весь отработавший пар из паровой машины может быть использован при всех изменениях мощности. Противодавление в выпускной паропроводной сети выбирают, в зависимости от потребности производства (см. выше). Незначительное повышение противодавления против атмосферного не оказывает особенно существенного влияния на мощность машины и расход пара. При значительном увеличении противодавления от 3 кг/см² ман. и выше необходимо выбирать более высокие начальные давления, чем восстанавливается величина необходимой мощности и соответственно расход пара приближается к нормальному. Обычно противодавление колеблется в паровых машинах от 1,5 до 3 кг/см² абс. С успехом построения паровых машин с достаточным высоким начальным давлением, давления 13—17 кг/см² абс. не представляются редкостью, а в связи с этим величины противодавления значительно возрастают. Так, в настоящее время встречаются установки с противодавлением 6—8 кг/см² абс.

Изменение противодавления при постоянном начальном давлении требует увеличения степени наполнения. Это обстоятельство затрудняет регулировку мощности машины, так что такие машины должны работать с постоянной нагрузкой без резких колебаний в сторону увеличения или сильного уменьшения.

При малых наполнениях в диаграмме машины с противодавлением в конце расширения с переходом к выпуску образуется петля, указывающая на уменьшение мощности.

Влияние изменения начального давления и противодавления на расход пара выведено из многочисленных испытаний Шнейдером, и представлено на рис. 115.

Диаграммы вычерчены в координатах: расход пара—килограмм на инд. л. с.-час и величина противодавления. Расход пара определен для противодавлений от 0 до 4 кг/см² ман. и начальных давлений при впуске от 6,5 до 10,5 кг/см² абс. Расход пара при сохранении начального давления изменяется с ростом противодавления по прямой линии. Диаграмма указывает, что повышение противодавления с увеличением начального давления уменьшает расход пара. Так, машина с давлением при впуске 10,5 кг/см² абс. и противодавлением 4 кг/см² абс. расходует столько же пара на единицу мощности, что и машина с начальным давлением 7,5 кг/см² абс. и с противодавлением 2 кг/см² абс. Повышения противодавления, начиная с выпуска на воздух, на 0,5 кг/см², уве-

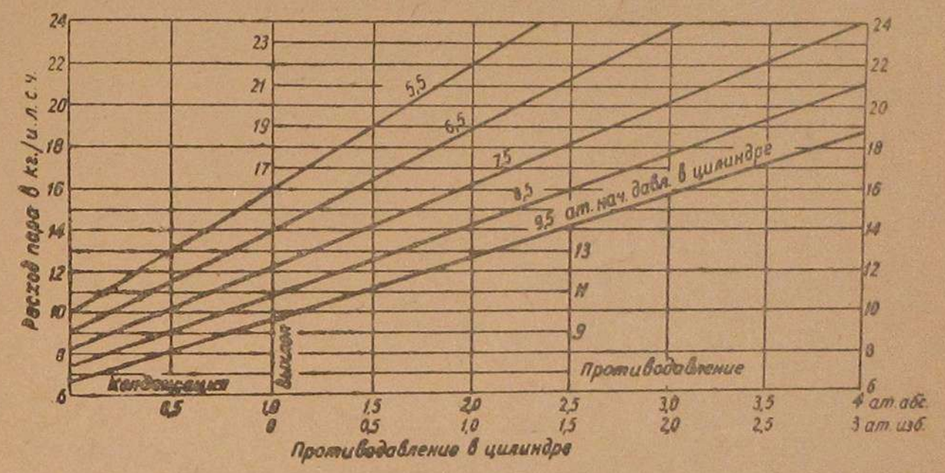


Рис. 115. Диаграмма влияния изменения начального давления и противодавления на расход пара в паровой машине.

личивает расход пара на 1—1½ кг/см²-час. Несмотря на выгодность применения перегретого пара, однако, в машинах с противодавлением высокий перегрев не применяется, так как такой пар при выпуске из машины, оставаясь перегретым, непригоден для использования в производстве. И только тогда допускается незначительный перегрев, когда пар из машины передается на значительное расстояние, учитывая потерю тепла в паропроводе.

Пар, уходящий из машины в сеть противодавления, должен быть сухой или с малой влажностью, при возможности сразу из машины попадать в отопительную сеть.

Пользование машиной с противодавлением повышает ее полезность, по данным Шнейдера, до весьма высокого значения, так, в машине с противодавлением 5 кг/см² абс. экономическая полезность была:

тепло, использованное в машине для работы	6½— 9%,
тепло, использованное в нагревательной сети	79½—77
Всего	86%.

Если потребность в механической энергии настолько значительна, что количество отработавшего пара превышает потребность в нем для производственных целей, то следует мощность распре-

делять так, чтобы машины с противодавлением имели нагрузку, соответствующую расходу производственного пара, а вся остальная работа производилась машинами с охлаждением пара. У машины с противодавлением, вследствие повышенного давления впуска, средняя температура стенок выше, чем у обыкновенных машин с выпуском на воздух, поэтому смазка цилиндров должна производиться более обильно и маслом лучшего качества.

Повышение давления впуска вызывает необходимость уменьшения степени сжатия для избежания чрезмерного давления в конце

Таблица 53

Давление отход. пар кг/см² абс.	Температура отработавшего пара Ц°	Расход пара в кг/пол. л. с.-час	Мощность на 1000 кг. св. пара пол. л. с.-час
0,20	60	6,2	161
0,48	80	6,6	151
1,03	100	7,4	135
2,03	120	9,0	111
3,70	140	11,9	84

Таблица 54

Мощность машины пол. л. с.		50	100	500	1000	1500	2000
Состояние пара перед машиной	Противодавление в кг/см² абс.	Расход пара в кг/пол. л. с.-час					
20 кг/см² абс. 300°	0,06	5,50	5,30	5,00	4,85	4,70	4,55
	0,5	6,75	6,55	6,30	6,15	6,00	6,85
	1,0	7,40	7,25	7,00	6,85	6,70	6,55
	1,5	8,00	7,80	7,55	7,40	7,35	7,20
	2,0	8,60	8,40	8,15	8,00	7,85	7,70
	4,0	10,90	10,70	10,45	10,30	10,15	10,00
	6,0	13,30	13,10	12,85	12,70	12,55	12,40
13 кг/см² абс. 300°	0,06	5,50	5,30	5,00	4,85	4,70	4,55
	0,5	7,00	6,85	6,65	6,50	6,35	6,20
	1,0	7,80	7,65	7,45	7,30	7,15	7,00
	1,5	8,40	8,25	8,05	7,90	7,75	7,60
	2,0	9,20	9,05	8,85	8,70	8,55	8,40
	4,0	12,80	12,65	12,45	12,30	12,15	12,00
9 кг/см² 300°	0,06	7,85	7,55	7,20	7,00	6,85	6,70
	0,5	9,50	9,20	8,90	8,70	8,55	8,40
	1,0	10,60	10,30	10,00	9,80	9,65	9,50
	1,5	11,80	11,50	11,20	11,00	10,85	10,70
	2,0	13,10	12,80	12,50	12,30	12,15	12,00
	3,0	17,00	16,70	16,40	16,20	16,05	15,90

сжатия, с этой целью выпускные органы распределения снабжаются переставными эксцентриками. Поэтому прямоточные машины, вследствие присущего им высокого сжатия, непригодны для работы с противодавлением. Машины с противодавлением снабжаются регулятором давления, который меняет наполнение в зависимости от изменения давления в сети противодавления.

Расход пара в машинах с противодавлением зависит от величины противодавления, что видно из таблицы 53.

В таблице 54 приведен расход пара на 1 пол. л. с.-час в поршневых машинах различных величин при определенном состоянии пара перед машинами.

Вообще, у одноцилиндровых машин с противодавлением с обогревающей рубашкой при сухом паре, если давление при выпуске 1,5 кг/см² абс., то на каждую 0,1 кг/см² повышения давления перерасход пара возрастает на 2,5%.

Машины с противодавлением строят так же, как и обыкновенные одноцилиндровые или сдвоенные. При необходимости регулировать нагрузку, в зависимости от расхода пара в сети противодавления, применяется особый регулирующий механизм. Одна из конструкций такого устройства ртутный регулятор завода Гартман (Саксония) представлена на рис. 116. Ртутный регулятор непосредственно действует на перестановочный механизм клапанного распределения Кольмана, при уменьшении расхода пара в сети противодавления уменьшается наполнение цилиндра. На регуляторный валик насажен двухколенчатый рычаг, к нему подвешена *U*-образная трубка с ртутью. Правый конец трубки соединяется с сетью противодавления.

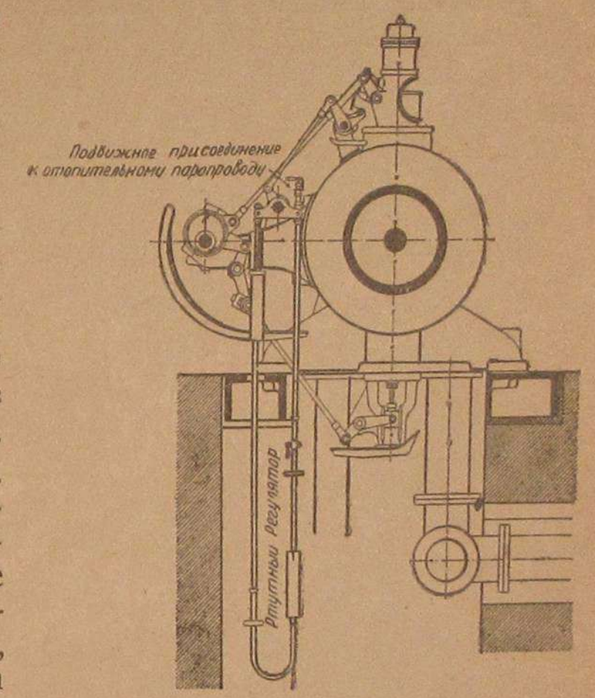


Рис. 116. Ртутный регулятор.

При увеличении расхода пара в отопительной сети давление понижается, и уровень ртути во внутреннем колене повышается, почему правый конец рычага опускается. При повороте рычага поворачивается регуляторный валик, а вместе с ним тяга, передающая поворот пальцу клапанного распределения, который отталкивает нажимную зацепку; при этом расцепной палец повернется к оси клапана и наполнение цилиндра увеличится.

Для устранения возможности чрезмерного повышения числа оборотов, вследствие увеличения расхода пара при одновременном уменьшении нагрузки, паровая машина снабжается центробежным регулятором, который действует на второй цилиндр сдвоенной машины, который работает на холодильник.

4. Паровые машины с промежуточным отбором

Машины двойного расширения двух- или однокривошипные удобны для промежуточного отбора, который отбирается из промежуточного приемника пара. При выпуске пара из ц. в. д. в промежуточный приемник[1] часть пара отводится в производственную сеть, так что давление в приемнике устанавливается, в зависимости от расхода пара на производственные нужды.

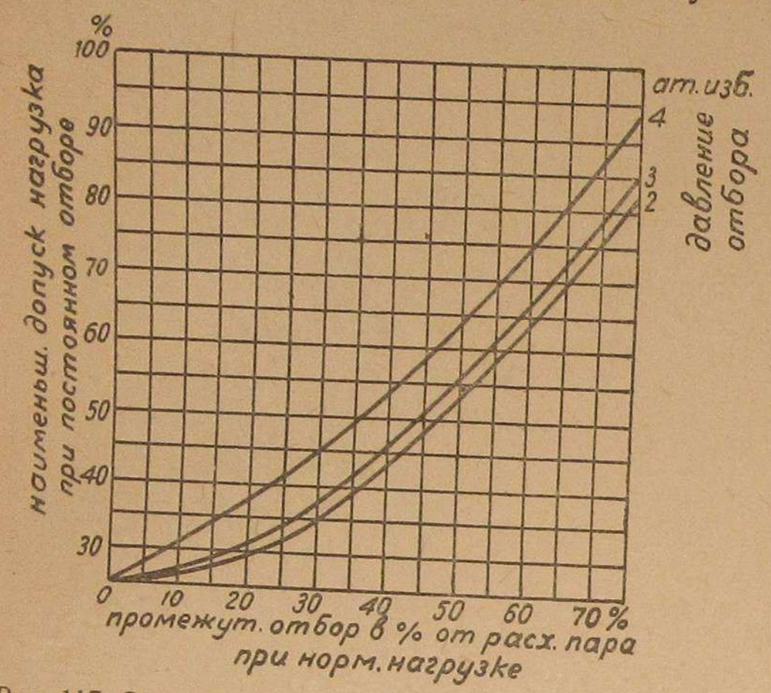


Рис. 117. Зависимость минимально допустимой нагрузки от отбора пара в паровой машине.

Промежуточный отбор пара применяется в тех случаях, когда пар для производственно-технических целей должен иметь давление выше того, с которым пар уходит из цилиндра низкого давления, как, например, в сушилах или фанерных прессах.

Применением промежуточного отбора можно избежать неудобства пользования паром из котла, так как пар из котлов, при наличии силовой установки, имеет всегда давление более высокое, которое нужно для производственного пара. Пользование таким паром для целей производственно-технических вызывает необходимость мять пар особым приспособлением, что связано с уменьшением использования его энергии. Применение паровой машины в качестве прибора, понижающего давление пара от высокого в котле до необходимого для производства, дает силовую энергию. Свежий пар, подведенный к машине, производит работу в цилиндре высокого давления, а из промежуточного приемника часть пара отводится в нагревательную сеть. Остаток пара переходит в цилиндр низкого давления, где производит механическую работу.

У паровых машин с отбором пара ц. в. д. имеет размеры бо́льшие, а ц. н. д. строится на меньшее наполнение, чем у обычных паровых машин двойного расширения без отбора.

Величина наполнения цилиндра низкого давления не должна быть уменьшена до такой степени, что поршень этого цилиндра будет передвигаться за счет работы ц. в. д. Из количества пара, подведенного в ц. в. д. может быть передано в отбор до 80%, так что в ц. н. д. может поступить при этом наименьшее количество пара, подведенного в машину, не ниже 20%.

[1] Обычно называемый ресивером.

Если в нагревательную сеть требуется пара больше, чем поступает из ц. в. д., то через редукционный клапан из котла подается свежий пар, подвергающийся в нем мятию. Регулятор давления сохраняет в промежуточном приемнике постоянное давление в соответствии с той температурой, которая должна быть в сети. При сокращении потребления пара в нагревательной сети и возрастании нагрузки машины увеличивается количество пара, поступающего в ц. в. д.; при этом давление в промежуточном приемнике возрастает и регулятор давления увеличивает подачу в ц. н. д. Увеличение мощности цилиндра низкого давления вызывает подъем муфты регулятора скорости, который понижает наполнения в ц. в. д.

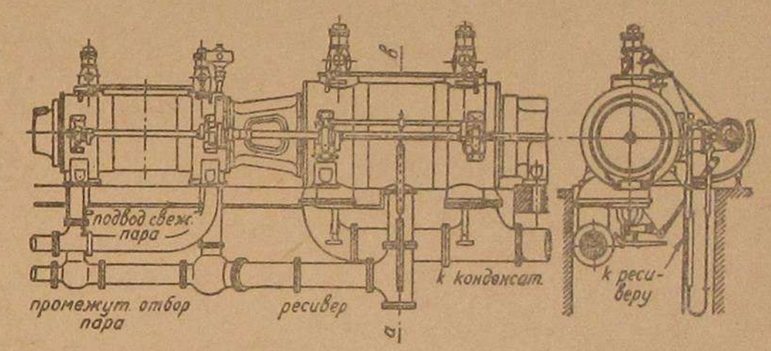


Рис. 118. Способ регулирования паровой машины с промежуточным отбором пара.

В зависимости от отбора пара, мощность машины изменяется в ц. в. д. от 50 до 80% полной мощности, а в ц.н.д. от 50 до 20%.

При больших колебаниях мощности цилиндров наилучшей машиной для устройства отбора пара является однокривошипная машина двойного расширения, так как неравенство распределения работ между цилиндрами не отражается на ходе машины. Определенный наименьший отбор пара возможен при некоторой наименьшей нагрузке, зависящей от отношения объемов и давления отбора пара.

Эта зависимость представлена на рис. 117, из которой видно, что при давлении отбора 3 кг/см² абс., работая с нагрузкой в 40%, можно отобрать 36% расхода пара при полной нагрузке без отбора, но при давлении 5 кг/см² абс. можно при той же нагрузке отобрать пара всего лишь 23%. Наибольший допустимый отбор соответствует 3—5% наполнения ц.н.д. для работы с некоторым количеством пара, чтобы поршень не создавал излишнего сопротивления при работе без пара, вследствие полного отбора.

Изменение количества отборного пара зависит от изменения отношения объемов ц. в.д. и ц. н. д. и высоты давления отбора.

Для надежности наполнения ц. н. д. при большом отборе его объем берут небольшим, так как в противном случае наполнение ц. н. д. становится слишком недостаточным.

Объем ц. в. д. подбирается так, чтобы при наименьшей мощности и наибольшем отборе пара наполнение не выходило за пределы перемещения муфты регулятора.

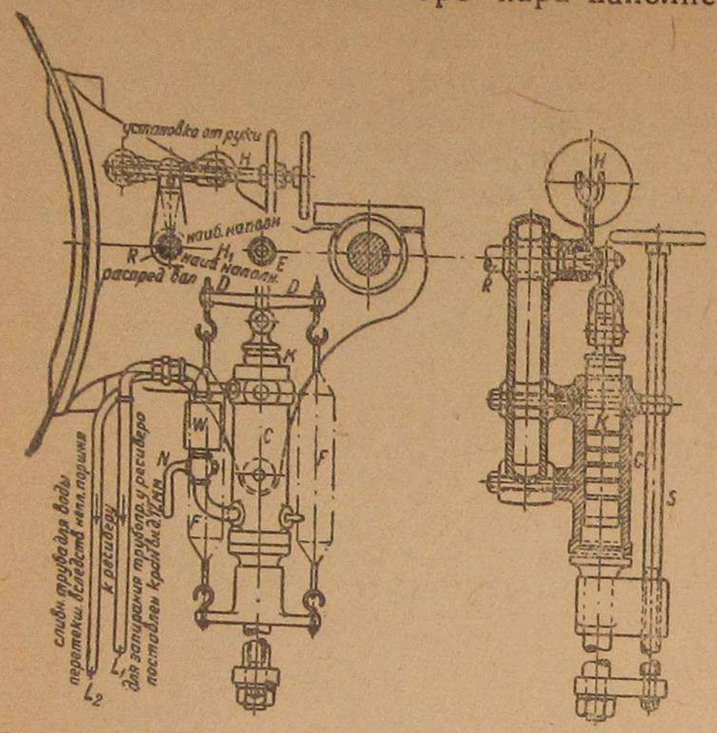


Рис. 119. Регулятор давления промежуточного отбора пара с приспособлением для его изменения.

У цилиндра высокого давления подвод пара управляется центробежным регулятором, а у цилиндра н. д.—регулятором давления, так как изменение его наполнения зависит от изменения в нагревательной сети.

На рис. 118 показано регулирование машин двойного расширения с отбором пара саксонского машиностроительного завода. Линия отбора присоединена к паропроводу между цилиндрами машины. Цилиндр высокого давления имеет центробежный регулятор, а цилиндр низкого давления—регулятор давления. Регулятор давления представлен на рис. 116. Одно колено трубки соединяется с ресивером, изменение давления в ресивере отражается на уровне ртути в трубках, вследствие чего рычаг, насаженный на распределительный валик, поворачивается, а при этом изменяется наполнение в цилиндре низкого давления.

На рис. 119 показан регулятор давления завода MAN. В цилиндре C находится поршень K, на который действуют пружины F и давление пара в промежуточном приемнике. Пружины F устанавливают давление пара. Изменение давления в промежуточном приемнике производит перемещение рычага H, а вместе с ним происходит перемещение распределительного вала R. Перемещением шпинделя S вручную можно установить необходимое давление пара при отборе. В случае прекращения отбора кран N закрывается и цилиндр C отделяется от

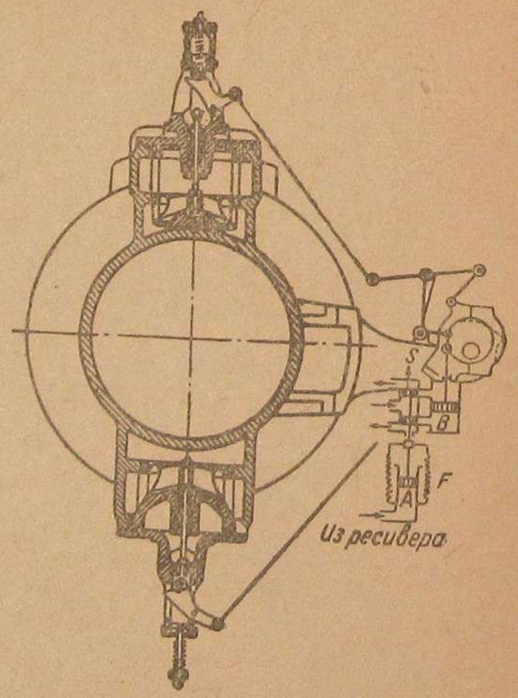


Рис. 120. Регулятор для принудительного распределения A—поршень, B—поршень, F—уравновешивающая пружина, S—золотник.

промежуточного приемника. Для принудительных распределений применяют регуляторы с вспомогательным двигателем. Схема такого регулятора завода MAN изображена на рис. 120. Пар из ресивера давит на поршень A, который уравновешивается пружинами. От поршня A перемещается золотник G. В середину золотника подводится масло под давлением. При перемещении золотника масло втекает в пространство над поршнем B или под ним. При этом поршень B поворачивает механизмы парораспределения, от которого приводится парораспределительный кулачок Ленца.

XXI. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ

В развитии построения паровых турбин можно отметить два периода, определяющиеся введением перегрева и применением высоких давлений с высокими температурами. Эти усовершенствования процесса увеличили тепловой перепад в паровых турбинах, что должно было бы повести к увеличению числа ступеней. Полезность паровой турбины характеризуется коэфициентом Парсонса $\left(\frac{\Sigma u^2}{H_0}\right)$,[1] а потому появилось стремление, повышая окружную скорость, сократить число ступеней и тем самым упростить и удешевить паровую турбину.

Наибольшая мощность нормальных конденсационных турбин определяется конечной влажностью пара, которая не может превышать 10%. При умеренных давлениях и температурах конденсационные турбины выполняются в виде одноцилиндровых машин, если не предполагается большая мощность. Применяя особые конструкции в последних ступенях, можно выполнить в настоящее время турбины мощностью до 50 тыс. квт в одном цилиндре и 3000 об/мин. с высокой полезностью в части низкого давления. Этим достигается переход отработавшего пара к давлению разрежения в холодильнике с наименьшими потерями.

При больших мощностях применяют двух-или трехпоточную конструкцию. В настоящее время наибольшая одновальная турбина имеет мощность уже свыше 100 000 квт. Последние ступени выполняются в виде колес, которые насаживаются на вал или изготовляются из одного куска без срединного сверления и соединяются фланцем с барабаном турбины. Такой способ выполнения ступеней низкого давления уничтожает возможность колебания колес и лопаток.

При увеличении адиабатного перепада введением высоких давлений и температур можно у конденсационных турбин повысить давление пара при впуске с 40 кг/см² до 50 кг/см² при температуре пара 450°, что требует разделения турбины на части высокого и низкого давления, вследствие значительного возрастания числа ступеней.

В больших турбинах часть низкого давления выполняется двухпоточная. Устройство больших турбин требует учета ряда обстоятельств—особенно условий расширения. Так, перемещение

---

1 u—окружная скорость,
H_0 —адиабатный перепад в турбине.

ротора относительно цилиндра должно быть, по возможности, уменьшено. К тому же большие турбины должны быть снабжены устройствами для проворачивания.

Сокращение длины достигнуто в радиальных турбинах Юнгстрем. В этих турбинах большой перепад легко преобразовывается при небольшом количестве ступеней, вследствие вращения дисков в противоположных направлениях. Установка турбин Юнгстрема производится на железобетонном основании над холодильником, что удешевляет стоимость установки.

Расширение пара происходит в одной вертикальной плоскости, так что относительное удлинение весьма мало. С 1923 г. установилось стремление использовать пар для производственных целей и уменьшить конденсационную мощность. Поэтому часть высокого давления подверглась значительному изменению.

Турбины для производственных установок в настоящее время выполняются всегда с отбором пара, который производится из камеры между частью высокого и низкого давления, находящихся в одном цилиндре. Такие турбины выполняются с двухвенечным колесом Кэртиса в части высокого давления и с многоступенчатой частью низкого давления. Пар, необходимый для производства в части высокого давления, выполняет работу. Мощность турбины регулируется так, чтобы получить определенную конденсационную мощность. В виду значительных колебаний расхода пара и мощности у этих турбин применяется регулирование наполнения или количественное регулирование. Количественное регулирование применяется также в части низкого давления. В части низкого давления турбин с отбором теперь часто ставят одновенечное колесо Кертиса, которое понижает давление пара до давления в холодильнике. Такое устройство применяется в турбинах с укороченной частью низкого давления с большим отбором пара небольших мощностей (2000 квт, 3000 об/мин., при паре: 35 кг/см², 400° и давление отбора 3 кг/см²).

В настоящее время устройство паровой турбины настолько выработано, что не представляется никаких затруднений в конструировании и производстве турбин весьма больших мощностей. Тридцать лет назад турбина в 1000 квт считалась крупной, теперь такая турбина должна быть признана малой. Ленинградский металлический завод имени Сталина и Харьковский завод строят в настоящее время мощные турбины в 100 000 квт. Практика турбостроения дает сверхмощные турбины, как, например, турбины в 160 000 квт при 1500 об/мин., построенные в 1929 г. в США заводом G. E; такая же турбина при 1800 об/мин, построенная в 1932 г. тем же заводом, выполненная, как одновальная установка в два цилиндра; затем там же в 1929 г. была построена турбина завода G. E. в 208 тыс. квт с 1800 об/мин. при трех валах в три цилиндра. Тридцать турбин с 3000 об/мин. были построены за годы с 1922—1931, мощностью от 12 тыс. до 60 тыс. квт.; все турбины одновальные с числом корпусов от 1 до 4, при чем в этом числе было турбин: от 12,5 тыс. до 20 тыс. квт,—7, выше 20 до 30 тыс. квт—11, выше 30 до 40 тыс. квт—8 и выше 40 тыс. до 60 тыс. квт—4. Давление пара (по манометру) изменялось от 31,6 до 200 кг/см² и температура пара—от 343 до 538°.

Широкое применение в промышленных установках имеют в настоящее время турбины—мощностью до 20—30 тыс. квт при давлении 20—35 кг/см² (по ман.) и с температурой пара 300—400°. При настоящем росте деревообрабатывающей промышленности в ней могут получить применение турбины наибольшей мощности 3—5 тыс. квт.

Для примера на рис. 121 показан продольный разрез конденсационной турбины в 3000 квт Кировского завода. На рис. 122

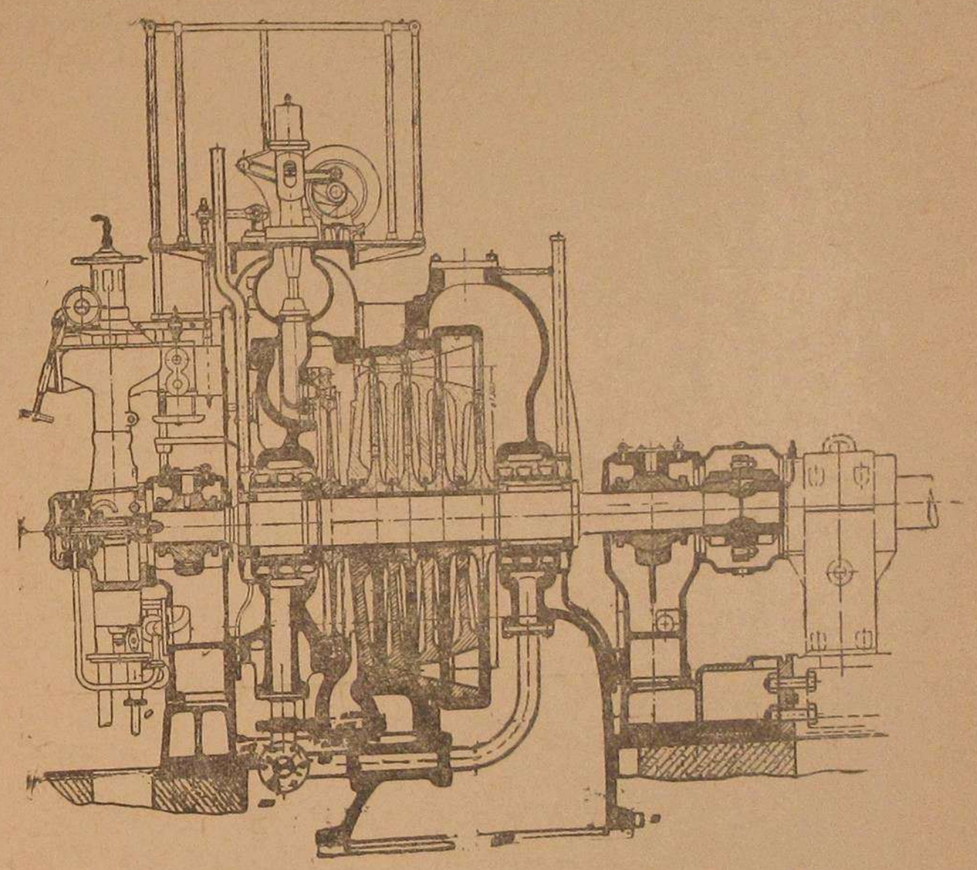


Рис. 121. Турбина 3000 квт, продольный разрез.

показана в продольном разрезе бесподвальная конденсационная турбина в 4000 квт. Эти турбины имеют широкое применение в силовом хозяйстве деревообрабатывающей промышленности, образуя установки до 12 тыс. квт.

При создании больших деревообрабатывающих предприятий комбинированного типа, объединяющих лесопильное, столярно-мебельное, фанерное и другие производства, в которых будут перерабатываться большие количества древесины как экспортного значения, так и на внутренний рынок, расход энергии возрастает настолько значительно, что установка паровой машины будет недостаточна по своей мощности, или же крупная установка паровой машины займет много места, что отзовется на размерах станции и вызовет значительное увеличение капитальных затрат. В таком случае при выборе двигателя для теплосиловой станции необхо-

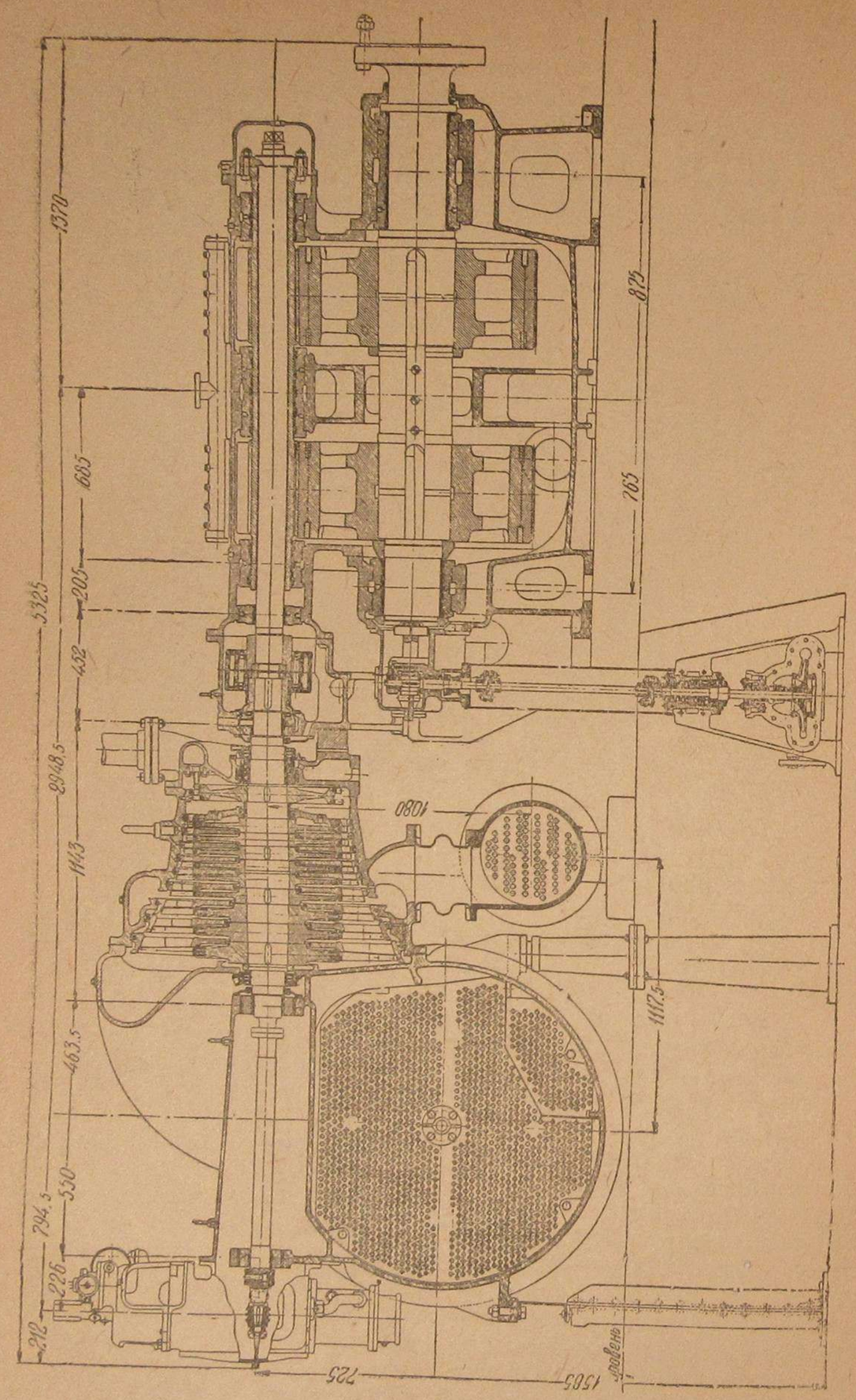


Рис. 122. Турбина 4000 квт бесподвального типа СН-26, продольный разрез.

димо остановиться на паровой турбине. Для мощностей свыше 500 л. с. паровая машина становится слишком громоздкой и ее удельная площадь на 1 л. с. заметно возрастает. При этом возрастают капитальные затраты и увеличиваются расходы по обслуживанию и на смазку.

На рис. 123 представлено сравнительное схематическое расположение паровых машин и паровых турбин с генераторами переменных токов.

Из этого сопоставления можно сделать вывод, что установка паровых турбин требует меньше места, чем паровых машин, даже меньших мощностей, а при меньшем удельном весе на 1 л. с. в установках паровых турбин требуется меньше средств на подготовку

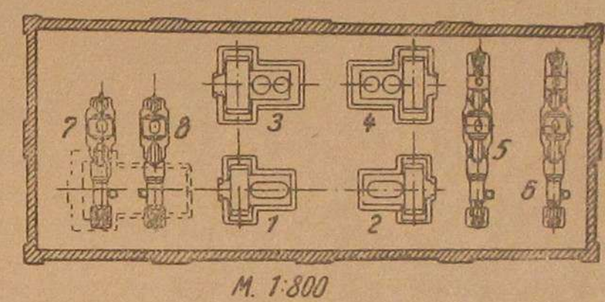


Рис. 123. Сравнительный чертеж площадей для паровых машин и паровых турбин с генератором переменного тока. *1, 2*—вертикальные паровые машины по 600 пол. л. с., *3, 4*—вертикальные паровые машины по 1200 пол. л. с., *5, 6*—паровые турбины по 10 000 пол. л. с., *7, 8*—паровые турбины по 7500 пол. л. с.

площадки для станции и на возведение фундаментов и здания для станции. Расход площади для паровых турбин, в среднем, может быть определен: для установки паровых турбин свыше 100 квт необходимо 30% площади, занимаемой горизонтальными машинами той же мощности. Фундамент турбинных установок составляет от 15 до 30% объема фундамента паровых машин.

При устройстве силовой станции на слабом грунте легкий фундамент паровой турбины не требует заложения особо прочного основания на глубине. Конденсационная установка турбины может быть поставлена на уровне земли, а сама паровая турбина—над холодильником в первом этаже. Возможна установка холодильника с турбиной на одном уровне на земле, получается так называемая бесподвальная турбинная установка, которая значительно сокращает расходы на сооружение станции.

В условиях деревообрабатывающей промышленности турбинная установка работает непрерывно с весьма короткими остановками при смене рабочих, продолжающимися не более двух часов. Такая работа может длиться в течение ряда лет, и только для проверки плотности трубопроводов и сальников и для проверки генератора может явиться потребность в остановке. Остановка подобного рода может совпасть с кратковременной остановкой всего деревообрабатывающего предприятия для ремонта машин-орудий, в зависимости от выполнения заводом своих производственных заданий. Для надежности в работе паровой турбины, как и всякой

машины-двигателя, имеет наибольшее значение рациональное устройство и исправное действие смазки. Устройство смазочной системы должно быть вполне надежно. Смазка, охлаждающая все подшипники как турбины, так и генератора подается главным насосом и вспомогательным, независимо от первого. Вспомогательный насос работает только при пуске машины в ход и подает в подшипники необходимое количество масла. Главный насос работает при помощи зубчатой передачи от главного вала. У малых турбин вспомогательный насос приводится в действие вручную, а у больших—при помощи особой турбины.

Таблица 55

Расход пара в турбинах малой и средней мощности завода MAN.

Мощность л. с.	60	100	250	500	1000	кв.
Расход пара: кг/1 л. с.	—	6,95	5,5	4,8	4,4	кг/п. л. с.-час.
Мощность л. с.	500	1000	2000	4000		кв.
Нагрузка	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	
Расход пара при 94% разрежения	4,8	4,4	4,1	3,9		кг/п. л. с.-час.
Расход пара при 96% разрежения	4,65	4,26	3,98	3,78		кг/п. л. с.-час.
Нагрузка	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	
Расход пара при 94% разрежения	5,03	4,48	4,18	3,97		кг/п. л. с.-час.
Расход пара при 96% разрежения	4,88	4,34	4,06	3,85		кг/п. л. с.-час.
Нагрузка	1/2	1/4	1/2	1/2	1/2	
Расход пара при 94% разрежения		4,61	4,3	4,09		кг/п. л. с.-час.
Расход пара при 96% разрежения		4,47	4,17	3,97		кг/п. л. с.-час.

Смазка применяется циркуляционная. Холодильники для масла применяются в виде змеевиков для возможно бо́льшего понижения температуры при оборотном использовании масла, при чем охлаждение осуществляется противотоком. В турбинной смазочной системе потери масла очень незначительны, и оно употребляется до тех пор, пока не утрачиваются его смазывающие свойства. Заполнение масляной системы производится раз в год. При исправном состоянии смазочной системы, фильтров и чистоте содержания масляного бака все же необходимо ежедневно проверять свойства масла в турбинной смазочной системе. В установках нескольких турбин устраивают центральное охлаждение масла для сокращения расходов на снабжение охлаждающей водой.

Выгодность работы машины-двигателя определяется прежде всего расходом пара на 1 квт-ч. и отсюда—расходом топлива. При сравнительной оценке паровых машин и турбин первостепенное значение имеет расход пара. В таблице 55 даны величины расхода пара турбинами завода MAN. При сравнении расхода пара различными турбинами необходимо иметь в виду, что все величины, характеризующие работу турбин, должны быть отнесены к одинаковой температуре воды, к одному и тому же давлению пара и перегреву. Вместе с тем, должен быть учтен расход мощности на конденсацию и возбуждение генератора переменного тока.

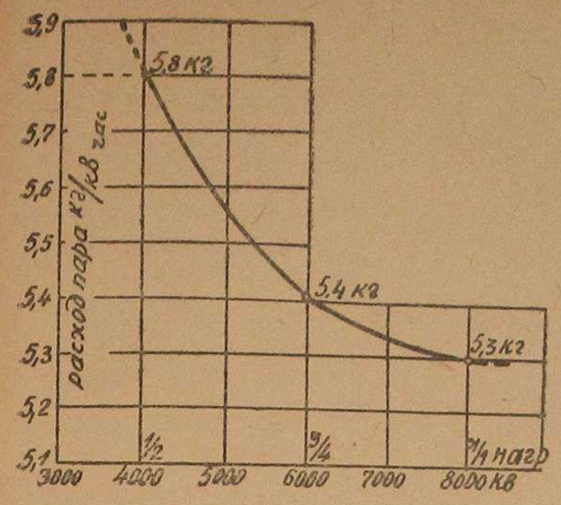


Рис. 124. Диаграмма расхода пара в турбогенераторе 11 300 п. л. с.

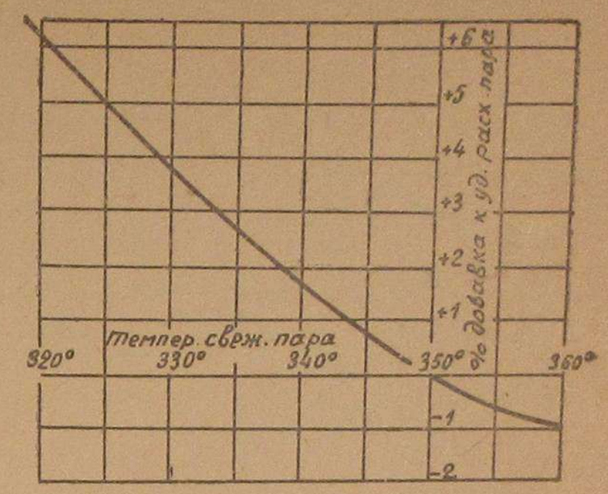


Рис. 125. Зависимость расхода пара от состояния пара перед турбиной.

При оценке общих обстоятельств работы паровой турбины можно считать, что 12% расхода пара при полной нагрузке турбины затрачивается на работу холостого хода.

Расход пара зависит от высоты давления пара, перегрева и разрежения, т. е. от температуры охлаждающей воды. У паровых турбин с мощностью выше 200 квт расход пара уменьшается на 1 % с возрастанием давления пара на 1 кг/см², а для турбин больших—около 1—1½—2%. Степень перегрева имеет еще большее влияние на расход пара. Так, при перегреве пара в пределах от 200 до 240° расход пара уменьшается на 1% при повышении температуры на каждые 5—5,5°; в пределах 240—280° уменьшение расхода пара на 1% на каждые 6,5°, а при более высоких температурах—в пределах 280—320°, такое же понижение расхода на каждые 7,5°. Величина разрежения имеет значительное влияние на расход пара. В паровых турбинах достигается более глубокое расширение пара, чем в паровых машинах. Так, в паровых турби-

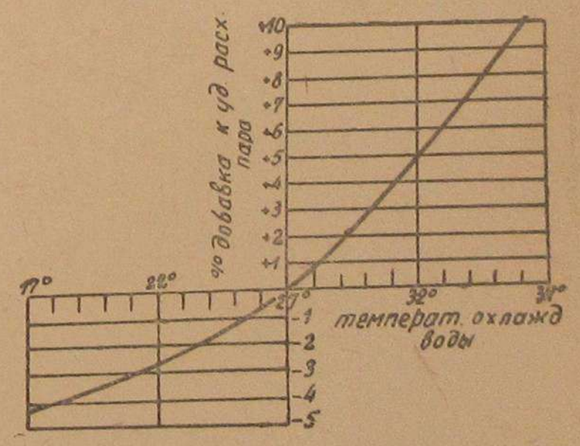


Рис. 126. Зависимость расхода пара от температуры охлаждающей воды.

нах расширение может быть доведено до 140-кратного, тогда как в паровых машинах 14—18-кратное. Расход пара меняется при разрежении в пределах 91—93% от 1,1 до 3%. На рис. 124—127 даны диаграммы, указывающие влияние на расход пара паровой турбиной в 11 300 пол. л. с. (8000 квт) — состояния пара перед турбиной, температуры и количества охлаждающей воды.

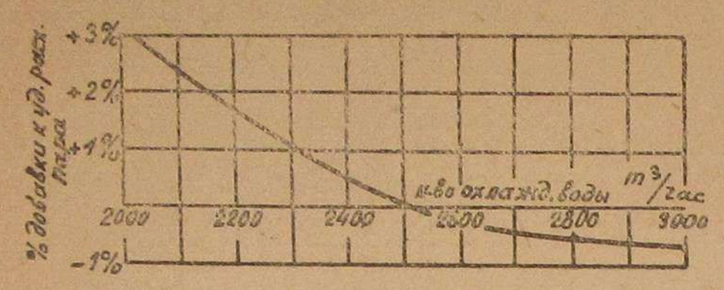


Рис. 127. Зависимость расхода пара от количества охлаждающей воды.

На фундаментной плите паровой турбины размещаются подшипники на особых приливах, отлитых заодно с рамой рис. 128. Подшипники могут быть расположены следующими способами:

1) Четыре подшипника — два у турбины и два у генератора с расположением соединительной муфты между двумя внутренними подшипниками; соединение обеих частей фундаментной рамы находится также между этими подшипниками.

2) Четыре подшипника — три располагаются на части фундаментной рамы, относящейся к турбине, соединительная муфта располагается между внутренними подшипниками, но плоскость соединения рам находится за внутренним опорным подшипником турбины, рис. 129.

Самое простое соединение валов турбины и генератора—соединение фланцами, откованными с валом за-одно или приваренными

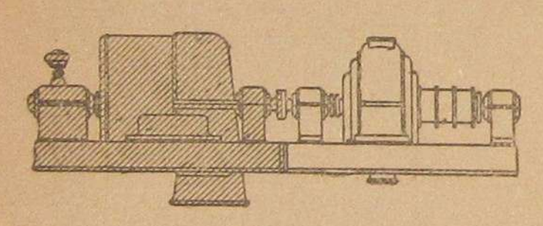


Рис. 128. Установка турбогенератора с четырьмя подшипниками $^2/_2$.

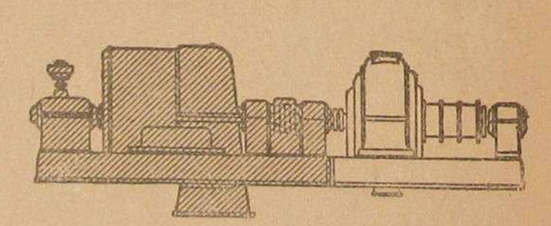


Рис. 129. Установка турбины, $^3/_1$ подшипника.

к валам соединяющимися болтами. Такое соединение хотя и жесткое, но оно всегда устраивается, так как турбина не несет ударных нагрузок.

Вместе с тем необходимо при жестком соединении валов изолировать генераторные подшипники от фундаментной плиты для предотвращения возможности проникновения блуждающих токов, образующихся в роторе генератора и движущихся вдоль по валу в холодильник.

В холодильнике эти токи могут вызвать электролизные разрушения в латунных трубках, что вызывает ухудшение вакуума и увеличение расхода пара.

При длительном действии блуждающих токов на трубки холодильника они могут подвергнуться настолько значительной порче, что придется остановить турбину и произвести капитальный ремонт холодильника, заменив большое количество испорченных трубок.

Валы у паровых турбин изготовляются из лучшей симен-мартеновской стали и рассчитываются так, чтобы критическое число оборотов было бы значительно больше нормального, что особенно важно для жестких валов. Обслуживание паровой турбины несложно, но все же оно требует хорошо подготовленных работников. Перед пуском паровой турбины нужно проверить состояние подшипников и убедиться в достаточном наполнении их маслом и затем всей масляной системы, подкачав ручным насосом масло; точно так же должна быть проверена охладительная система для масла. Особого внимания и умения требует пуск паровой турбины после длительного бездействия. При таком пуске холодная турбина должна быть прогрета равномерно по всей длине, при чем степень нагретости может быть проверена на-ощупь. Как вся поверхность корпуса турбины, так и лабиринтные уплотнения должны быть достаточно горячие. На турбине должны быть установлены все необходимые измерительные приборы: манометр для измерения давления пара при выпуске, манометр для масляной системы; вакуумметр для измерения разрежения на паровыпускной трубе. Затем термометр на паропроводе при впуске пара в турбину; термометры на маслопроводах до и после охлаждения и на каждом из подшипников. Для определения числа оборотов должен быть установлен на лобовой стороне турбины тахометр.

Хотя для малых мощностей—до 50 квт—применяется предпочтительно паровая машина, однако, паровая турбина, как машина-двигатель, дает столько удобств по своему устройству, по простоте фундамента и чистый, без масла, отработавший пар, который после использования может быть применен для питания котлов, что ряд западно-европейских заводов выработал типы паровых турбин для малых мощностей, которые приобрели большое распространение. Эти малые турбины соединяются с генератором непосредственно или при помощи зубчатой передачи. Соединение генератора с паровой турбиной при помощи зубчатой передачи применяется только для турбины малых мощностей, так как работа этих турбин выгодна только при больших числах оборотов, вследствие уменьшения расхода пара, упрощения конструкции, уменьшения веса. Генератор с малым числом оборотов может быть взят нормальный, тихоходный и постоянного тока.

Смазка передаточных колес и зубцов производится масляным насосом с зубчатыми шестернями. Смазочное масло в коробке передаточного механизма необходимо непрерывно пропускать через холодильник; давление от 0,5 до 1 кг/см². Приводной вал соединяется жесткой муфтой с генератором. Регулирование паровой турбины производится двумя способами—мятием пара или изменением количества пара, подаваемого через сопла. Оценкой свойств регулятора служит время, в течение которого восстанавливается нормальное число оборотов машины после мгновенного изменения нагрузки. При регулировании мятием в случае частичной нагрузки

расход пара увеличивается менее, чем при регулировании количественном. Работа регулятора должна быть спокойная, без резких изменений в расходе пара, иначе в трубопроводе могут происходить удары, которые расстраивают фланцевые соединения трубопровода, нарушая их плотность. На мгновенную разгрузку паровой турбины действует регулятор безопасности, который при повышении числа оборотов от 10 до 15% закрывает запорный вентиль.

Вследствие большого числа оборотов турбин, важное значение приобретает смазка подшипников, а потому в случае порчи смазочной системы должны быть предусмотрены в турбине предохранительные сигнальные приборы, которые остановят турбину тотчас же при порче масляного насоса.

Паровые турбины допускают перегрузку не выше 25% нормальной мощности; для этой цели при турбинах устраивают перегрузочный, вспомогательный вентиль, при помощи которого пар подводится в одну из ступеней, но при этом расход пара возрастает до 6% против расхода при полной нагрузке.

Паровые турбины допускают, как и паровые машины, использование теплового отброса отработавшего пара. В деревообрабатывающей промышленности вопрос использования отработавшего пара приобретает особенно важное значение. С развитием этой отрасли промышленности при каждом предприятии, занимающемся обработкой древесины, устраиваются сушила, обычно работающие непрерывно и расходующие большие количества насыщающего пара при давлении 5 кг/см². Пар такого давления может быть отобран из одной из промежуточных ступеней. Но так как турбины работают перегретым паром, то для использования пара из турбины для сушил необходимо к трубопроводу включить увлажнитель.

В деревообрабатывающей промышленности—в фанерном производстве, в бондарном и других—промежуточный пар из турбин может иметь самое широкое применение для прессов, распарки, варки клея и, наконец, выхлопной пар может быть использован для отопления, а при значительном количестве пара излишки могут быть направлены в отепленный бассейн.

XXII. ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАВШЕГО ПАРА

1. Паровые турбины с противодавлением

Паровые турбины с использованием пара для технических целей строятся для противодавления и отбора пара. Турбины с противодавлением выполняются как при малых мощностях, так и при средних до, а иногда выше, 1000 пол. л. с. для использования отработавшего пара в целях нагрева, отопления и варки. В турбинах с противодавлением только часть энергии пара превращается в механическую энергию, а остальная часть энергии пара используется для производственных надобностей или отопления.

Турбины с противодавлением имеют широкое применение, так как отработавший пар не содержит масла и может быть направлен в варочные котлы, отопительные котлы и распарочные нагревательные кубы.

В турбинах с противодавлением мощность зависит от расхода пара при постоянном давлении свежего и отработавшего пара. Регулировка турбин этого типа производится по давлению пара, используемого в производстве, или на нагрузке турбины.

Регулирование турбин, работающих с противодавлением, в зависимости от изменения мощности, производится регулятором скорости; при увеличении нагрузки регулятор увеличивает впуск пара и при уменьшении нагрузки-убавляет. Устройство регулирования скорости при турбине может быть применено, если расход энергетического пара меньше расхода пара на производство. Недостающее количество пара для производства в таком случае подается через дроссельное приспособление непосредственно из котла. Но такой способ питания паром производственных устройств непосредственно из котла возможен только при кратковременных периодах несоответствия расхода пара на выработку энергии и для технических нужд; при чем такая добавка дроссельного пара из котла не должна быть значительной. В противном случае придется вводить установку низкого давления для питания производственной паровой сети паром низкого давления. При отклонении расхода пара на энергетические нужды от расхода пара на производство на величины, незначительно различающиеся между собой, возможна установка теплосборника (аккумулятора), который будет накапливать тепло в периоды колебания расхода пара на нагрузку и на производство, отдавая пар туда, где будет ощущаться недостаток его.

При регулировании турбины, в зависимости от изменения давления пара в сети противодавления, при понижении давления в расходной сети, что связано с усиленным расходом пара, регулятор давления увеличивает открытие впускного клапана и ввод пара в турбину усиливается.

Если же расход пара на производство уменьшается, то давление технологического пара повышается, и регулятор давления закроет впускной клапан, уменьшая подачу пара в турбину. Мощность турбины уменьшается, в зависимости от качества протекающего пара через паровую турбину. Недостаток энергии покрывается подачей из электрической сети со стороны. Для правильности работы фабричной электрической сети генератор паровой турбины включается параллельно в общую сеть той электростанции, которая питает предприятие, при чем генератор имеет число оборотов, в зависимости от числа периодов сети.

Турбины с противодавлением строятся по преимуществу с одним диском—с одной или несколькими ступенями скорости для установок с резко изменяющимся расходом пара. Такие турбины выполняются с большим числом оборотов и частичным подводом пара; отрицательное свойство этих турбин заключается в том, что при высоком давлении с достаточно большим противодавлением и небольшом расходе пара выполнение многоступенчатой турбины с противодавлением невыгодно, так как лопатки турбины при этих условиях настолько малы, что потери через зазоры становятся чрезмерно большими и полезность турбины понижается. Однако, при

надлежащем выборе числа оборотов и соответствующем объеме пара, протекающего через турбину, лопатки турбины, даже при полном подводе пара, получаются достаточно большой высоты, а потому и для малых мощностей можно строить многоступенчатые турбины с большой полезностью.

Турбины с противодавлением с одной ступенью давления применяются в бумажном производстве, где требуется пар для нагревания неизменяющегося давления в пределах от 1,5 до 3,5 кг/см² абс.

Турбины с двумя или бо́льшим числом ступеней устанавливаются на целлулозно-бумажных фабриках, где для варки и сушки целлулозы используется пар с давлением от 6 до 8 кг/см² абс., а также для нагрева в отбельных и в выпарных установках расходуется пар с давлением от 2 до 4 кг/см² абс. Механическая полезность паровых турбин сравнительно высокая, так как механические потери в турбинах малы.

В таблице 56 приведены значения механической полезности ($\eta_м$) для турбин различных мощностей.

Таблица 56

Мощность турбины, отнесенная к муфте л. с.	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	10 000
Механическая полезность при полной мощности $\eta_м$	97,5	97,55	97,65	97,75	97,9	98,05	98,25	98,45	98,5

В СССР строят турбины Харьковский завод, Невский завод им. Ленина, завод им. Сталина и Кировский завод в Ленинграде. Заводы им. Сталина и Харьковский строят турбины больших мощностей, по преимуществу для крупных электростанций, обслуживающих большие районы. Деревообрабатывающая промышленность не принадлежит к числу энергоемких, а потому возможная мощность крупных установок не превысит 5—6 тыс. квт. При превращении теплосиловой станции деревообрабатывающего комбината в районную станцию—ее мощность будет не более 12 тыс. сил; так как такие установки находятся в районах с малоразвитой промышленностью и с большим запасом древесного сырья. Там возможно объединение силового хозяйства деревообрабатывающих предприятий с предприятиями по добыче полезных ископаемых. Здесь рассмотрим только те турбины, которые строит Невский механический завод им. Ленина и Кировский завод.

2. Паровые турбины Невского завода им. Ленина

Турбины Невского завода им. Ленина[1] изготовляются мощностью 40, 140 и 250 квт с противодавлением 1,2 кг/см² абс. и назначены

[1] Советское котлотурбостроение, № 4, 1934 г.

по заданию Наркомтяжпрома для самостоятельного привода насосов или быть резервными двигателями при насосах, работающих от электродвигателей в холодильных установках больших паровых турбин. Турбины мощностью 40 квт имеют назначение быть резервными для привода насосов, откачивающих конденсат из холодильников паровых турбин 25 и 12 тыс. квт. Эти турбины работают

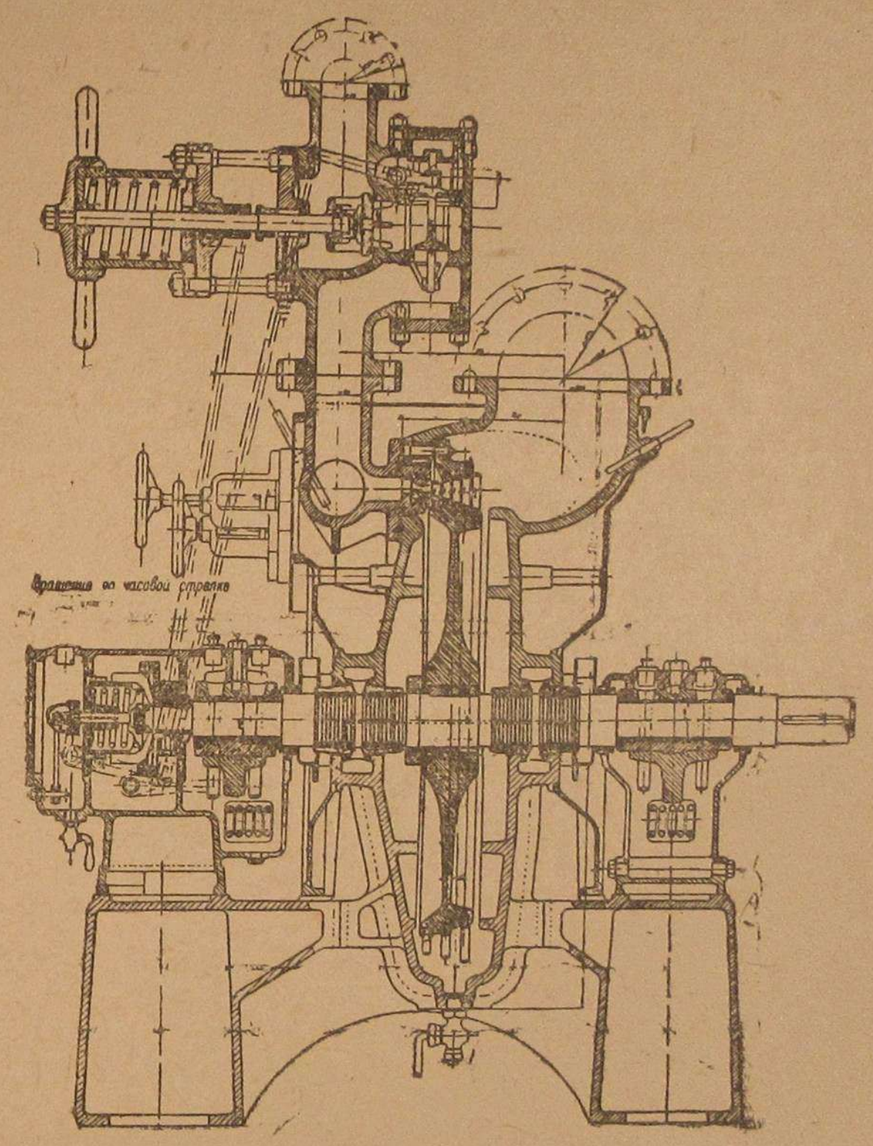


Рис. 130. Разрез турбины 140 квт.

паром 29 кг/см² абс. и при температуре 400° при 1500 об/мин. с непосредственным соединением с насосом. Турбина 40 квт имеет 3-ступенчатое колесо Кертиса и регулятор горизонтального расположения на переднем конце вала турбины. Подшипники турбины в 40 квт имеют кольцевую смазку; для соединения с насосом на валу насажена тарельчатая муфта. Второй тип турбины—140 квт резервный для привода циркуляционного насоса при непосредственном с ним соединении, подающего охлаждающую воду в холодильник при турбине 12 000 квт, и вместе с тем для привода самостоя-

тельных центробежных насосов. Эти турбины изготовляются для пара 29 кг/см² абс. и 400° и для пара 13 кг/см² абс. и 325°; они имеют некоторые конструктивные различия и профили лопаток изменяются в зависимости от давления. Число оборотов—1500 в минуту. Турбина 140 квт имеет 3-ступенчатое колесо Кертиса и регулятор горизонтального типа на переднем конце вала—прямого действия с рычажной передачей на дроссельный клапан. Подшипники с кольцевой смазкой и соединение с насосом тарельчатой муфтой, насаженной на вал. На рис. 130 и 131 показаны общий вид и разрез турбины 140 квт (29 кг/см² абс.) при 13 кг/см².

Турбина 250 квт (рис. 132) имеет 2-ступенчатое колесо Кертиса и является резервной для циркуляционного насоса турбины в 25 тыс. квт и для привода центробежных насосов, вообще, дав-

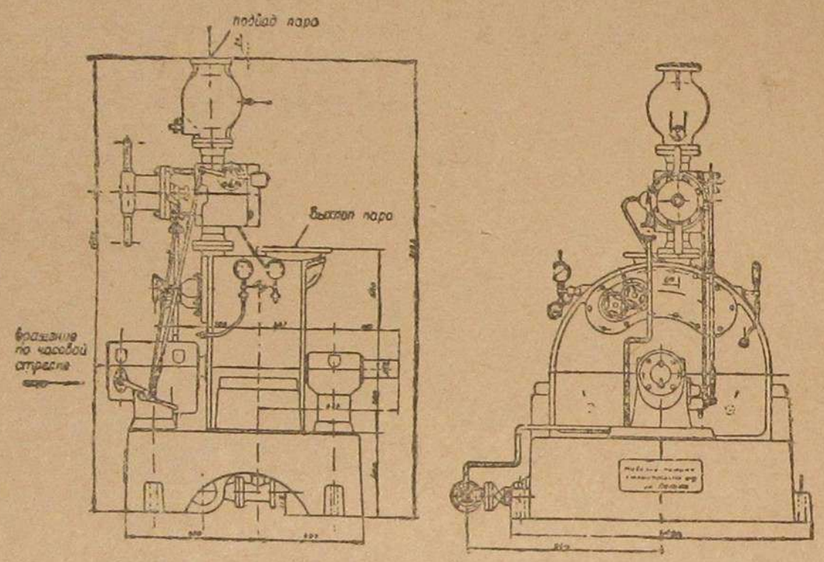


Рис. 131. Общий вид турбины 140 квт.

ление пара—29 кг/см² абс. и 400° или же 13 кг/см² абс. и 325°. Для подвода пара устанавливают различного типа сегменты сопел, в зависимости от начального давления пара. Число оборотов этой турбины—4500 в минуту; соединение турбины с насосом осуществляется при помощи зубчатой передачи, передаточное число которой при правом расположении от оси равно 4500/730, а при левом—4500/1450. Регулятор этой турбины вертикальный на одном валу с масляным насосом, которому вращение сообщается от вала турбины червячной передачей. Все описанные турбины имеют регуляторы безопасности; для перегрузки турбины имеют ручные перегрузочные клапаны. Смазка турбины 250 квт принудительная масляным насосом, который находится на продолжении вала регулятора. Соединение с валом редуктора—гибкой кулачковой муфтой, а вал передаточной шестерни редуктора соединяется с валиком насоса тарельчатой муфтой.

В таблице 57 дана сводка основных характеристических параметров этих турбин. Необходимо отметить, что турбины приведен-

ных мощностей Невского завода имеют сравнительно высокий расход пара, что определяется их типом. Эти турбины являются вспомогательными, а, главным образом, предназначены на случай порчи электродвигателей, с которыми соединяются насосы конденсационных установок.

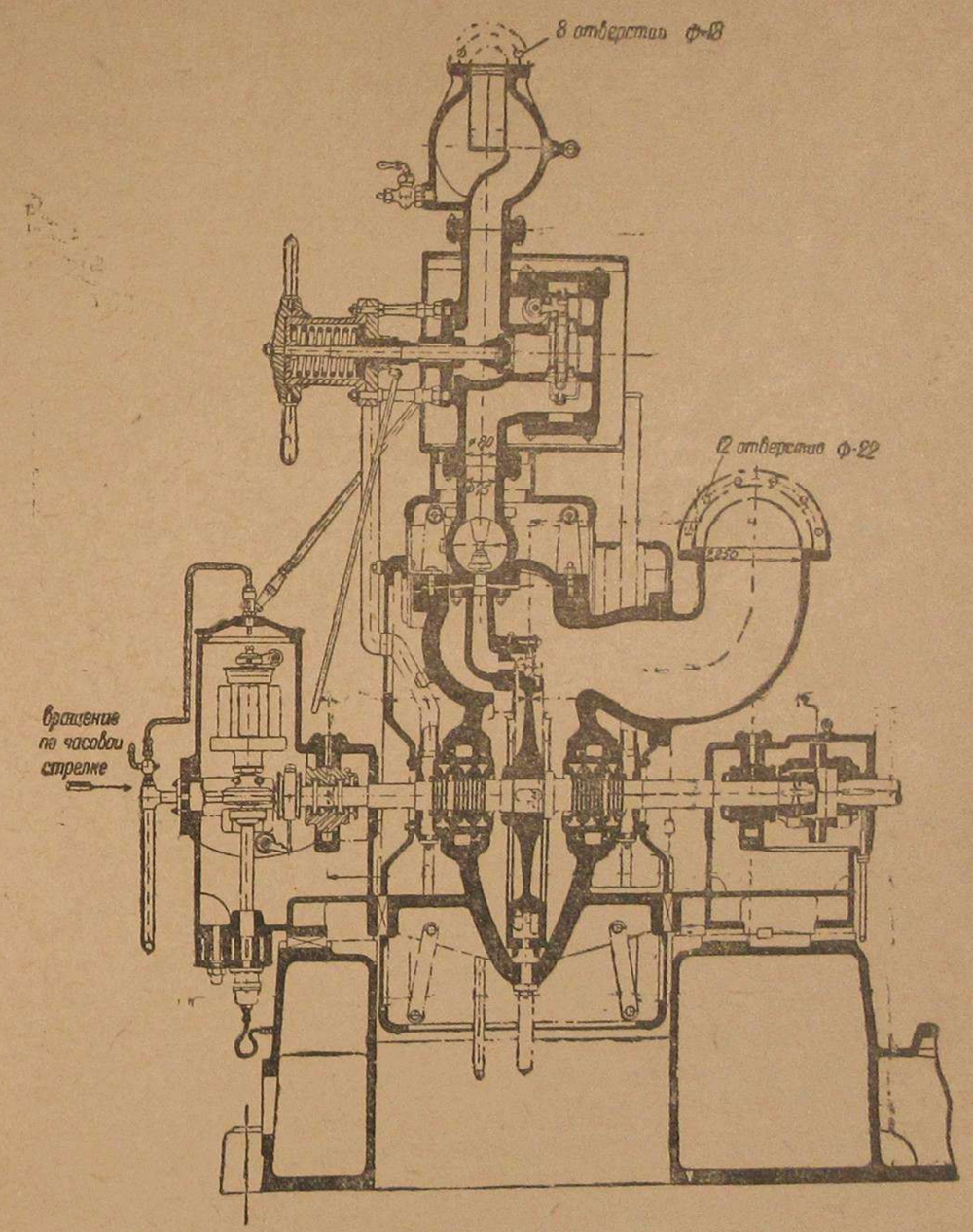


Рис. 132. Разрез турбины 250 квт.

Предположена на Невском заводе им. Ленина постройка турбины на 600—700 квт (816—952 л. с.) с давлением 11 кг/см² абс. и противодавлением 4,5 кг/см² абс., но она находится в периоде проектирования. Только турбина этой мощности пригодна для установок на теплосиловых станциях деревообрабатывающих предприятий.

3. Турбины с отбором пара

Турбинами с промежуточным отбором пара называются такие турбины, которые работают на холодильник или противодавление, но у них из промежуточных ступеней отбирается пар для производства или отопления. Отбор производится у одной, двух или трех ступеней, чаще всего из одной или двух точек. Турбины с отбором пара для производственных потребностей имеют регулируемый отбор и, если пар из турбины отбирается для подогрева питательной воды, то отбор пара не регулируется и давление у точки отбора зависит от нагрузки и количества отводимого пара. Турбина с отбором, который регулируется, состоит из части высокого давления с постоянным противодавлением и из частей низкого давления, где пар расширяется до давления в холодильнике или в системе противодавления. У турбин с регулируемым отбором часть высокого давления может быть одноступенчатая или многоступенчатая. По конструкции турбины делятся на одноцилиндровые и двухцилиндровые.

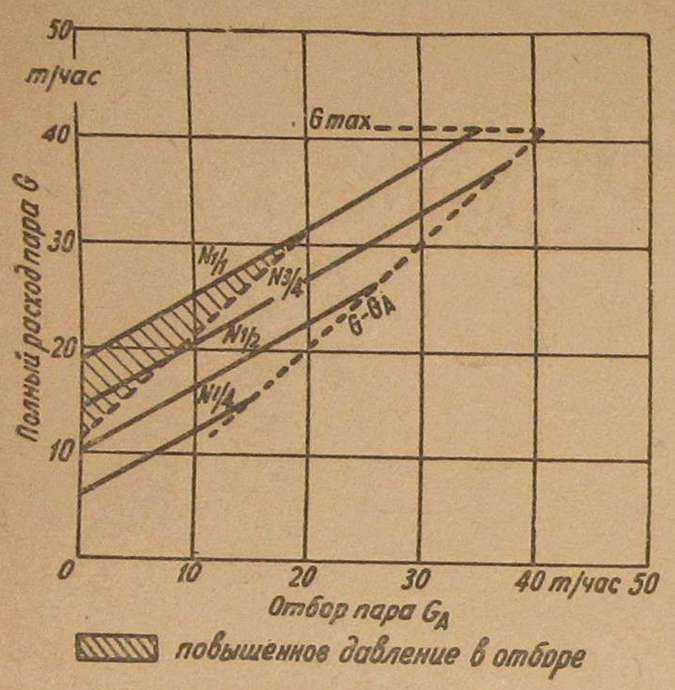


Рис. 133. Диаграмма зависимости между количеством пара, поступающим в турбину, и расходом в отбор и мощностью.

Подача общего количества пара в турбину в часть высокого давления регулируется скоростным регулятором, а отбор пара—регулятором давления, так что количество пара, поступающее в часть низкого давления, зависит от обоих регуляторов. На рис. 133 показана зависимость между количеством пара, поступающим в турбину, расходом пара, идущим в отбор, и мощностью турбины. В турбину может быть подано наибольшее количество пара $G_{наиб}$, в зависимости от пропуска через направляющие аппараты под действием регулятора; кроме того, количество пара, подаваемое в турбину, зависит от пропускной способности части низкого давления.

Если турбина работает с полным отбором всего поступающего пара и в части низкого давления создается разрежение, то работа идет как в случае противодавления. Такой работе соответствует точка линии, ограничивающей диаграмму с правой стороны. При этом увеличение отбора вызывает увеличение мощности, раздельное изменение мощности и отбора—невозможно.

Влево от линии противодавления мощность и отбор пара изменяются произвольно. Вследствие повышения нагрузки часть пара, которая не используется в отборе, переходит в часть низкого давления. Предел понижения отбора — левая черточная линия, за которой находится зачерченная площадка, где работа турбины возможна лишь при повышении давления в отборе. При возрастающей нагрузке и малом отборе пара в части низкого давления проходит большое количество пара и давление перед ней в камере отбора возрастает. Если это давление возрастает выше допустимого предела, то необходимо увеличить отток пара в сеть отбора; в таком случае должна быть предусмотрена установка предохранительного пароотвода или предохранительного клапана. В качестве крайней меры следует понизить нагрузку турбины, передавая часть таковой источнику энергии со стороны или на другую турбину.

Таблица 57

Основные характеристические величины турбин Невского механического завода им. Ленина

Мощность турбины квт	Число оборотов в мин.	Пар при впуске		Противодавление кг/см² абс.	Расход пара кг/час	Диаметр патрубка при впуске пара	Диаметр выпускного патрубка	Вес турбины	Редуктор		Примечание
		давлен. кг/см² абс.	температура Ц°						Передаточное число	Вес тонн	
40	1 500	29	400	1,2	1 030	45	200	1,6	Без редуктора		
140	1 500	29	400	1,2	3 280	80	225	2	»	»	
140	1 500	13	325	1,2	3 950	80	225	2	»	»	
250	4 500	29	400	1,2	3 850	80	250	3	4 500/730	1,6	
250	4 500	13	325	1,2	5 000	80	250	3	4 500/730	1,6	
250	4 500	13	325	1,2	5 000	80	250	3	4 500/1450	1,6	
600—750	3 000	11	325	4,5	—	—	—	—	—	—	Проектируется

В случае значительно изменяющейся нагрузки турбины и колеблющегося отбора пара, турбины строятся с небольшим числом ступеней в части высокого давления, а потому при заказе турбины с отбором гарантии экономичности работы турбины должны быть отнесены для тех пределов мощности и отбора пара, которые определяются нормальными условиями производства. Расширение этих пределов для случаев исключительного повышения мощности и расхода нерационально, так как турбина, удовлетворяющая этим условиям, будет экономически невыгодна при нормальной работе.

Поэтому при установлении характеристики турбины с отбором нужно установить:

1) наибольшее количество отборного пара при полной нагрузке;
2) наименьшее количество пара при наименьшей нагрузке;
3) наибольшую мощность при отсутствии отбора.

На рис. 134 представлен продольный разрез однокорпусной турбины А. Е. G—36 000 квт при 3000 об/мин. Средний подшипник и внешний подшипник генератора укреплены на фундаментной плите. Внешний подшипник турбины может перемещаться на фун-

даментной плите при помощи установки на клине, передвигающемся в пазу. Корпус турбины не опирается непосредственно на фундаментную плиту, он прикреплен полукруглыми фланцами к среднему и передвижному подшипникам. При таком устройстве корпус турбины может свободно расширяться в любом направлении, сохраняя неизменным свое положение относительно вала. Ротор турбины сохраняет свое продольное положение в корпусе турбины при помощи упорного подшипника, который соединен с внешним подшипником. Корпус турбины разделен в горизонтальной плоскости. Верхняя часть корпуса несет часть с регулятором, который может быть снят без необходимости открывать турбину.

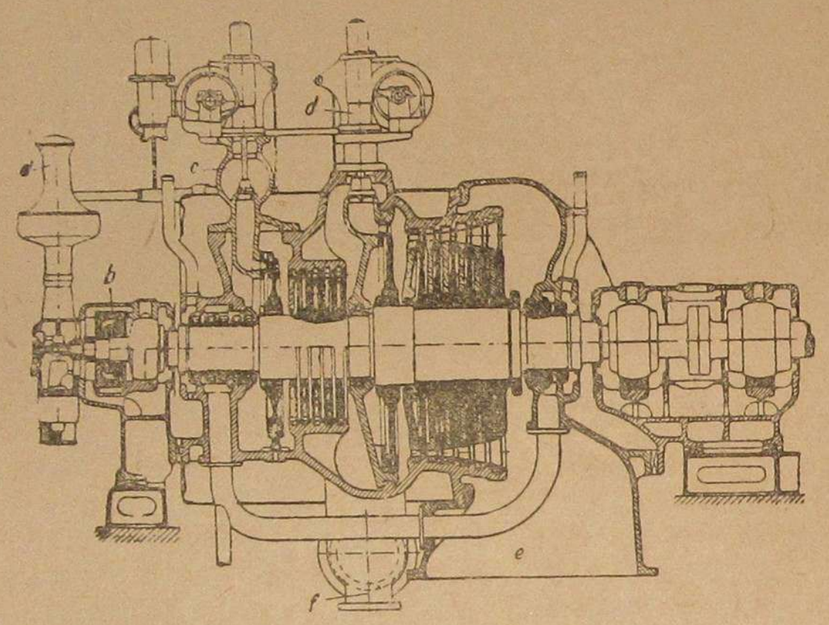


Рис. 134.

Первая часть турбины состоит из регулируемого двухвенцового колеса Кертиса, затем в части высокого давления идут пять активных ступеней давления и в части низкого давления — в качестве регулируемой—активное одновенцовая ступень и далее шесть ступеней давления, где пар расширяется до давления в холодильнике. Обе регулируемые ступени выполнены с частичным подводом пара. В части высокого давления диски выполнены за-одно с валом, а в части низкого давления, вследствие большого диаметра, диски укреплены на валу.

У турбины с отбором пара свежий пар и пар в части низкого давления подводится к первому колесу при помощи нескольких сопел. Если пар поступает при помощи одного вентиля, то при частичной нагрузке, вследствие торможения, снижается давление перед первой ступенью. Турбина работает тогда с меньшим перепадом и удельный расход пара значительно повышается. Для изменения такого положения пускают добавочное количество пара через соответствующее мощности количество сопел к лопаткам первого колеса. При частичной нагрузке добавочно открывающиеся сопла используют полный перепад и расход пара на 1 квт-ч. возрастает меньше. Вентили, закрывающие сопла, открываются при возрастающей нагрузке при помощи кулачков, которые сидят на валу, приводимым в движение при помощи масляного поршневого вспомогательного двигателя. Приток масла в поршневой двигатель производится скоростным регулятором и регулятором давления. Рис. 135 представляет схему регулирования турбины A. E. G. с отбором пара, при котором регулятор оборотов и давления непосредственно воздействует на вентили. Турбины A. E. G. имеют соединенное регулирование, впервые примененное Рато. Так, если нагрузка возрастает и необходимо, чтобы турбины развивали большую мощность, муфта скоростного регулятора понижается, точки соединений *1* и *2* поднимаются, и вентили в части высокого и низкого давлений открываются. Мощность возрастает без изменения количества отборного пара. При изменяющемся количестве отборного пара регулятор давления передвигает впускной вентиль в турбину и переводит в часть низкого давления в противоположном направлении, так что доступ пара в часть низкого давления уменьшается, и вместе с тем отбор увеличивается, или, наоборот, часть высокого давления получает неизмененное количество пара.

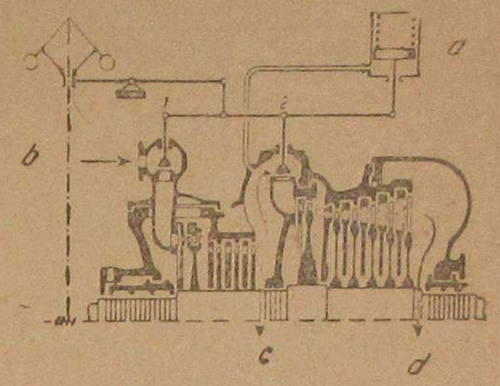


Рис. 135. Схема регулирования турбины A. E. G., *a*—регулятор давления, *b*—впуск пара, *c*—отбор пара, *d*—выпуск пара в холодильник.

Рис. 136 представляет продольный разрез турбины A. E. G. с двойным отбором на 2000 квт и 6000 оборотов.

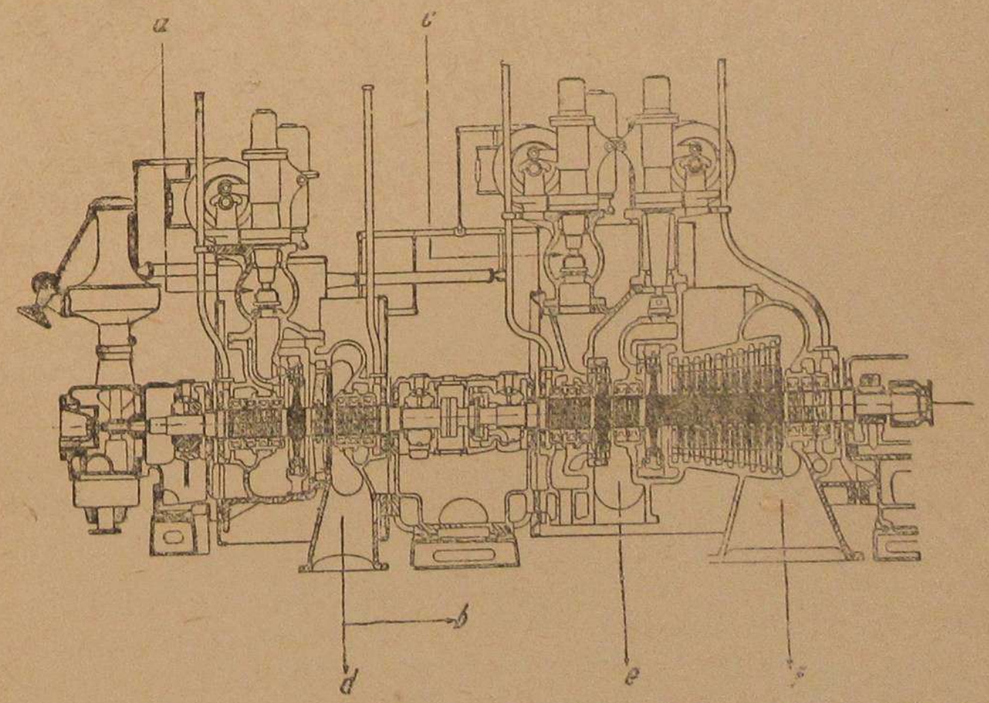


Рис. 136. Одноцилиндровая турбина A.E.G. с двойным отбором, 2000 кв. п. = 6000 об, *a* — впуск свежего пара, *b*—впуск свежего пара в часть среднего давления, *c*—выход пара из части среднего давления, *d*—отбор пара, *e*—второй отбор, *f*—выпуск пара в холодильник.

Такие турбины особенно необходимы для целлулозно-бумажного производства, так как они подают пар двух различных давлений в любом количестве и независимо от получения мощности при помощи конденсационной части. Перепад тепла между паром при давлении впуска и паром для варки 8 кг/см² абс. используется двухвенцовым колесом Кертиса.

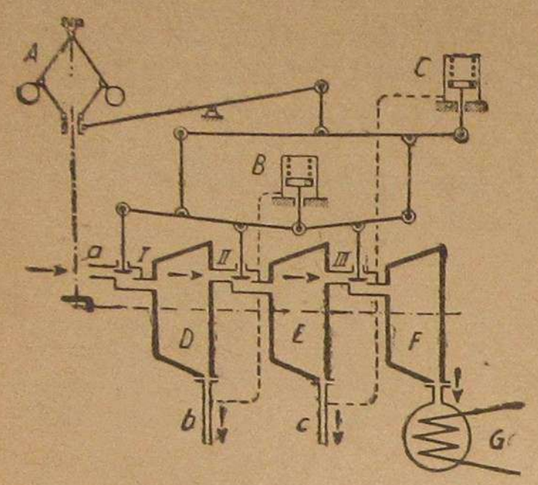


Рис. 137. Схема соединенного регулирования турбины с двойным отбором пара. *A*—регулятор числа оборотов, *B*—регулятор первого отбора, *C*—регулятор второго отбора, *D*—часть высокого давления, *E*—часть среднего давления, *F*—часть низкого давления, *G*—холодильник, *a*—впуск свежего пара, *b*—проход первого отбора, *c*—проход второго отбора.

Точно так же включено двухвенцовое колесо перед вторым отбором между давлением пара варочных котлов и паром сушильных цилиндров и бумажных машин. Перепад от 3 кг/см² абс. до давления в конденсаторе используется в нескольких ступенях давления. В этих машинах вообще для сокращения длины в части высокого и низкого давления ставится по одному колесу Кертиса. Необходимо отметить, что у этих машин при двух регуляторах давлений и одном скоростном регуляторе предусмотрены три регулируемых сопла с приводными кулачками на одном валу.

На рис. 137 представлена схема соединенного регулировочного устройства турбины с двойным отбором пара. Эти машины часто выполняются с двойным подводом пара. На

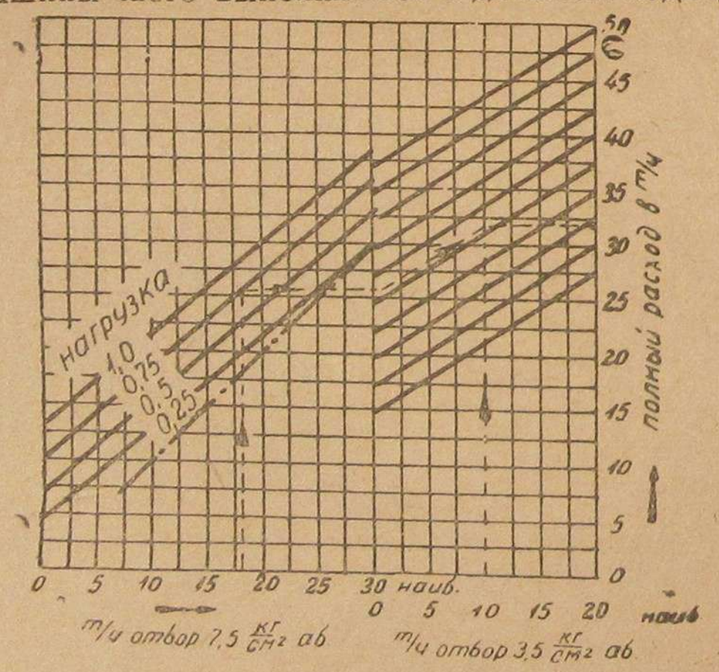


Рис. 138.

рис. 138 показан расход свежего пара при двойном отборе; левая часть представляет диаграмму расхода у турбины с одиночным отбором.

4. Паровые турбины завода им. Кирова

Кировский завод строит турбины средних мощностей с отбором пара и турбины с холодильниками; первые турбины с бесподвальной установкой, а вторые — с подвальной и бесподвальной. Турбины с отбором пара имеют мощность 2500, 4000, 6000, а с холодильником — 3000 и 12 000 квт.[1] В таблице 58 собраны основные параметры рассматриваемых паровых турбин. Турбина 4000 квт бесподвального типа (CR-26) имеет 5000/1000 об/мин. с отбором пара 17 т/час при давлении 7 кг/см² абс. и дает экономическую нагрузку 3200 квт. Эта турбина одноцилиндровая, активного типа, в части высокого давления до отбора имеет 1 колесо Кертиса и две ступени Рато, а в части низкого давления — колесо Кертиса и три колеса Рато.

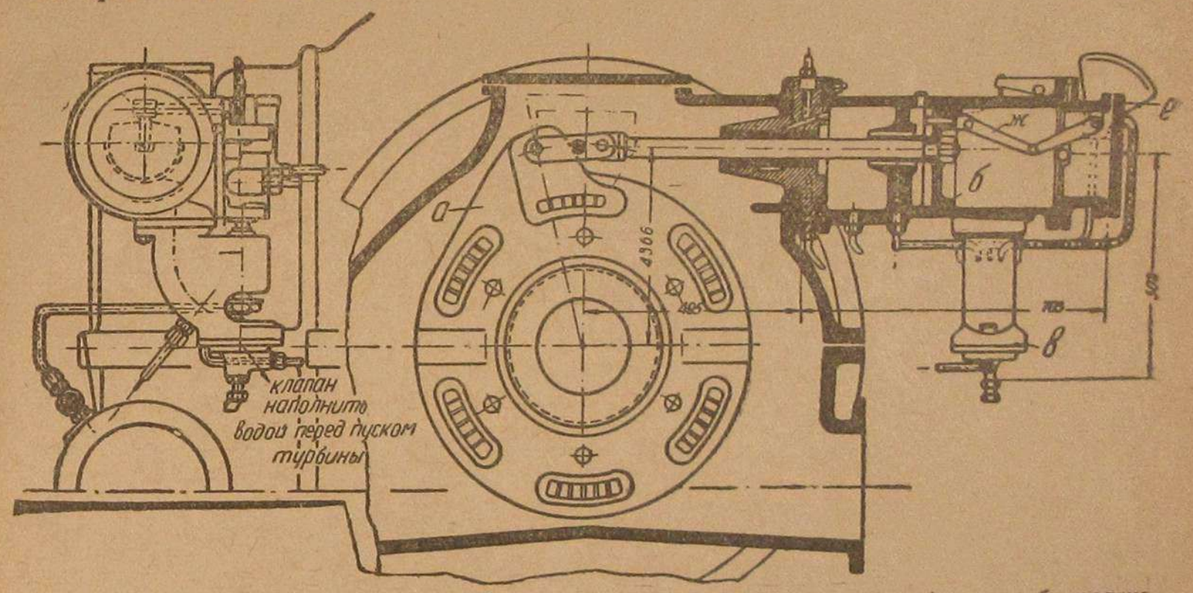


Рис. 139. Регулятор давления к турбине CR-26, *а*—вращающиеся диафрагмы, *б*—поршневой сервомотор, *в*—диафрагмовый регулятор давления, *г*—масляный распределитель, *д*—выключающее устройство, *е*—кулачок выключателя, *ж*—шарнирный рычаг.

Пар поступает из двух регулирующих клапанов по двум трубам. Сперва в камеры двух верхних групп сопел, а затем из этой камеры пар подводится к нижним группам сопел также по двум трубам. Нижние сопла включаются вручную, а верхние—автоматически. Диафрагмы в части высокого давления—стальные с фрезерованными соплами, которые прикреплены; в части низкого давления—чугунные с залитыми лопатками. Цилиндр турбины состоит из трех частей, соединенных болтами между собой. Передняя часть высокого давления стальная, средняя часть, где находится камера отбора, и концевая выпускная часть—обе из чугуна. Патрубки отбора — два, имеют диаметр 250 мм.

Регулирование отбора пара не связано с регулятором скорости. Регулирование давления в камере отбора производится особым регулятором давления (рис. 139), который состоит из частей *а*—вращаю-

[1] Производство этих турбин сейчас частично переносится на завод им. Ленина.

	C-R-20 с отбором, бесподвальная	OK-30 конденсац. подвальная	CH-26 конденс. бесподвальная	CR-26 с отбором, бесподвальная	CR-46 с отбором, бесподвальная	OKO-120 с отбором, бесподвальная	TH-65 конденсационная подвальная	TH-65 B подвальная
Мощность . . . . . квт.	2 500	3 000	4 000	4 000	6 000	12 000	12 000	9 000
Число оборотов мин.	5 000 / 1 000	3 000	5 000 / 1 000	5 000 / 1 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Число цилиндров	1	1	1	1	1	1	2	2
Давление свежего пара кг/см² абс.	20	(12—18) 16	16	29	29	29	29	29
Температура пара °Ц	350	350	350	400	400	400	400	400
Количество отбираемого пара тонн/час. — максим. нагрузка . . .	20	—	—	25	35	60	—	—
Количество отбираемого пара тонн/час. — эконом. нагрузка . . .	14	—	—	17	25	30	—	—
Давление отбираемого пара кг/см² абс.	5 ± 1	—	—	5 ± 1	6 ± 1	1,2—2,5	—	—
Количество охлажд. воды в м³/час	800	1 200	1 350	350	1 900	2 800	2 580	—
Температура охлаждения воды °Ц	15	15	20	15	15	15	15	4
Число дисков	7	5	10	7	18	16	11	11
„ цил. выс. давл.	—	1 Керт.	1 Керт.	1 Керт. + 2 Рато	1 Керт. + 6 Рато	— —	1 Керт. 9 Рато	
„ „ низк. „	—	4 Рато	9 Рато	1 Керт. + 3 Рато	1 Керт. + 10 Рато	— —	14—14 Рато	12
„ рабочих лопаток	1 600	1 823	1 928	1 600	4 654	4 336	5 578	5 236
„ лопаток, направляющих фрезер	114	—	—	114 в диафр. вделаны	576	792	1346	1346
Расход пара кг/квт час. — максимальн. нагрузка — отбор при максимальной нагрузке	11,9	—	—	9,23	9,04	7,04	—	—
Расход пара кг/квт час. — максимальн. нагрузка — без отбора	6,4	5,6	5,44	5,0	4,98	5,44	4,9	—
Расход пара кг/квт час. — экономическ. нагрузка — отбор при экон. нагр. .	11,4	—	—	8,63	8,75	6,3	—	—
Расход пара кг/квт час. — экономическ. нагрузка — без отбора	6,45	5,85	5,32	5,2	5,18	5,3	4,7	—
Турбины[1]	27 200[1]	22 000[1]	29 000[1]	27 200[1]	34 500[1]	40 500[1]	46 000[1]	44 000[1]
Конденс. без трубок . . . . . (вес в кг.)	5 700	10 400	5 700	5 700	6 200	10 700	20 000	11 000
Трубки . . . . . (вес в кг.)	2 100	3 000	2 100	2 100	5 300	4 300	7 500	4 300
Общий вес конденсат. в сборке . . (вес в кг.)	7 800	13 400	7 800	7 810	11 500	15 000	27 500	15 300

[1] Вес турбины с конденсатором.

щейся диафрагмы, *б*—поршневого сервомотора, *в*—диафрагмового регулятора давления, *г*—масляного распределителя, *д*[1]—выключающего устройства, *е*—кулачка выключателя и *ж*—шарнирного рычага выключателя.

Вращающаяся диафрагма имеет вырезы по месту групп сопел, при ее вращении открываются или закрываются соответствующие группы их. Регулирование отбора производится следующим образом: при возрастании давления в камере отбора сопла, подающие пар в часть низкого давления, открываются, а при уменьшении давления — закрываются.

Диафрагма приводится в движение сервомотором, и масло пропускается, в зависимости от положения распределительного механизма, состоящего из золотника, в цилиндр по одну или другую сторону поршня. Регулятор давления состоит из диафрагмы, закрепленной между двумя фланцами; диафрагма делит корпус регулятора на две части. Диафрагма сверху находится под давлением атмосферы и пружины, а снизу давит отборный пар из камеры отвода. В случае повышения давления пара в камере отбора, диафрагма изгибается в верхнюю сторону, при этом сжимается пружина, а шпиндель и масляный насос перемещаются вверх; если же давление понижается, диафрагма выгибается вниз под влиянием пружины. Выключение производится при помощи золотника *д*, кулачка *е* и рычагов *ж*; при чем букса перемещается поршнем сервомотора при помощи двух серег и кулачка. По профилю кулачка скользит конец рычага, который опирается другим концом в торец буксы золотника. Букса золотника движется так же, как золотник до закрытия окон подвода масла. На конце рычага имеется стрелка, которая показывает величину открытия сопел в диафрагме.

Гарантийный расход пара на 1 квт-ч. при начальном состоянии пара 29 кг/см² абс. и 400° и температура охлаждающей воды 15° даны в таблице 59.

Таблица 59

Нагрузка — квт	4000	4000	3200	3200
Величина отбора пара при 5 кг/см² абс. т/час	25	0	17	0
Коэф. п. д. редуктора	98	98	98	98
Коэф. п. д. генератора при $\cos\varphi = 0{,}8$	95,8	95,8	95,8	95,8
Расход пара кг/квт-час	9,23	5,00	8,63	5,20

Теплофикационная турбина в 6000 квт бесподвального типа (CR = 46) при 3000 об/мин., с отбором пара 25 т/час, при давлении 6 кг/см² абс. и экономической нагрузке 4800 квт. Турбина одноцилиндровая с колесом Кертиса и шестью ступенями давления до регулируемого отбора; в части низкого давления также колесо Кертиса с 10 ступенями Рато. Цилиндр турбины состоит из трех частей, передняя со стороны впуска пара стальная, следующие—чугунные. Задняя часть цилиндра является одновременно корпусом холодильника, при чем нижняя его часть—сварная. Отбор пара производится по двум патрубкам с диаметрами 250 мм. Свежий пар подводится к турбине по трубе диаметром 200 мм.

[1] Части „*г*" и „*д*" находятся в коробке за цилиндром поршневого сервомотора (Подробности см. „Энергооборудование". Вып. I. Лист 46. Фиг. 82).

Турбина имеет отбор пара для регенеративного подогрева воды за 13 ступенью. Холодильник двухходовой с поверхностью охлаждения 460 м². Величина отбора пара 25—35 т/час; второй отбор—при полной мощности. Диаграмма зависимости полного расхода от мощности турбины и от величины отбора пара показана на рис. 140. Прямая *АБ* показывает величины отбора и нагрузки, при которых происходит автоматическое регулирование давления пара (влево от *АБ*). Когда регулирования давления не бывает, давление в камере отбора возрастает при увеличении расхода пара через часть низкого давления (влево от *АБ*). При нагрузке в 6000 квт без отбора давление в камере отбора возрастает от 6 до 7,3 кг/см² (точка *Б*). При таком давлении регулирующее устройство давления отбора находится в крайнем положении и не действует.

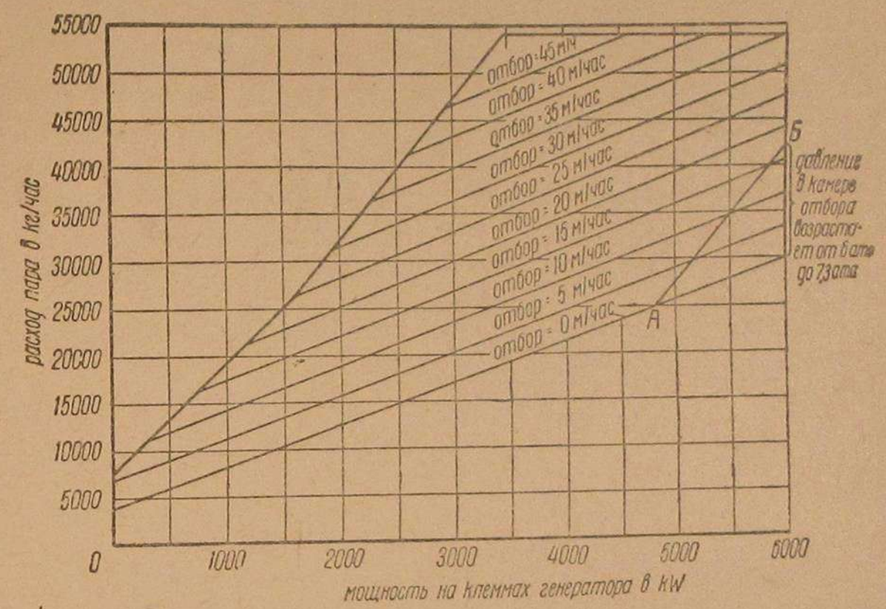


Рис. 140. Диаграмма режимов работы отепляющей турбины 6 000 кв. бесподвального типа CR-46.

Кроме рассмотренных турбин типа: CR-26 и CR-46, Кировский завод строит турбины с отбором СР-20 на 2500 квт и ОКО-120 на 12 000 квт. Наибольший интерес для деревообрабатывающей промышленности представляет турбина в 2500 квт мощности и по величине давления отборного пара (5 ± 1) кг/см² абс., что соответствует нынешним условиям деревообрабатывающего производства для использования отборного пара для технологических целей; по своей мощности турбина CR-20 найдет применение в обычных деревообрабатывающих комбинатах.

Однако, из сопоставления размеров мощности строящихся турбин Невским механическим заводом им. Ленина (600—750 квт), которые проектируются, и турбинной мощностью 2500 квт Кировского завода следует, что турбины промежуточной мощности ни

одним заводом в СССР не строятся. Деревообрабатывающая же промышленность—лесопильная, фанерная, спичечная и лесохимическая наиболее остро нуждаются в турбинах меньших мощностей, а именно: 500, 750, 1000, 1250, 1500 и 2000 квт. Эти машины необходимы не только для оборудования новых предприятий небольшой производительности, но и для переоборудования уже существующих, оборудование которых, как было показано выше, значительно изношено.[1]

XXIII. ХОЛОДИЛЬНИКИ ПРИ ПАРОВЫХ МАШИНАХ И ТУРБИНАХ И ТРУБОПРОВОДЫ К НИМ

Давление пара при выпуске из паровой машины на воздух равно 1,15—1,2 кг/см² абс. Для улучшения использования тепла в паровых машинах давление при выпуске может быть понижено до 0,15—0,20 кг/см² абс., вследствие присоединения к машине холодильника, где отработавший пар подвергается сгущению. У паровой турбины давление пара в холодильнике может быть понижено до 0,04 кг/см² абс.

Холодильники, присоединяемые к паровым машинам и турбинам, существуют двух систем:

1) Смесительные, в которых вода непосредственно перемешивается с паром, перемещаясь в противоположном или параллельном направлении.

2) Поверхностные, в которых пар, выходящий из машины, сгущается, вследствие отдачи тепла охлаждающей воде через стенки большого количества трубок, завальцованных в днищах цилиндрического сосуда. С одной стороны цилиндра охлаждающая вода входит в особую камеру перед трубками, а с другой,—заполняя отводную камеру,—выходит по отводящей трубе.

Смесительные холодильники пара дешевле, чем поверхностные. Но поверхностные холодильники дают значительно большее разрежение, хотя на достижение его затрачивается меньше энергии, чем в смесительных. В установках паровых турбин сгущенный в поверхностном холодильнике пар может быть использован для питания котлов, что представляется весьма существенным, особенно там, где воды мало.

Для действия холодильника нужны насосы, так как сгущенный пар (конденсат) должен быть удален из холодильника. Точно так же воздух, находящийся с водой в холодильнике или проникающий через неплотности, необходимо постоянно отсасывать. Сгущенный пар с охлаждающей водой и воздухом в смесительных холодильниках могут быть отсосаны одновременно мокровоздушным насосом. Но в настоящее время часто устанавливаются отдельные для отсоса воздуха центробежный или водоструйный насос и для сгущенного охлажденного пара—центробежный насос.

---

[1] Вопрос о постройке турбины мощностью 500—2000 квт на наших заводах сейчас прорабатывается. *Ред.*

При поршневых паровых машинах разрежение получается не более 80—85%, а у паровых турбин, в которых расширение доводится до противодавления, разрежение достигает 95—97%.

Устройство охлаждения при паровых машинах создает экономию в расходе пара, по сравнению с машинами, работающими с выпуском на воздух, в 35%.

Расход мощности на обслуживание конденсационной установки составляет 3% мощности машин.

Смесительные холодильники работают параллельным током, но при впуске в холодильник струи охлаждающей воды и пара пересекаются. При пересечении струй разбрызгиваемой охлаждающей воды и пара происходит их перемешивание и далее частицы пара и воды движутся параллельно, пар охлаждается и стекает в смеси с охлаждающей водой в нижнюю часть холодильника, имеющего цилиндрическую форму. Получающаяся из охлажденного пара и охлаждающей воды смесь—теплая вода и воздух в маленьких установках отсасывается одним насосом, иногда в больших установках удаляется отдельно воздух—воздушным сухим насосом или струйным прибором.

В противоточных смесительных холодильниках вода и пар подводятся с разных концов к холодильнику, вода сверху, а пар снизу. Охлаждающая вода подается центробежным питательным насосом в холодильник, а смесь сгущенного пара с водой в больших центральных холодильниках вытекает через барометрическую спускную трубу или отсасывается центробежным насосом. В противоточном холодильнике воздух отсасывается сверху особым сухим воздушным насосом или струйным прибором.

Поверхностные холодильники устраиваются следующих типов:

1) Закрытые лежачие, цилиндрические холодильники; в этих холодильниках вода протекает через трубки, омываемые паром. Эти холодильники отличаются простотой устройства, а потому имеют широкое применение.

2) Стоячие открытые холодильники, у которых трубки с охлаждающей водой легко доступны для прочистки во время работы; такие холодильники могут быть применены при грязной воде.

3) Оросительные холодильники; в них пар проходит по трубкам, которые снаружи омываются водой. Расход воды небольшой и соответственно расход энергии на насос для перекачки оборотной воды незначительный.

4) Погруженные холодильники, в которых пар протекает в трубках. При жесткой воде холодильники типа оросительного и погруженного не применяются, так как при нагреве охлаждающей воды выделяются соли угольной кислоты, которые отлагаются на поверхности трубок, ухудшая передачу тепла.

В больших установках ряда паровых машин или турбин, работающих с постоянным расходом энергии, устраивают центральное охлаждение пара. Центральный холодильник устанавливается на высоте несколько больше 10 м с барометрической спускной трубой. К той части холодильника, куда вступает пар, пристраивается маслоотделитель, откуда масло, отделенное от пара, с примесью воды отводится барометрической трубкой, так что при таком устройстве нет необходимости ставить особый насос для откачки

масла. Главная спускная труба из холодильника проводится в особый бассейн; при оборотном охлаждении вода из бассейна направляется в градирню, из водосборника под градирней вторым насосом вода перекачивается в холодильник. В центральной установке охлаждения с поверхностным холодильником пар перед впуском в него пропускают через маслоотделитель, так как иначе поверхность трубок будет покрыта слоем масла, отчего передача тепла от пара к воде ухудшается. Масло, отделенное в маслоотделителе, содержит воду и загрязняющие его примеси. Если пропустить масло через сепаратор и фильтры, то им снова можно смазывать машины. Охлаждающую воду, применяемую в смесительных холодильниках, следует предварительно очищать в отстойниках для удаления взвешенных частиц, загрязняющих холодильник и трубы. Для больших установок должна быть предусмотрена полная очистка воды как подаваемой в котел, так и сгущенного, отработавшего в машине пара. Для малых установок достаточна очистка охлаждающей воды при помощи двойного сита на всасывающем наконечнике трубопровода.

В установках машин малых мощностей охлаждающая вода при оборотном охлаждении действием одного насоса прогоняется через трубки поверхностного холодильника и затем далее нагнетается в градирню. Оборотное охлаждение при паровых машинах применяется только в том случае, если в местности, где произведена установка, ощущается недостаток воды подходящего качества. Температура охлаждающей воды, в среднем, бывает: при снабжении конденсационной установки из колодцев—10°, из рек и прудов—от 10° до 25°, а при оборотном охлаждении—около 30°. Удаление воды с маслом из паровых маслоотделителей, включенных перед холодильником, и из паропроводов отработавшего пара должно производиться особыми приборами с плотными затворами, во избежание ухудшения разрежения в холодильнике.

Принцип устройства этих приборов заключается в том, что в местах трубопровода, где скопляется вода, делают спускные отверстия, которые закрываются тщательно пришлифованными кранами, соединенными между собой общим проводом. Из этих кранов вода спускается в общий водоотводчик. Если водоотводчик сообщается с окружающим пространством, то все краны автоматически закрываются в обратную сторону.

В смесительных холодильниках количество охлаждающей воды на 1 кг пара равно от 25 до 40, а в поверхностных—50 и выше. Эта величина называется кратностью охлаждения и зависит не только от глубины желательного разрежения в холодильнике, но и от температуры охлаждающей воды.

Все трубопроводы при холодильнике как для отработавшего пара, так и для воды и воздуха изготовляются из стальных труб без шва, сварных и реже—из железных труб. При малых диаметрах труб для соединения их применяются навальцованные фланцы. Для соединения труб больших диаметров отгибают их кромки и насаживают на них свободные фланцы или наваривают на концы труб особые упорные кольца и соединяют свободными фланцами. Для уплотнения соединения труб ставят резиновые кольца. Конечно,

водопроводящие трубы должны быть защищены отепляющим слоем от действия мороза в случае расположения на поверхности земли, а в земле трубопроводы должны быть уложены ниже поверхности промерзания. Для опоражнивания все части трубопроводов и самого холодильника должны быть снабжены контрольными кранами для спуска воды, накапливающегося сгущенного пара и полного удаления воды из всех частей холодильника при длительной остановке машины. На высоко лежащих частях холодильника должны быть устроены краны для продувки и выпуска воздуха при заполнении холодильника водой.

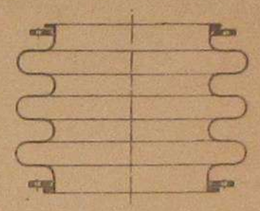


Рис. 141. Пружинящая вставка между турбиной и холодильником.

Трубопроводы отработавшего пара устраиваются так же, как паропроводы свежего пара, но изолировать такие трубы нет необходимости. Однако, должна быть предусмотрена возможность свободного расширения трубопроводов, так как иначе машина и холодильник будут претерпевать вредные напряжения.

Напряжения, возникающие, вследствие нагрева паропроводов отработавшего пара, поглощаются особыми пружинящими вставками, которые устанавливаются между турбиной и холодильником (рис. 141).

На случай порчи холодильника для предотвращения остановки машины или турбины перед холодильником должен быть установлен особый автоматический переключающийся клапан, открывающий выход пара на воздух. Как только в пароотводе холодильника повышается давление, клапан (рис. 142) открывается и происходит выпуск пара, но для длительной работы на воздухе холодильник должен быть закрыт особой задвижкой. В паропроводах с пониженным давлением для защиты от проникания воздуха употребляют задвижки с водяным уплотнением сальника.

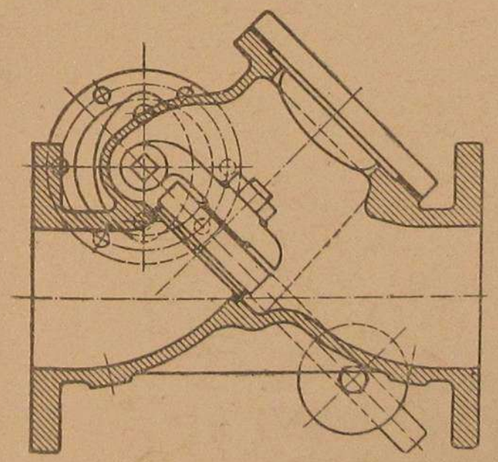


Рис. 142. Самодействующий выключающий клапан при холодильнике.

Маслопроводы

Смазочные маслопроводы паровых машин, паровых турбин и двигателей внутреннего горения должны быть собраны так, чтобы места соединений были бы тщательно уплотнены, особенно при протекании в трубопроводах горячего масла, например, у паровых турбин, где масло после подшипников течет по особым трубам в холодильник. Соединения в маслопроводе уплотняются клингеритом или волокнистой папкой, которая при прокладывании во фланцы промазывается костяным клеем. При сплачивании фланцев необходимо болты затягивать равномерно с одинаковым натяжением, чтобы не произошел перекос соединения. Трубы для маслопровода изготовляются из стали, с совершенно чистой внутренней поверхностью без всяких шлаковых включений или каких-либо выступов

в металле, стесняющих внутреннее сечение труб и тем самым затрудняющих проток масла. Для соединения частей маслопроводов применяются навинченные или навальцованные фланцы.

Для закрытия маслопроводов малых диаметров применяют краны из красной меди, а для больших—чугунные краны с медными внутренними частями.

XXIV. ЛОКОМОБИЛИ

1. Типы локомобилей и основы их устройства

Паросиловое хозяйство лесопильных, фанерных и деревообрабатывающих заводов малой и средней производительности требует такой паросиловой установки, которая при небольшой занимаемой площади давала бы достаточную мощность и представляла возможность: использовать отработавший пар, производить отбор пара из машины и подавать свежий пар непосредственно в паропроводную сеть, понижая его давление. Такой установкой, удовлетворяющей всем этим условиям, при простоте обслуживания и высокой тепловой полезности, является локомобиль.

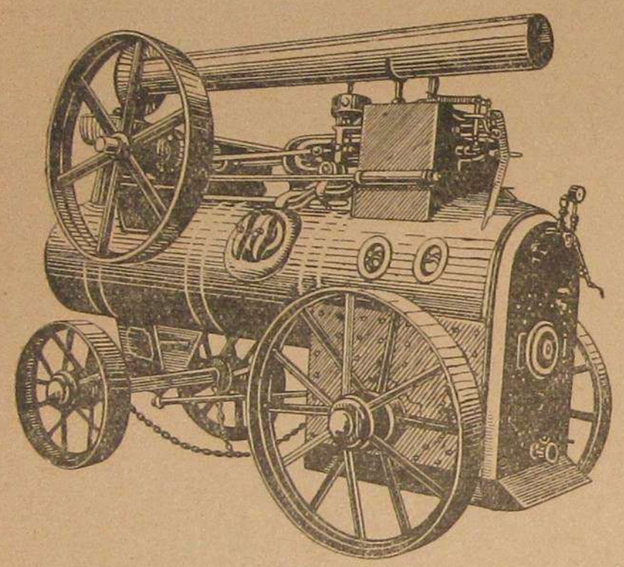


Рис. 143. Локомобиль Людиновского завода кл. А—V.

В настоящее время в СССР построением локомобилей занимается Людиновский завод, который выпускает следующие типы:

1. Передвижные одноцилиндровые локомобили влажного пара. Котел с паровозной топкой на колесах или на подставках. Класс А — V (рис. 143). В таблице 60 даны характеристические величины локомобиля марки А — V.

2. Передвижные двухцилиндровые (сдвоенные) локомобили. Котел с паровозной топкой на колесах или на подставках. Класс Д (рис. 144).

В таблице 61 даны характеристические величины локомобиля марки Д — III.

3. Передвижные одноцилиндровые локомобили с паровозной топкой с перегретым паром 310°, без охлаждения. Класс С (рис. 145). В таблице 62 даны основные характеристические величины локомобилей этого класса.

Гарантийный расход на 1 пол. л. с.-час:

угля (7500 кал.) — 1,15—1,13 кг, пара — 9,0—8,8 кг.

Таблица 60

Передвижные одноцилиндровые локомобили класса А — Характеристические величины локомобиля марки А-V

Давление в котле — 10 кг/см² ман.

Марка	Мощность п. л. с.		Число оборотов в минуту	Маховик		Число маховиков	Цилиндр		Поверхность нагрева котла м²	Площадь колосниковой решетки м²	Прибл. расход на 1 п. л. с.-ч.		Прибл. вес в тоннах				Цена в рублях	
													Нетто		Брутто			
	Нормальная	Наибольшая продолжительная	Наибольшая кратковременная	Диаметр мм	Ширина мм		Диаметр мм	Ход поршня мм			пара	угля (7500 кал)	дров (3500 кал)	На колесах	На подставках	На колесах	На подставках	котла с принадлежностями	опилоотопки
A-V	24	29	35	1 500	180	1	200	330	15,5	0,61	13,9	1,95	4,2	6 000	5 300	6 200	5 400	4 263	485

Площадь колосниковой решетки . . . . . 0,61 м²
Ширина топки . . . . . 680 мм
Высота топки . . . . . 920 „
Длина топки . . . . . 900 „

Таблица 61

Двухцилиндровые локомобили Людиновского завода класса Д. Котел на колесах или подставках, характеристические величины локомобиля марки Д-III

Давление в котле — 10 кг/см² ман.

Марка	Мощность п. л. с.			Число оборотов в минуту	Маховик			Цилиндр		Поверхность нагрева котла м²	Площадь колосниковой решетки м²	Приблизит. расход на 1 п. л. с.-час в кг			Приблизительный вес в тоннах				Цена в рублях	
	Нормальная	Наибольшая продолжительная	Наибольшая кратковременная		Диаметр мм	Ширина мм	Число маховиков	Диаметр мм	Ход поршня			Пара	Уголь (7500 кал)	Дров (3500 кал)	Нетто		Брутто		Котла с принадлежностями	Опилотопки
															На колесах	На подставках	На колесах	На подставках		
Д-III . .	46	57	73	150	1 700	280	1	200	380	29,9	0,94	13,9	1,95	4,2	10,5	9,1	10,7	9,3	8 222	647

4. Промышленные непередвижные двойного расширения локомобили с пароперегревателем (330°), с выдвижной системой труб котла, трубчатым подогревателем питательной воды и впрыскивающим холодильником (класс ЛМ).

На рис. 145 представлен внешний вид такого локомобиля и на рис. 146 изображен локомобиль класса ЛМ в продольном и горизонтальном разрезах с видом сбоку. В таблице 64 даны характеристические величины для локомобилей типа ЛМ — четырех марок, которые строятся Людиновским заводом в нынешнее время.

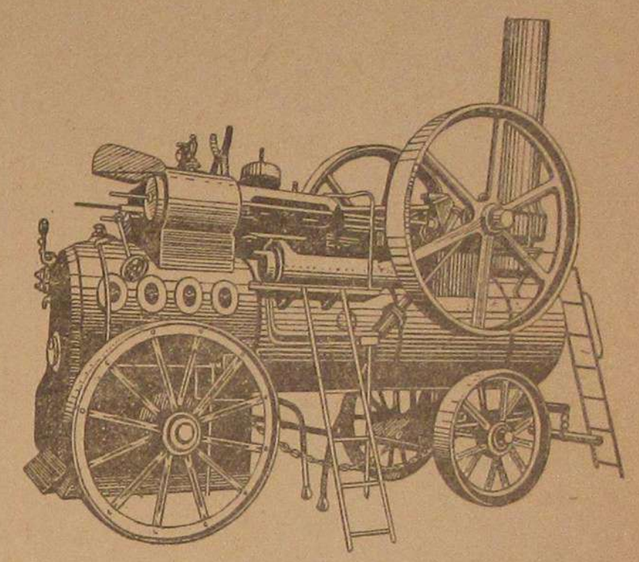


Рис. 144. Локомобиль Людиновского завода кл. Д.

5. Непередвижные одноцилиндровые локомобили с выдвижной системой трубок с перегретым паром — 350°, без холодильника, с противодавлением, класс Т. Характеристические величины этих локомобилей даны в таблице 64.

Гарантийный расход на 1 пол. л. с.-час: угля (7500 кал.) — 0,9—0,88 кг, пара — 7,2—7,0 кг.

6. Непередвижные локомобили с выдвижной системой трубок двойного расширения с перегретым паром — 350° и холодильником. Класс Э.

Таблица 62

Давление в котле — 12 кг/см² ман.

Марка	Мощность в л. с.			Число оборотов в минуту
	нормальная	наибольшая продолжительная	наибольшая кратковременная	
С-а	28	35	42	300
С-б	40	50	60	280
С-в	56	70	84	280
С-г	80	100	120	260

Характеристические величины локомобилей этого класса даны в таблице 65.

Гарантийный расход 1 пол. л. с.-час: угля (7500 кал.) — 0,6—0,85 кг, пара — 4,8—4,6 кг.

Количество и размеры дымогарных и анкерных трубок в котлах людиновских локомобилей АЛ и ЛМ показаны в таблице 66.

Таблица 63

Непередвижные двойного расширения локомобили с пароперегревателем класса ЛМ характеристические величины локомобилей марок ЛМ-V, ЛМ-VII, ЛМ-VIII, ЛМ-X

Давление в котле 12 кг/см² ман.

Марка	Мощность п. л. с.			Число оборотов в минуту	Маховик		Цилиндры			Поверхность нагрева м²		Площадь колосниковой решетки обыкновен. топки для угля м²	Площадь колосниковой решетки добавочн. топки м²	Площадь колосниковой решетки стушенчатой топки м²	Приблиз. расход на 1 л. с.-час в кг			Прибл. вес в тоннах		Котла с принадлежностями	Цена в рублях	
	Нормальная	Наибольшая продолжительная	Наибольшая кратковременная		Диаметр мм	Ширина мм	Число маховиков	Диаметр цилиндра высокого давления	Диаметр цилиндра низкого давления	Ход поршня мм	Котла	Перегревателя			Пара	Угля (7500 ккал)	Дров (3500 ккал)	Нетто	Брутто		Добавочной топки	Опиротопки
ЛМ-V	100	120	135	200	2 000	300	2	210	370	400	26	27	1,0	0,45	2,64	6,0	0,84	1,8	20,0	21,8	23 800	682	1 353
ЛМ-VII	145	170	190	190	2 200	300	2	250	450	440	39	37	1,2	0,56	2,80	5,8	0,80	1,7	24,0	26,3	27 900	706	1 558
ЛМ-VIII	195	225	250	190	2 200	320	2	270	490	460	48	46	1,3	0,57	2,80	5,8	0,80	1,7	33,0	35,0	34 600	706	1 558
ЛМ-X	295	330	380	170	2 300	420	2	320	580	520	67	47	2,0	0,63	5,50	6,3	0,88	1,9	45,0	48,5	50 000	706	1 558

Таблица 64

Давление в котле — 15 кг/см² ман.

Марка	Мощность пол. л. с.			Число оборотов в минуту
	нормальная	наибольшая продолжительная	наибольшая кратковременная	
Т-б	100	125	150	300
Т-в	140	175	210	300
Т-г	200	250	300	250
Т-д	280	350	420	250
Т-е	400	500	600	250

Таблица 65

Давление в котле — 15 кг/см² ман.

Марка	Мощность пол. л. с.			Число оборотов в минуту
	нормальная	наибольшая продолжительная	наибольшая кратковременная	
Э-а	104	125	150	215
Э-б	146	175	210	215
Э-в	208	250	300	187
Э-г	292	350	420	187
Э-д	416	500	600	187
Э-е	584	700	840	166

Таблица 66

Марка локомобилей	Дымогарные		Анкерные	
	Количество	Размеры в мм	Количество	Размеры в мм
А-V	30	54/60×2240	—	—
Д-III	40	54/60×2515	—	—
ЛМ-V	44	54/60×2040	16	50/60×2020
ЛМ-VII	64	54/60×2240	19	50/60×2220
ЛМ-VIII	71	54/60×2390	24	50/60×2365
ЛМ-X	107	54/60×2705	22	50/60×2675

На ряду с локомобилями Людиновского завода в промышленных предприятиях деревообрабатывающих производств встречаются локомобили завода Вольфа.

Эти локомобили следующих типов: а) Непередвижные:

1) локомобили с выдвижной системой труб с перегретым паром без холодильника, для наибольшей длительной мощности от 40—120 пол. л. с. Расход пара от 7 до 7,5 кг/пол. л. с.-час, число оборотов от 310 до 300. Давление в котле 12 кг/см² ман. (класс NEH).

2) Такие же локомобили с наибольшей продолжительной мощностью от 160—470 пол. л. с. Расход пара от 7,0 до 6,8 кг/пол. л. с.-час. Давление в котле 15 кг/см² ман., число оборотов — 300 — 235 (класс NH).

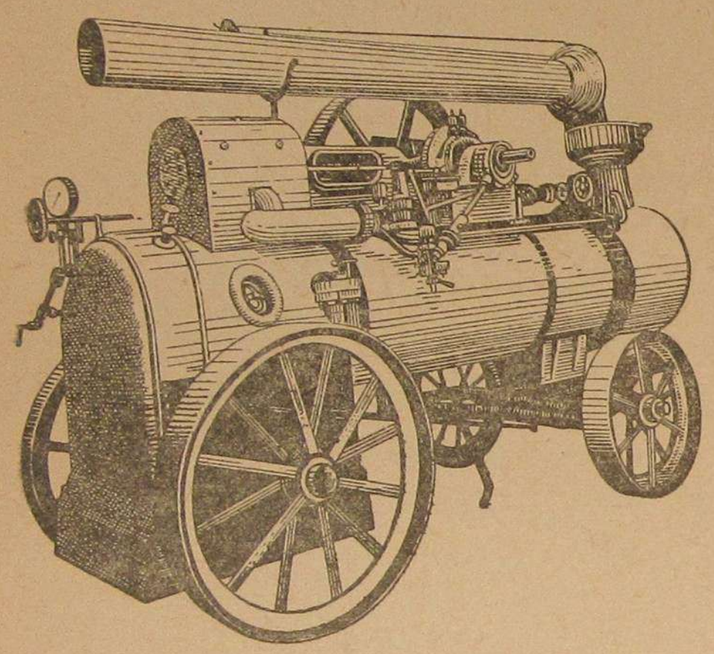


Рис. 145. Локомобиль Людиновского завода кл. С.

3) Локомобили с выдвижной системой труб, двойного расширения, двухкривошипные; длительная наибольшая мощность от 205—780 пол. л. с. Расход пара 4,7—4 кг пол. л. с.-час.; число оборотов 210—165 (класс VKb). Давление в котле 12 — 15 кг/см² ман.

4) Локомобили с выдвижной системой трубок, однокривошипные, двойного расширения с наибольшей длительной мощностью от 57 до 135 пол. л. с. Расход пара от 5,3—4,8 кг/пол. л. с.-час; число оборотов 280—300 (класс NTK). Давление в котле от 12 до 15 кг/см² ман.

5) Такие же локомобили с наибольшей продолжительной мощностью от 155 до 360 пол. л. с. Расход пара — 4,8—4,6 кг/пол. л. с.-час; число оборотов 260—210 (класс NK).

Локомобили классов NTK и NK строятся также для перегретого пара с охлаждением.

б) Передвижные локомобили:

1) Локомобили на колесах с круглой топкой и выдвижной системой труб с перегретым паром; наибольшая продолжительная мощность 33—140 пол. л. с. Расход пара от 7 до 7,7 кг/пол. л. с.-час; число оборотов от 225 до 300 (класс AHFb). Давление в котле от 10 до 12 кг/см² ман.

2) Такие же локомобили на подставках; наибольшая продолжительность мощности от 18 до 40 пол. л. с. Число оборотов 300 (класс AHb). Давление в котле 10 кг/см² ман.

3) Локомобили на колесах с овальной топкой; с перегретым паром: наибольшая продолжительная мощность 22—80 пол. л. с.

Расход пара от 7 до 7,4 кг/пол. л. с.-час; число оборотов—300 (класс LFH). Давление в котле 10 кг/см² ман.

4) Такие же локомобили на подставках (класс LH).

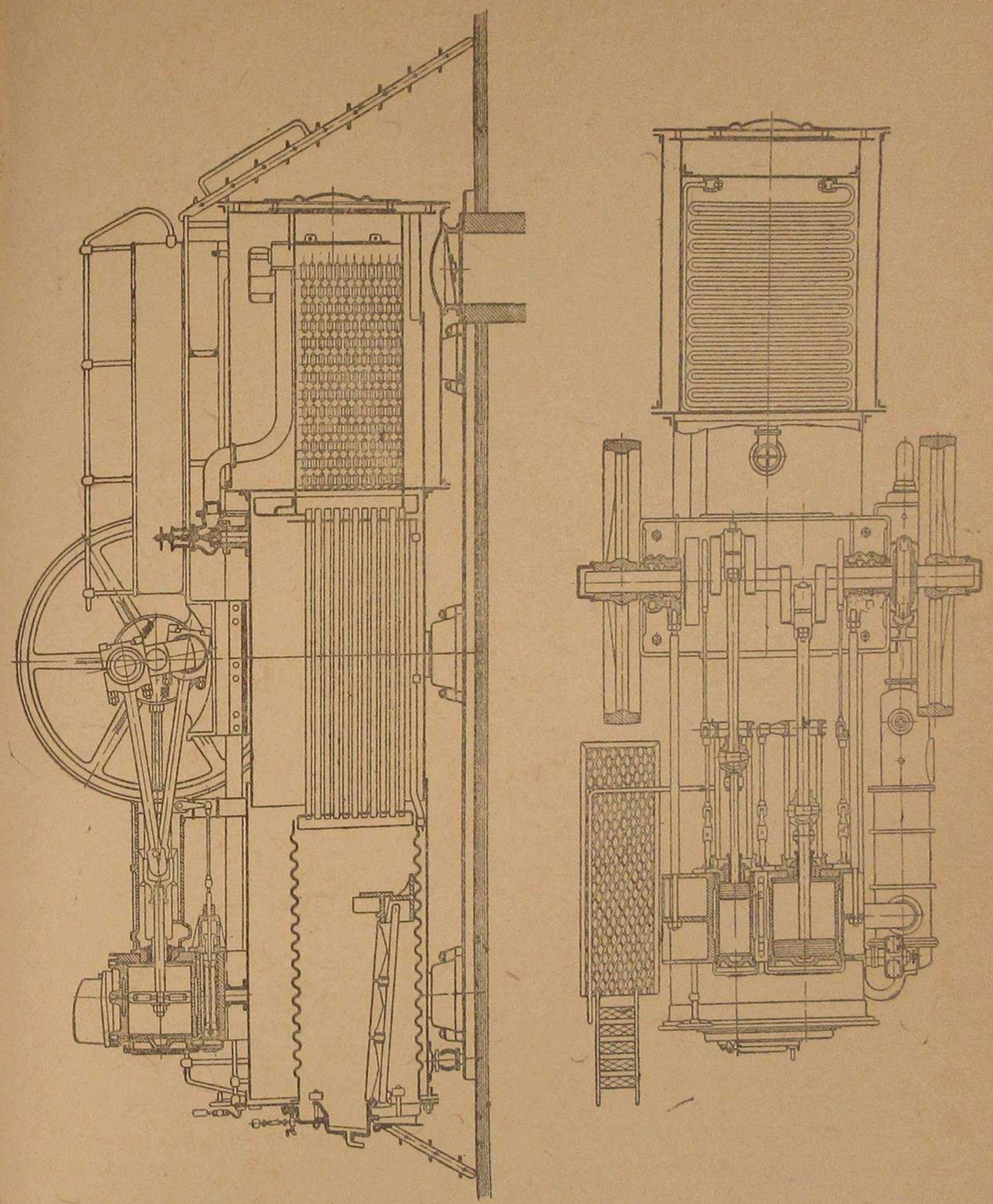


Рис. 146. Локомобиль Людиновского завода, кл. Л. М.

5) Локомобили на колесах, насыщающего пара, с овальной топкой; мощность 35 пол. л. с. Число оборотов 200 (класс LFC-4). Давление в котле 10 кг/см² ман.

6) Локомобили на колесах с прямоугольной топкой котла для насыщающего пара (класс BSF); такие же локомобили на подставках (класс BS). Локомобили на колесах с такой же топкой для

перегретого пара (класс BHF) и такие же локомобили на подставках (класс BH). Длительная наибольшая мощность от 17 до 80 пол. л. с. Расход пара у локомобилей — BSF — от 12,4 до 11,9 кг/пол. л. с.-час и у класса BHF от 8,9 до 8,7 кг/пол. л. с.-час; число оборотов — 250. Давление в котле — 10 кг/см² ман.

Перегретый пар в локомобилях Вольфа имеет температуру: класс BHF — 310°; NEH — 350°; NTK — 350°; VKb — 350°. Локомобили мощностью до 1000 л. с. весьма пригодны для паросиловых станций, вследствие экономического использования площади и кубатуры, и, в особенности, вследствие экономичности по капитальным затратам и незначительности затрат по обслуживанию, при высоком использовании тепла топлива.

При установлении мощности локомобилей надо различать: нормальную мощность, наибольшую продолжительную и наибольшую кратковременную мощность.

„Нормальной“ [1] мощностью называют ту, при которой локомобиль работает наиболее экономично, т. е. расход горючего наименьший. Наибольшая продолжительная мощность характеризует способность машины локомобиля к перегрузке, при которой работа совершается без увеличения расходов тепла, без чрезмерного напряжения кривошипно-шатунного механизма, цилиндра и повышения паропроизводительности котла, при чем машина работает длительное время с такой повышенной мощностью при правильном уходе.

Кратковременная повышенная мощность определяется особым возрастанием нагрузки и является так называемой „пик-нагрузкой“, допустимой лишь в течение краткого периода времени, не свыше 45 минут. Продолжительная перегрузка допускается выше нормальной от 25 до 35%, а кратковременная — допускается на 45—60% выше обычной.

Генераторы для работы с приводом от локомобиля выбираются по продолжительной наибольшей мощности.

Локомобили, как видно из приведенных выше перечней Людиновского завода работают с перегревом пара и при них устраивается подогрев питательной воды, применяется также и устройство холодильников пара как поверхностных, так и смесительных.

Вследствие объединенного устройства котла и паровой машины паропроводы для подвода пара доведены до наименьшей длины, чем достигается наивыгоднейшее использование тепла и расход пара и топлива весьма малых величин от 5,3 до 4,4 кг/пол. л. с.-час.

Особые преимущества представляет установка паровой машины локомобиля, которая при полной независимости составляет единый агрегат с котлом, пароперегревателем и топкой. Подшипники должны быть так связаны с котлом и машиной, чтобы расширение котла не нарушало взаимного расположения цилиндров и вала.

[1] Название „нормальной“ мощности представляет чисто технико-бытовое наименование, и в условиях работы наших предприятий при выборе двигателя необходимо ориентироваться на длительную максимальную мощность, как то часто требуется условиями технического процесса предприятия.

Людиновский завод делает жесткое соединение цилиндров с подставкой для вала, которое выполняется в виде одной отливки с параллелями. В своих 500 сильных локомобилях Людиновский завод ставит параллели, отлитые за-одно, которые свертываются болтами с подставкой для вала и цилиндрами.

Для установки цилиндра применяется особая подставка, по которой он может перемещаться скольжением. Подставка для вала приклепывается к вертикальным листовым стойкам, привернутым к опорным лапам котла, воспринимающим вертикальные усилия при работе машины, а также вес вала и маховика. Горизонтальные усилия погашаются опорными блоками, которые приклепаны к котлу. У блоков имеются выступы, к которым болтами крепится вальная подставка, или они входят в соответствующие пазы последней и там расклиниваются. В локомобилях меньших мощностей подставка для вала крепится к железным листам, приклепанным к котлу (рис. 147).

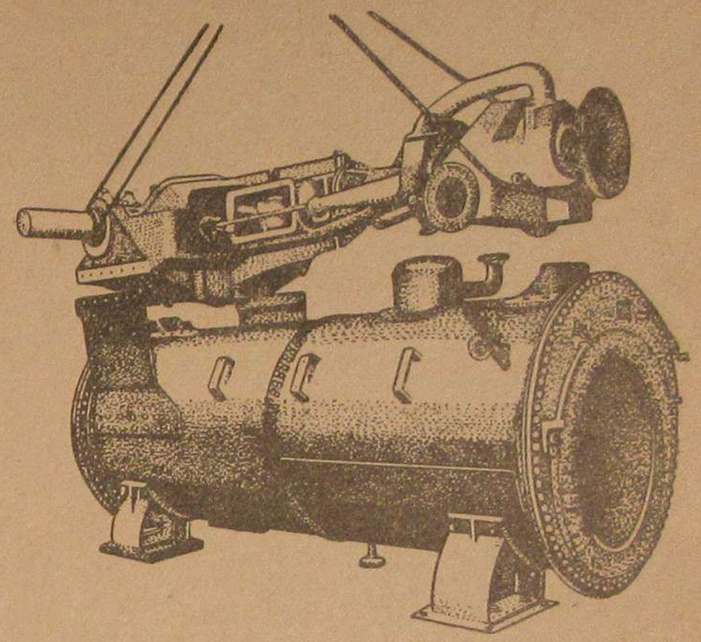


Рис. 147. Крепление подставки вала к котлу.

Локомобили всех размеров имеют трубчатые котлы с выдвижной системой трубок вместе с топкой, которая у больших котлов делается из волнистого железа. Такое устройство обеспечивает возможность легкой очистки от накипи всех частей, смываемых водой. Локомобильные котлы имеют большое паровое пространство.

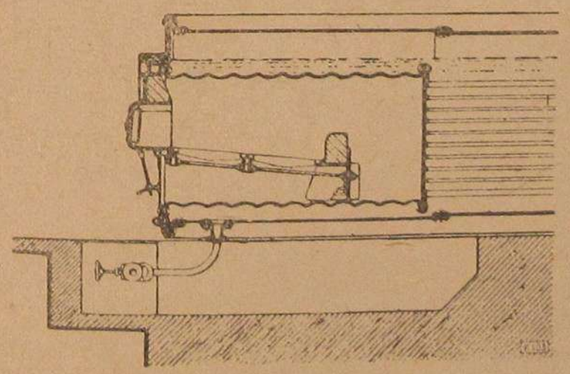


Рис. 148. Плоская колосниковая решетка внутри жаровой трубы для высокосортного топлива.

Локомобильный котел может отапливаться различными видами топлива с разным полезным действием. Устройство топки должно соответствовать свойствам топлива и конструкция ее должна быть такая, чтобы можно было заменить топку, в случае перехода на другое топливо, и иметь допуск к трубкам посредством выдвигания трубчатой системы. Сжигание низкосортных топлив, особенно сильно спекающегося или влажного мелкого топлива, представляет затруд-

нения, так как эти виды топлива требуют усиления тяги, что вызывает загрязнение перегревателя, вследствие уноса золы и сажи. Для сжигания такого топлива необходимо увеличение площади колосниковой решетки, для чего устраиваются специальные топки.

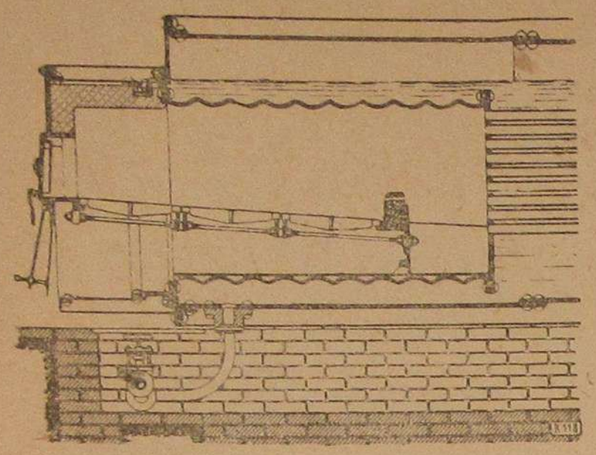


Рис. 149. Топки с предтопкой и плоской колосниковой решеткой для низкосортного топлива.

Для сжигания каменного угля применяется внутренняя топка с плоской колосниковой решеткой с выдвижной системой трубок (рис. 148). Для сухих дров и каменного угля худшего качества устраивают особую предтопку, выложенную огнеупорным кирпичом. Таким устройством увеличивается площадь колосниковой решетки, и при этом температура в топке возрастает, так как уменьшается прямая отдача тепла лучеиспусканием слоя топлива (рис. 149).

Таблица 67

Марка локомобиля	Площадь колосниковой решетки	
	локомобиля $м^2$	предтопки $м^2$
ЛМ-V	1,0	0,45
ЛМ-VII	1,2	0,56
ЛМ-VIII	1,3	0,57
ЛМ-X	2,0	0,63

В таблице 67 к рис. 149 даны размеры колосниковой решетки предтопки для дров и торфа к локомобилям типа ЛМ.

Для сжигания влажных низкосортных топлив приходится устраивать выносные топки, так как в обыкновенной внутренней топке локомобиля горение таких топлив трудно осуществить из-за непосредственного воздействия окружающей поверхности нагрева, понижающей температуру горения. Такая топка представлена на рис. 150. Для удобства очистки трубок котла и возможности перехода на внутреннюю топку выносная топка устраивается откатная на колесах. Для мелких топлив применяются топки с ступенчатыми колосниками.

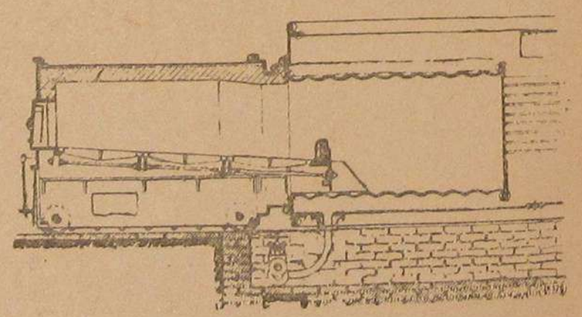


Рис. 150. Откатная топка с плоской колосниковой решеткой для низкосортного топлива.

Таблица 68

| Марки | Тип топок А и Д | | |

Таблица 69

Тип топки ЛМ

Размеры в мм	Тип и марка локомобиля				Размеры в мм	Тип и марка локомобиля				Число рядов
	ЛМ-V	ЛМ-VII	ЛМ-VIII	ЛМ-X		ЛМ-V	ЛМ-VII	ЛМ-VIII	ЛМ-X	
A . . .	4470	4710	4710	5920	N	560	3	583	535	Для ЛМ V-2
B . . .	666	663	600	845	D	710	710	710	800	
C . . .	2170	2370	2370	2580	P	560	560	560	700	ЛМ VII-2
D . . .	1300	1300	1300	1600	Q	1365	1620	1553	1960	
E . . .	260	260	260	260	R	546	546	680	910	ЛМ VIII-2
F . . .	2100	2100	2100	1680		950	1000	980	760	
G . . .	130	130	130	130 / 260	T	1870	2130	2130	2250	ЛМ X-3
H . . .	2698	3090	3090	3875	W	400	400	400	350	
I . . .	615	463	530	770	V	1650	1850	1850	2060	
K . . .	870	870	870	900	X	840	940	820	975	
L . . .	1730	1990	1990	1940	Y	2310	2120	2040	1940	
M . . .	540	540	540	680						

На рис. 151 показана топка откатная; на рис. 152 — подвальная топка, у которой откатная средняя часть соединяет жаровую

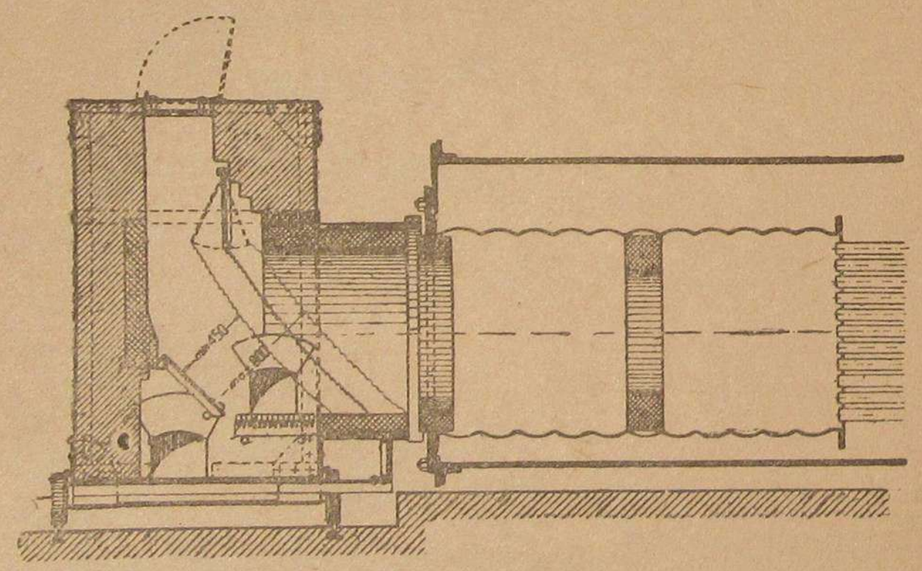


Рис. 154. Шахтная топка для торфа и дров для локомобиля с выдвижной системой трубок.

трубу локомобиля с дожигательной камерой топки. В этих топках можно сжигать мелкие бурые угли с большим содержанием золы и опилки в смеси с кусковыми древесными отходами. В ступенчатых топках топливо, загруженное в верхнюю переднюю часть колосниковой решетки, под действием тяжести опускается вниз, образуя между ступеньками отвалы, которые на всей решетке создают наклонную плоскость скольжения топлива.

Таблица 70

Напряженность колосниковой решетки

Топливо	Мощность л. с.	Напряженность поверхности колосниковой решетки кг/м² час
Уголь (6000—7000 кал)	Нормальная мощность . . .	60— 80
Уголь (6000—7000 кал)	Наибольшая продолжительная мощность	80—110
Дрова (влажность 20—30%)	Нормальная мощность . . .	150—200

В верхней части топки следует ставить плиту, на которой идет подсушка топлива, а далее под сводом идет возгонка и затем горение. На рис. 153 представлена Людиновская опилотопка для локомобилей с котлом паровозного типа.

Размеры этих топок, имеющих широкое применение в деревообрабатывающей промышленности, даны в таблицах 68 и 69.

Для крупного кускового топлива, как дрова (метровые) или прессованный торф, к локомобильному котлу пристраивается шахтная топка, показанная на рис. 154. Топка откатная и трубочная система выемная. Зеркало горения и толщина слоя топлива регулируется заслонкой, как показано на рисунке.

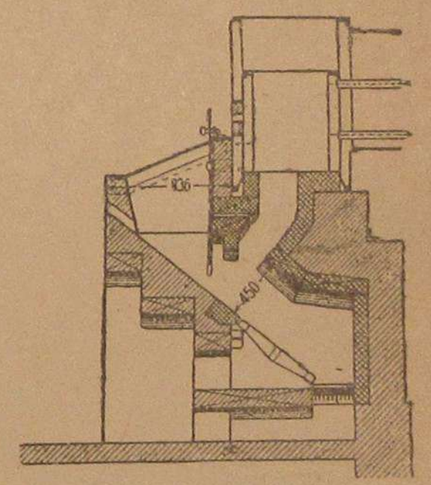


Рис. 155. Топка для котла паровозного типа для отдубины.

При сжигании отдубины или опилок с большой влажностью до 70% применяется топка с возвратным движением газов. На рис. 155 показана такая топка к котлу паровозного типа. Процесс горения идет на наклонных колосниках и на горизонтальной дожигательной решетке, газы поднимаются вверх навстречу движущемуся топливу, подвергая его сушке; возгонка идет за счет теплоты, которая излучается сводом над решеткой. В таблице 70 сведены значения напряженности поверхности колосниковой решетки в зависимости от мощности развиваемой локомобилем.

Напряженность поверхности нагрева локомобильных котлов с выдвижной трубчатой системой характеризуется следующими величинами (таблица 71).

Непередвижные локомобили снабжаются пароперегревателями, и также значительная часть передвижных локомобилей имеет это приспособление для повышения полезности использования пара. Пароперегреватель располагается за дымогарными трубками в особой коробке, где температура газов понижается до 450°, установка

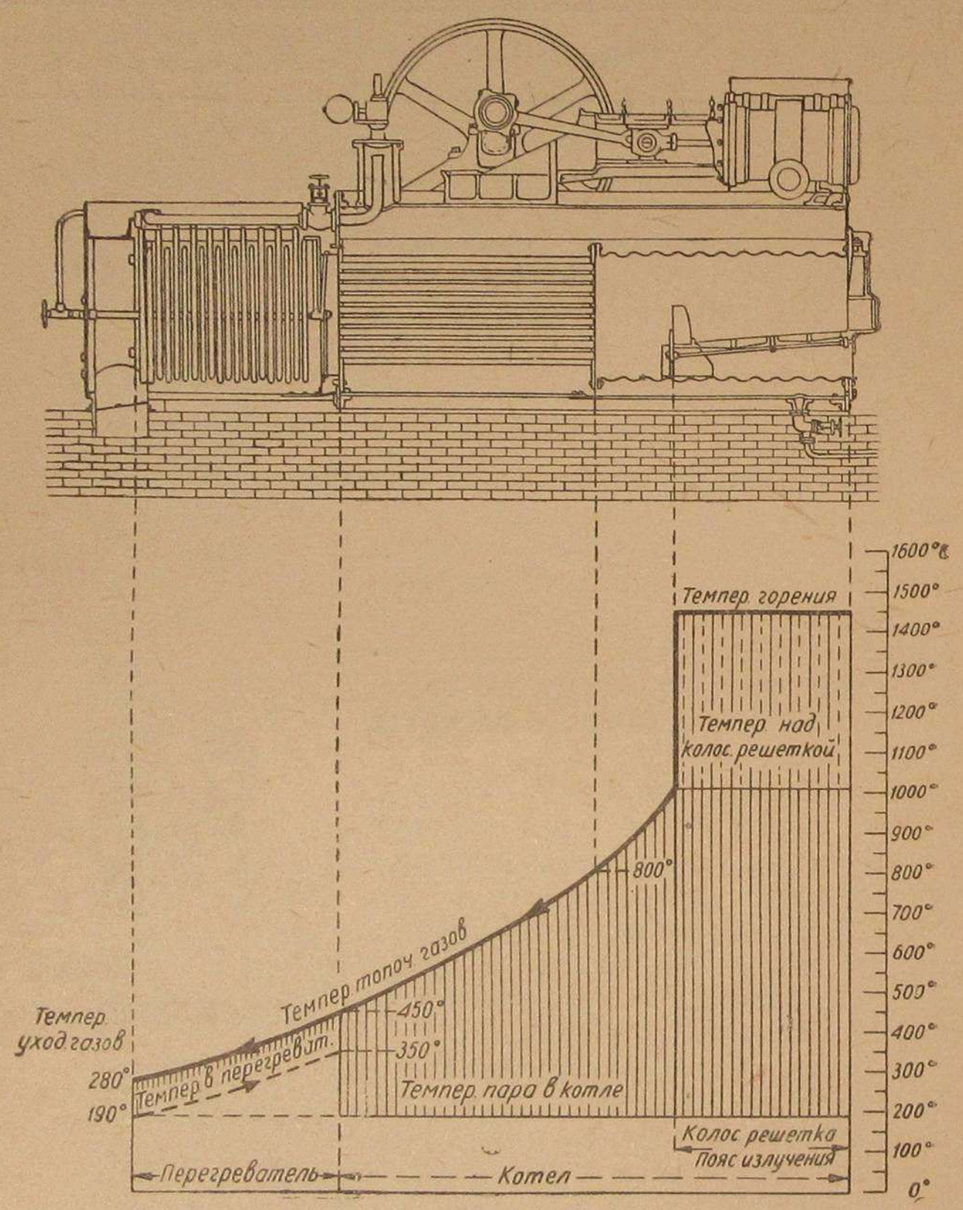


Рис. 156. Продольный разрез через локомобиль перегретого пара и диаграмма изменения температур в котле и перегревателе.

пароперегревателя снижает температуру газов до 280°, а температура пара может быть доведена до 350°. На рис. 156 показано изменение температур в системе локомобиля: топка—газовые трубки и перегреватель. Обращает внимание значительная отдача тепла излучением, понижающая температуру над колосниковой решеткой с 1450°

(температура горения) до 1000°. В этой части поверхности нагрева над колосниковой решеткой паропроизводительность от 200 до 250 кг/м²-час, в газовых трубках около трубчатой доски 30 кг/м²-час и в них у дымовой камеры около 8 кг/м²-час. Самая действенная часть поверхности нагрева котла, расположенная над колосниковой решеткой, которая передает воде от 45 до 50% всего тепла. Имея в виду это обстоятельство, в новейших типах локомобилей развивают поверхность нагрева в топочной части и пароперегреватель, т. е. его вместилище—дымовую коробку, и сокращают газовые трубки.

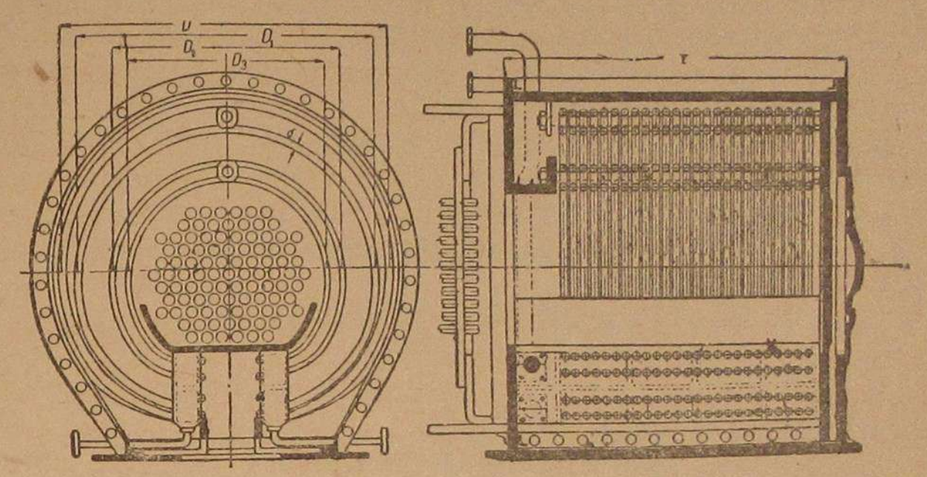


Рис. 157. Пароперегреватель Людиновского завода для локомобилей класса Л. М. подковной формы.

На диаграмме рис. 156 показана температура пара в перегревателе при давлении пара 13 кг/см² абс.

Вследствие устройства пароперегревателя полезность котла локомобиля при высокотеплоценном топливе может быть доведена

Таблица 71

Мощность машины	Напряженность поверхности нагрева кг/м² час.
Нормальная мощность .	18 — 22
Наибольшая продолжительная мощность . . .	22 — 27
Наибольшая кратковременная мощность . . .	28 — 32

до 75%, из остающихся 25% потери тепла—в отходящих газах уносится 15% тепла и 10% затрачивается на проводимость, излучение и неполноту горения. Но при низкосортном топливе, пред-

варительно высушенном и малозольном, как, например, древесина, полезность котла может быть доведена также до 75% при правильно выбранной и построенной топке и умеренном избытке воздуха.

Людиновский завод строит для локомобилей типа ЛМ пароперегреватели двух видов:

1) подковообразной формы, трубки, завальцованные в паросборники—рис. 157 или

2) состоящие из отдельных секций изогнутых трубок, присоединенных к двум паросборникам.

Однако, такая конструкция пароперегревателя крайне неудобна как для чистки поверхности трубок, так и потому, что загораживает выходные отверстия газовых трубок в трубчатой доске.

Для больших локомобилей с однокривошипной машиной двойного расширения устраивается и двойной перегрев пара.

Двойной перегрев пара дает возможность уменьшить расход пара в паровой машине до 4,5 кг/л. с.-час. Однако, в отработавшем паре содержится масло, которое оседает на стенках пароперегревателя и образует корку нагара, стесняющую проход пара и уменьшающую теплопередачу.

В таблицах 72 и 73 даны размеры пароперегревателей.

Таблица 72

Размеры пароперегревателей из плоских трубок для людиновских локомобилей типа ЛМ

Марка локомобиля	ЛМ-V	ЛМ-VII	ЛМ-VIII	ЛМ-X
Длина одной секции мм	925	1015	1175	1008
Число витков	12	14	14	10,5
Число секций	10	11	12	—
Диаметр трубок мм	32/36	32/36	32/36	32/36

Как было сказано выше, уходящие газы из локомобиля имеют высокую температуру—280°. Использование тепла этих газов для подогрева питательной воды повышает полезность котла при нормальных условиях до 82,5%; потеря в уходящих газах за подогревателем 7,5%.

Простейший способ подогрева питательной воды осуществляется смешиванием отработавшего пара с питательной водой. Пар подводится по особому ответвлению от выхлопной трубы в бак питательной воды. Но этот способ, хотя применяется Людиновским заводом в установках малой мощности, но тем не менее он приносит вред локомобилю. Смазочное масло, подаваемое в пар для смазки внутренней поверхности цилиндра, попадает в питательную воду, а оттуда—в котел. Так как в смазочных маслах всегда содержатся следы кислот, применяющихся при получении их, то эти

кислоты попадая с питательной водой в котел, разъедают постепенно поверхность трубок. При длительном пользовании таким способом подогрева питательной воды газовые трубки котла будут испорчены и их придется менять. Отработавший пар для подогрева питательной воды направляется в бак по змеевику, из которого сгустившийся пар нужно выпускать, не смешивая его с питательной водой.

Таблица 73

Размеры пароперегревателей подковной формы для людиновских локомобилей типа ЛМ

Обозначения размеров	ЛМ-V	ЛМ-VII	ЛМ-VIII	ЛМ-X
L	1081	1276	1486	1864
d	32/26	32/26	32/26	32/26
D	1370	1515	1590	1700
D_1	1245	1393	1470	1600
D_2	1060	1253	1330	1420
D_3	945	1113	1190	1320
Рядов секций	16	20	24	28

При смешивании пара с питательной водой подогрев доводится до 40—50°, так как при более высоком нагреве засасывание становится затруднительным. Такой сравнительно небольшой подогрев питательной воды в малых установках не представляет особенно заметной выгоды, а потому от него лучше отказаться, если не представляется возможности устроить подогрев паром без смешивания с питательной водой.

Подогреватели питательной воды устанавливаются в борове или в особых кирпичных камерах, которые могут быть включены в дымоходы для пропуска газов через систему железных или чугунных труб, поверхность которых представляет поверхность нагрева подогревателя воды. При установке водоподогревателя в борове необходимо устроить отводный дымоход для выключения водоподогревателя на случай ремонта и чистки его поверхности, а также для устранения возможности вскипания воды в нем при растопке котла. Воду в подогревателе нагревают до температуры на 30—50° ниже температуры воды в котле для предотвращения парообразования в водоподогревателе.

Очень часто в локомобильных установках пользуются для подогрева питательной воды отработавшим паром. Такое устройство соединяется с питательным насосом, который подает воду в котел, и с холодильником, в больших локомобильных установках.

Так как подогрев питательной воды отработавшим паром связан с питательными приборами, рассмотрим приборы питания локомобильного котла.

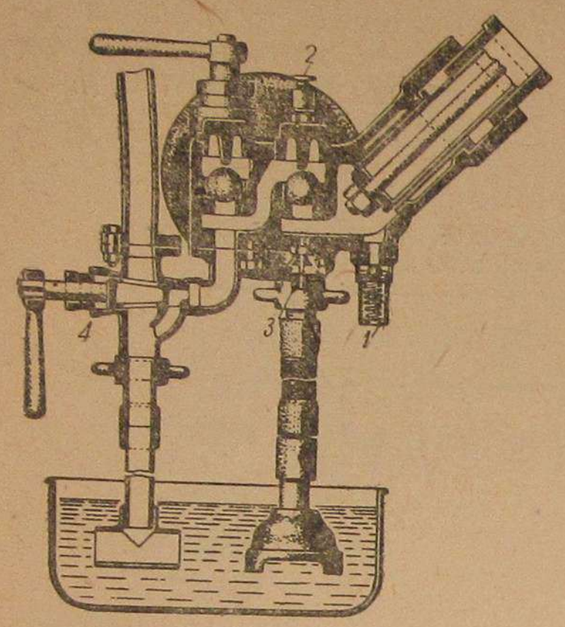


Рис. 158. Питательный насос передвижного локомобиля Людиновского завода. *1*—предохранительный клапан, *2*—воздухоотводный клапан, *3*—спускной кран, *4*—смесительный кран.

На основании „правил ухода за котлом“ каждый котел должен иметь два независимые прибора для питания, при чем каждый прибор должен иметь двойную производительность по сравнению с нормальной нагрузкой котла. Локомобили имеют поршневой насос с эксцентриковым приводом от вала и второй—обычно инжектор. На рис. 158 показан питательный насос к передвижному локомобилю Людиновского завода. Насос представляет одну отливку с питательной коробкой; он имеет предохранительный клапан *1*, воздухоотводный клапан *2* и два крана: спускной *3* и смесительный *4*. Поворотом крана *4* можно выключить или включить подогрев воды отработавшим паром. Для правильного устройства подогрева воды к трубе, идущей от крана *4*, надо присоединить змеевик, погружая его в питательный бак.

На рис. 159 представлено питательное устройство с поверхностным водоподогревателем, которое применяет Людиновский завод в локомобилях СН-4. Необходимо заметить, что под насосом следует сделать ловушку для масла, которым смазывается шарнирное сочленение поршневой скалки с эксцентриковой тягой, иначе масло будет попадать в бак с питательной водой.

На рис. 160 показано питательное устройство с подогревателем отработавшим паром для неподвижных одноцилиндровых локомобилей Вольфа больших мощностей.

Питательная вода после подогрева поступает по трубе *9* через питательный клапан и питатель в котел. В случае сильного нагрева питательной воды, что может

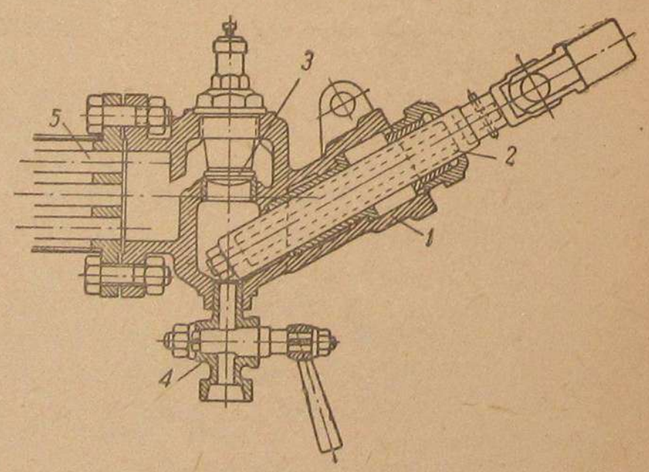


Рис. 159. Питательный насос локомобиля Людиновского завода серии СН-4 с трубчатым перегревателем. *1*—корпус насоса, *2*—поршень, *3*—нагнетательный клапан, *4*—перепускной кран, *5*—поверхностный водоподогреватель.

вызвать нарушение засасывания воды насосом, действие насоса может быть прекращено закрытием крана на всасывающей трубе *10*.

Отдельные дымовые трубы на кирпичном цоколе ставят только при непередвижных локомобилях. У локомобилей средних и малых

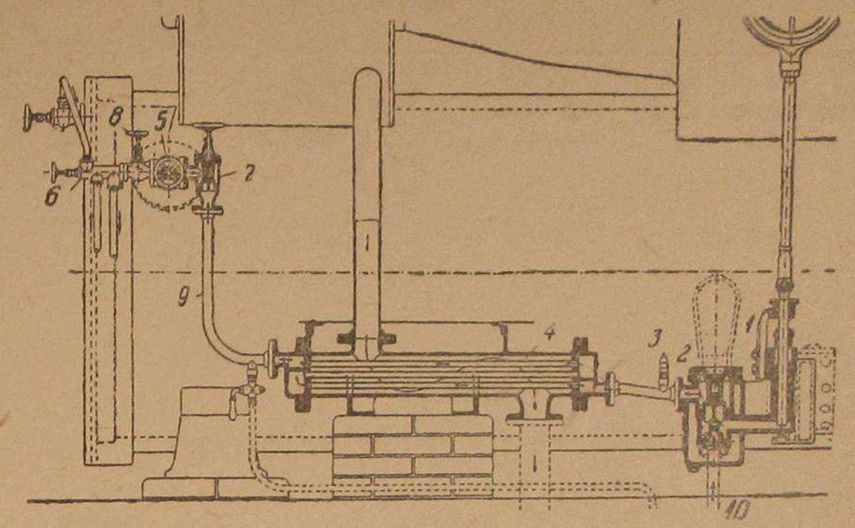


Рис. 160. Инжектор, питательн. насос и подогреватель питательной воды отработавшим паром при непередвижном одноцилиндровом локомобиле. *1*—питательный насос, *2*—клапанная коробка, *3*—предохранительный клапан, *4*—поверхн. водонагреватель, *5*—питатель, *6*—инжектор, *7*—питательный клапан, *8*—обратный клапан, *9*—труба, *10*—всасывающая труба.

мощностей труба ставится на дымовой коробке, а у передвижных—труба откидная. Для усиления тяги в локомобилях пароотводная труба вводится в дымовую коробку и на конце ее ставится конус так, чтобы он приходился по оси дымовой трубы для создания разрежения (рис. 161).

При работе на опилках и низкосортном топливе вообще железная труба обычных размеров недостаточна

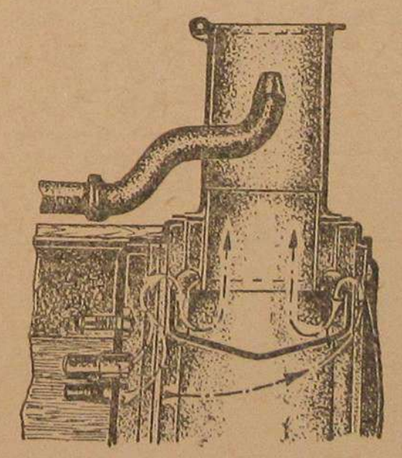


Рис. 161. Конус в дымовой трубе локомобиля.

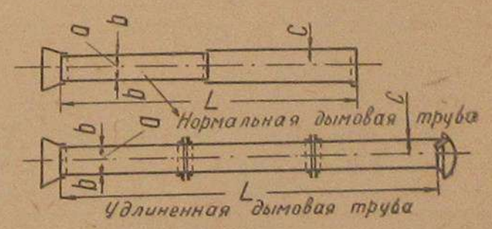


Рис. 162. Дымовые трубы при локомобиле нормальных и удлиненных размеров.

для создания тяги, а потому на локомобиль ставят трубу более высокую. Людиновский завод дает трубы следующих размеров (таблица 74 к рис. 162).

Таблица 74

Трубы	Марка локомобиля мм	Внутренний диаметр мм	Высота мм	Толщина железа мм	
				в	с
Нормальные . . .	А-V	270	3 080	2	2
	Д-III	350	3 700	2	2
Удлиненные . . .	А-V	270	19 000	3	3
	Д-III	350	20 000	3	3

Таблица 75

Размеры дымовой трубы, борова и цоколя для локомобилей типа ЛМ — Людиновского завода

Размеры в мм

Марка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЛМ-V .	600	260	—	—	130	1200	130	450	130	1400	—	840	—
ЛМ-VI .	650	260	920	920	130	1300	130	550	130	1400	—	1060	—
ЛМ-VII .	650	260	1100	1100	130	1300	130	565	130	1500	1250	1100	—
ЛМ-VIII	800	260	1290	1290	130	1420	130	700	130	1680	1250	1260	2 00

Продолжение таблицы 76

Марка	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ЛМ-V .	450	1300	2000	—	2130	260	1750	2100	1400	840	450	260	260
ЛМ-VI .	550	—	2000	1000	2130	260	1750	2100	1600	1450	560	260	260
ЛМ-VII .	565	1400	2000	1000	2200	260	1450	2200	1850	1550	565	260	260
ЛМ-VIII	720	1540	2400	1000	2400	260	1200	2850	1940	1800	700	260	260

Марка	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ЛМ-V .	600	—	—	—	—	840	840	—	—	—	—	—	—
ЛМ-VI .	650	—	550	260	260	1060	1060	750	750	550	260	260	130
ЛМ-VII .	650	—	565	260	260	1100	1100	780	780	565	260	260	130
ЛМ-VIII	800	6055	700	260	260	1260	1260	950	950	700	260	260	130

Марка	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
ЛМ-V .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	450	30 000
ЛМ-VI .	130	130	130	550	550	800	260	260	800	210	—	510	32 000
ЛМ-VII .	130	130	130	565	565	800	260	260	800	210	—	565	35 000
ЛМ-VIII	130	130	130	700	700	700	260	260	1000	260	140	720	36 534

Устройство отдельной трубы для локомобильной установки с боровом для людиновских локомобилей типа ЛМ показано на

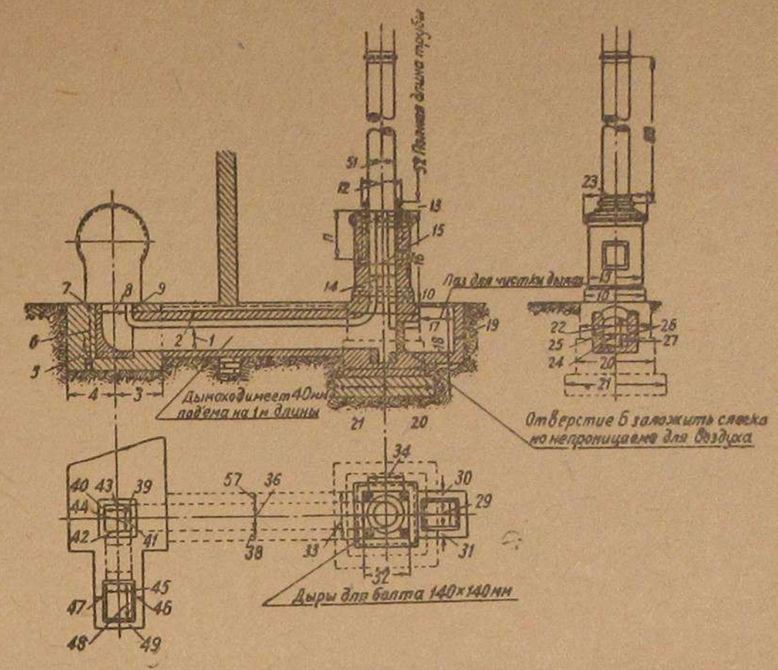


Рис. 163. Установка дымовой трубы и дымохода для Людиновского локомобиля.

рис. 163 и к ней дана таблица размеров 75. Для больших локомобилей при невозможности устроить отдельную трубу достаточной высоты, которая обеспечила бы необходимую тягу, применяют искусственную тягу, создаваемую вентилятором, который засасывает из дымоходов котла газы и отводит их в железную трубу. Такое устройство показано на рис. 164. Иногда применяют не прямую тягу, устанавливая вентилятор у трубы, который подает воздух в особое сопло, установленное в дымовой трубе, чем засасываются дымовые газы и прогоняются через трубу.

При работе опилками или торфом труба локомобиля, при наличии искусственной тяги выбрасывает много искр, что в условиях деревообрабатывающих предприятий угрожает пожаром. Для устранения возможности пожара локомобиль должен быть снабжен искроуловителем. Искроуловители подразделяются на две

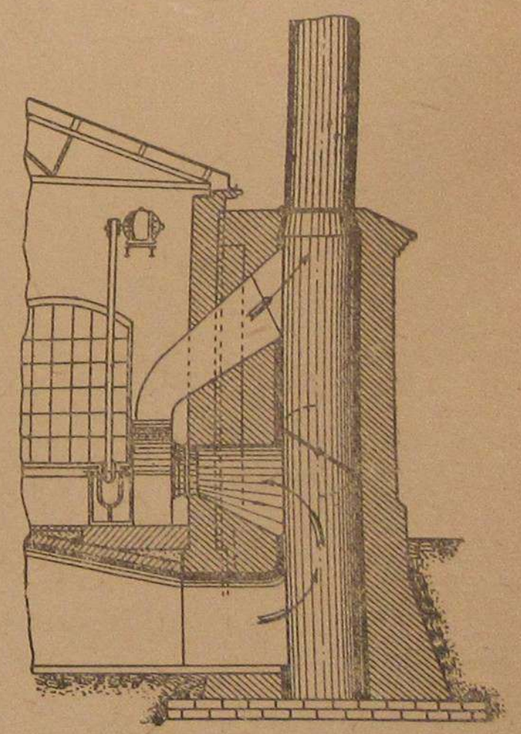


Рис. 164. Прямая искусственная тяга при большом локомобиле.

группы: 1) действующие на основании изменения скорости и направления движения газов, из которых искры, частицы раскаленного топлива, выпадают, как более тяжелые; 2) действующие—как тушители искр—водой или сеткой.

Локомобили Людиновского завода имеют искроловители, устройство которых представлено на рис. 165. Газы, идущие из дымовой коробки, ударяются в тарелку и меняют свое направление. При изменении направления газы соприкасаются с водой в расширенной части основания дымовой трубы, здесь искры выпадают из газов и гасятся водой в искрогасителе; вода заполняет искрогаситель через вентиль *c* по трубке *p*. Для очистки камеры искротушителя имеется люк *M*. На этом чертеже показан конус и сифон, состоящий из изогнутой трубки диаметром 100 мм, соединяющийся краном *к* с котлом. Сифон усиливает тягу в котле при остановке машины.

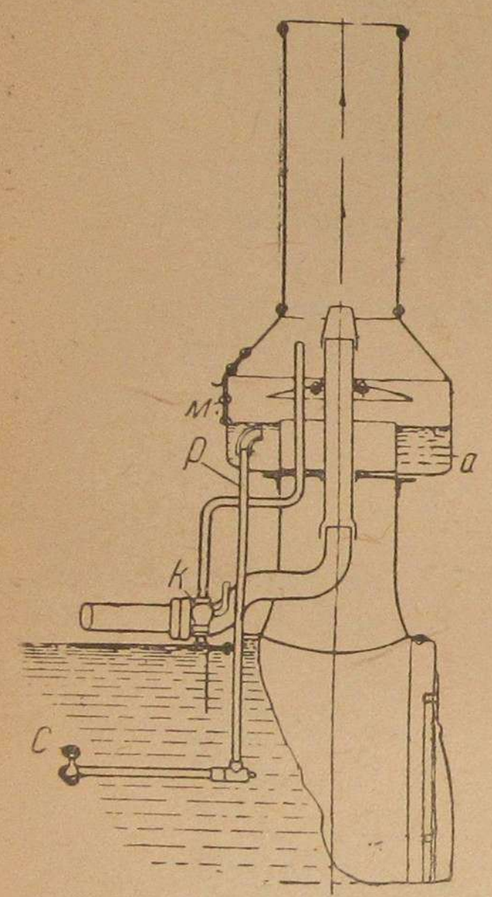


Рис. 165. Искроловитель Людиновского завода, сифон и конус. *a*—коробка, заполненная водой для гашения искр, *c*—вентиль для пропуска воды из котла, *p*—соединительная трубка для подачи воды в коробку, *k*—кран сифона.

2. Паровая машина локомобиля

Для передвижных и непередвижных локомобилей паровые машины строятся следующих типов:

1) Одноцилиндровые машины насыщенного или перегретого пара без холодильника для нормальной мощности от 10 до 50 пол. л. с.—для передвижных локомобилей.

2) Двухцилиндровые машины, сдвоенные, простого расширения, насыщающего или перегретого пара без холодильника для нормальной мощности от 30 до 100 пол. л. с.—для передвижных локомобилей.

3) Машины двойного расширения насыщенного или перегретого пара без холодильника для нормальной мощности от 30 до 120 пол. л. с.—для передвижных локомобилей.

4) Машины двойного расширения перегретого пара с холодильником для мощности до 150 л. с.—для непередвижных локомобилей.

5) Одноцилиндровые машины перегретого пара без холодильника от 100 до 400 л. с.—для непередвижных локомобилей.

6) Машины двойного расширения перегретого пара двухкривошипные или однокривошипные с холодильником для нормальной мощности от 104 до 584 и до 800—1000 л. с.—для непередвижных локомобилей.

Цилиндр паровой машины с золотниковой или клапанной коробкой отливается за-одно. У передвижных локомобилей, работающих насыщающим паром, цилиндр устанавливается в сухопарнике; но в случае применения перегретого пара цилиндр изолируется и отделяется от парового пространства. Золотниковая коробка устраивается сбоку цилиндра, а коробка для клапанного распределения размещается внизу его. Поршень отливается из чугуна и несет от двух до четырех уплотнительных колец. Все сальники у локомобильных машин разных типов имеют металлическое лабиринтное уплотнение. У локомобилей передвижных и малых мощностей машины снабжаются коробчатыми золотниками. Машины больших мощностей у локомобилей с перегретым паром имеют поршневые золотники или клапанное распределение Ленца.

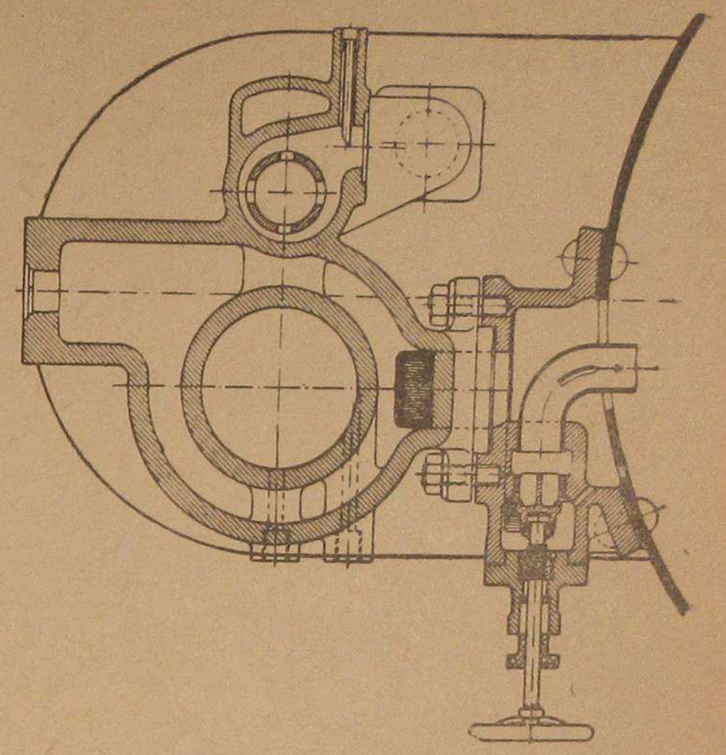


Рис. 166. Поперечный разрез цилиндра передвижного локомобиля с перегретым паром.

На рис. 166 и 167 показан разрез цилиндра с поршневым золотником для локомобиля с перегретым паром. На рис. 168 дан

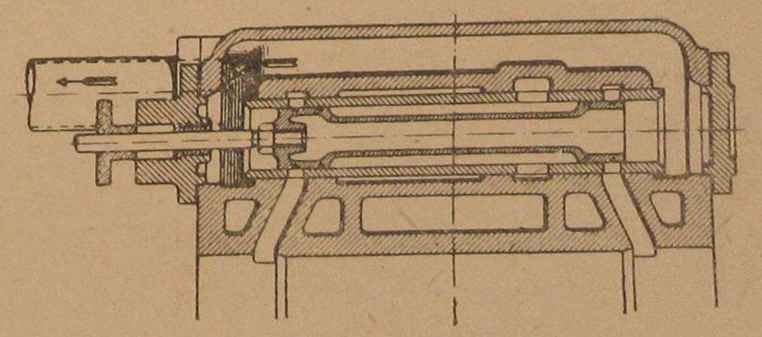


Рис. 167. Поршневой золотник передвижного локомобиля.

разрез цилиндров машины перегретого пара двойного расширения с поршневыми золотниками для людиновского локомобиля.

На рис. 169 показан разрез по оси цилиндров локомобиля с машиной однокривошипной двойного расширения.

При снятии (рис. 169) промежуточного сальника с лабиринтовыми и набивочными кольцами поршень ц. в. д. может быть извлечен через цилиндр низкого давления. При отборе промежуточного пара мощность цилиндра низкого давления уменьшается, но общее

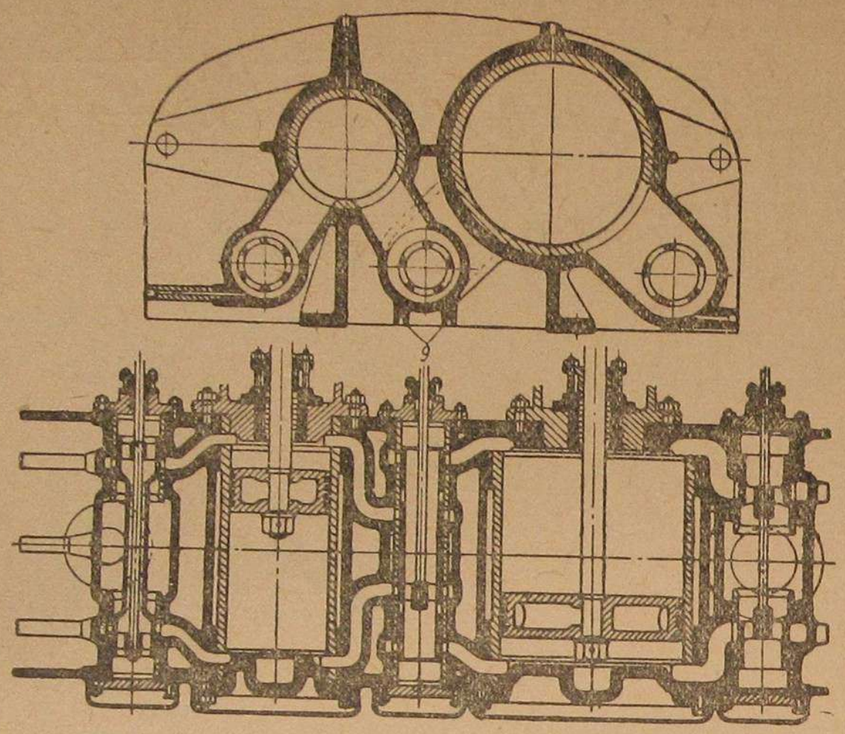


Рис. 168. Поперечный разрез машины двойного расширения локомобиля Людиновского завода.

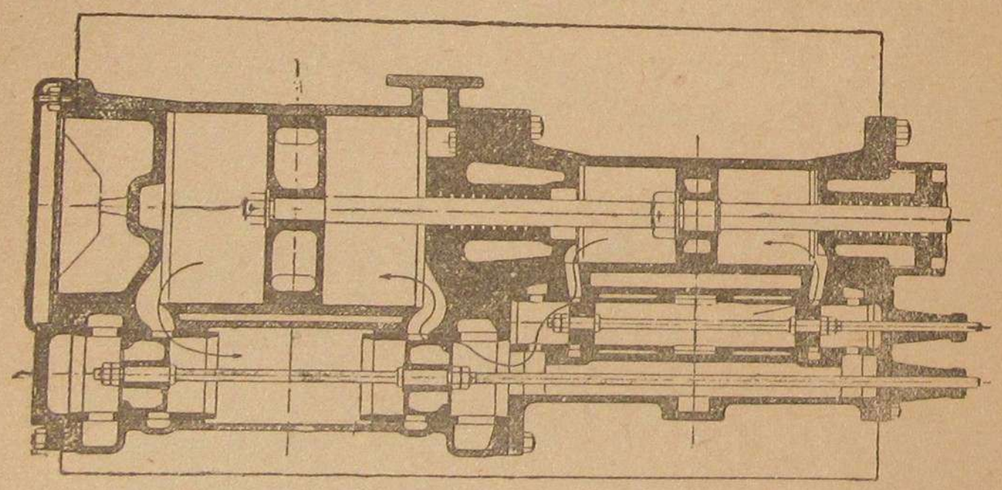


Рис. 169. Продольный разрез по цилиндру локомобильной однокривошипной паровой машины двойного расширения.

суммарное давление в цилиндре передается на кривошип непосредственно.

На рисунках показаны прямые и короткие паропроводы, характеризующие простую проводку пара. Цилиндр низкого давления

больших машин выполняется прямоточным (машина Штумпфа). В случае же необходимости работать с выпуском в воздух получилось бы чрезмерное сжатие в цилиндре. Во избежание этого в конце цилиндра предусмотрен вспомогательный выпускной канал, соединяющийся кратчайшим путем с паровыпускным каналом.

У машин двойного расширения больших мощностей выше 350 л. с. цилиндры высокого и низкого давления выполняются в виде отдельных отливок, но у машин меньшей мощности цилиндры высокого и низкого давления отливаются за-одно, независимо от типа машины, является ли она одно- или двухкривошипной.

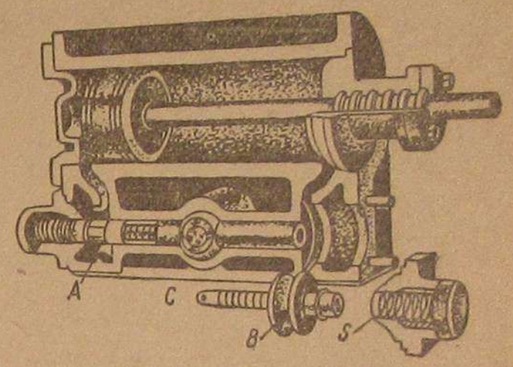


Рис. 170. Распределение Ленца в локомобиле. *A* и *B* — клапаны из чугуна, *C* — стальной кулачок, *S* — пружина для обратной посадки.

Клапанное распределение Ленца представлено на рис. 170. Здесь *A* и *B* — клапаны, изготовляемые из чугуна, при чем клапан *B* показан снятым; стальные стержни клапанов упираются в стальной кулачок *C*, который приводится в качательное движение от эксцентрика *E* (рис. 210), насаженного на вал. Для закрытия клапана служит пружина, опирающаяся одним концом на клапан, а другим — на свое гнездо. При повороте кулачка клапаны поочередно открываются, и происходит попеременно впуск или выпуск пара, в зависимости от хода поршня. Фазы распределения и высота поднятия клапанов регулируется изменением эксцентриситета и опережения передвижением эксцентрикового камня, перемещаемого осевым регулятором.

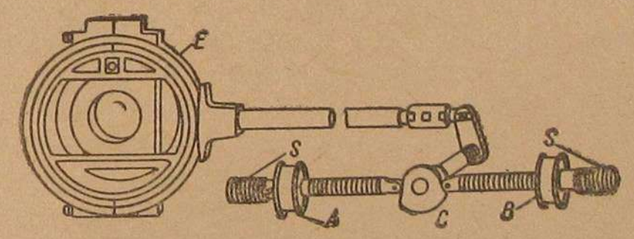


Рис. 171. Эксцентрик с передвижным камнем от регулятора при распределении Ленца. *E* — эксцентрик.

Коленчатые валы у локомобилей изготовляются из стали лучших сортов, обладающих значительной твердостью и вместе с тем вязкостью. Валы машин двойного расширения — двухкривошипные — устраиваются с коленами под углом 180°, тогда как сдвоенные машины имеют 90° между кривошипами. Коленчатый вал опирается цапфами на два подшипника, которые показаны в разрезах на рис. 172 и 173, изображающей коренной подшипник, исполняемый Людиновским заводом. Этот завод дает наклон разъема опорных подшипников вперед к кривошипу от цилиндров. На рис. 172 представлен опорный блок вала с коренными подшипниками и двухкривошипным валом для больших локомобилей Людиновского завода.

На этих рисунках показаны части установки вала на подшипниках.

Смазка коренных подшипников осуществляется цепным устройством. Бесконечная цепь надевается на вал так, чтобы она

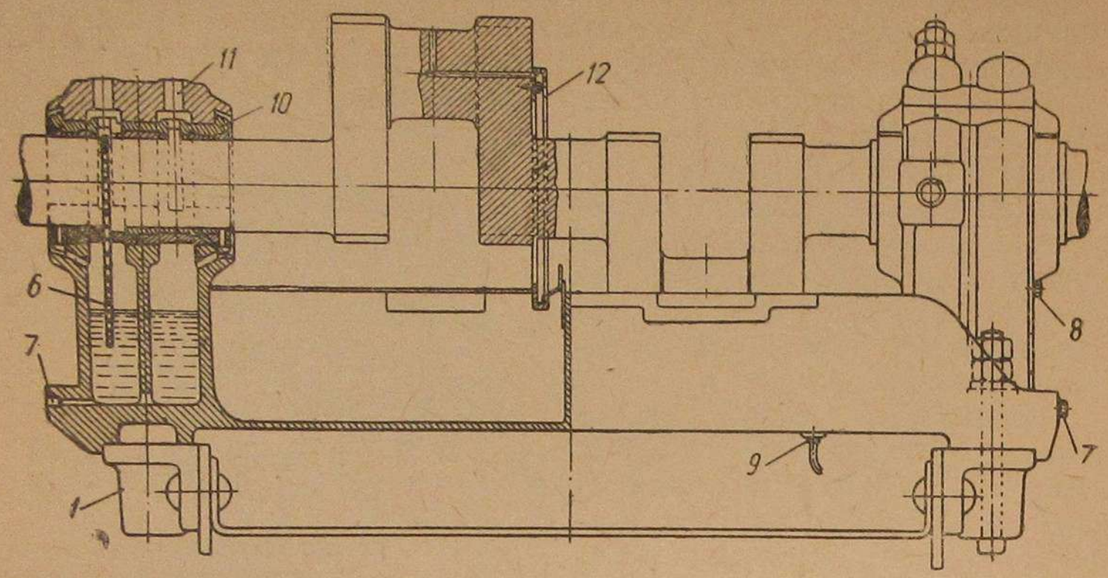


Рис. 172. Двухкривошипный вал Людиновского завода. *1*—угольник для крепления опорного блока вала, *2*—распорная втулка, *3*—болты, крепящие опорный блок, *4*—нарезные гнезда для стержней, связывающих опоры вала с цилиндрами, *5*—крепежные ребра, *6*—смазывающая цепь, *7*—спускная пробка для масла, *8*—проверочная пробка для уровня масла, *9*—пробка для спуска масла из опорного блока, *10*—вкладыши, *11*—смотровые отверстия для проверки смазочных цепей, *12*—кольцо для центробежной смазки шейки кривошипа, *13*—крышечные болты.

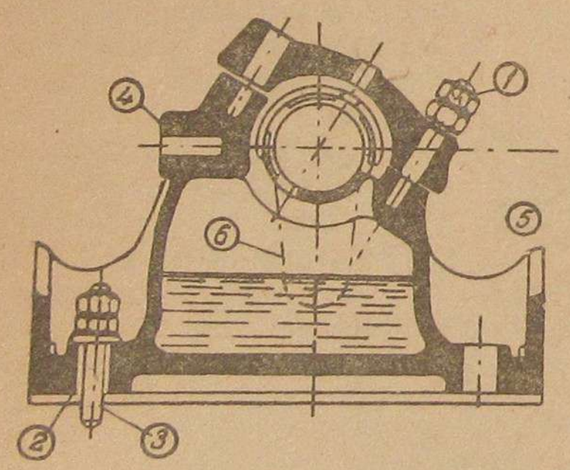


Рис. 173. Коренной подшипник коленчатого вала Людиновского завода.

образовала значительную петлю. Во время вращения вала цепь увлекается им и переносит масло из ванны подшипника на верхнюю часть поверхности шейки. Масло наливается в ванну так, чтобы она была заполнена до отверстия *8*, которое закрывается надежной пробкой. Спустя месяц масло должно быть заменено новым, а старое—спускается через канал.

Смазка шейки вала показана на рис. 174, как она производится заводом Вольфа. Масло подается по трубке *c* из масленки в смазочное кольцо *a*, откуда под действием центробежной силы масло, попадая в угловую трубку *в*, протекает по каналам, просверленным в колене на наружную поверхность шейки, где и смазывает внутреннюю поверхность головки шатуна.

Все остальные трущиеся части кривошипно-шатунного механизма смазываются капельными или фитильными масленками.

Передвижные людиновские локомобили марок А и Д имеют конические регуляторы Цабеля (рис. 175). Регулирование подачи пара производится посредством мятия при помощи дроссельной заслонки.

На рис. 176 представлена конденсационная установка при локомобилях Людиновского завода. Пар из машины проходит через трубчатый подогреватель *1*, подогревая питательную воду. За подогревателем находится перепускной клапан *8*, при помощи которого пар можно направить в холодильник или на воздух.

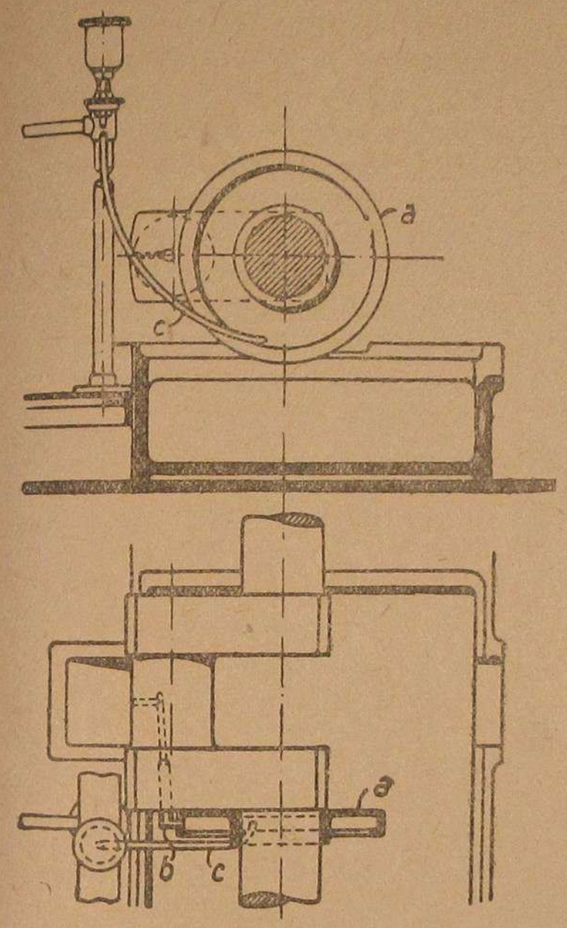


Рис. 174. Центробежное смазывающее приспособление для кривошипного вала. *a*—кольцо для центробежной смазки, *b*—угловая трубка, *c*—трубка, подводящая масло.

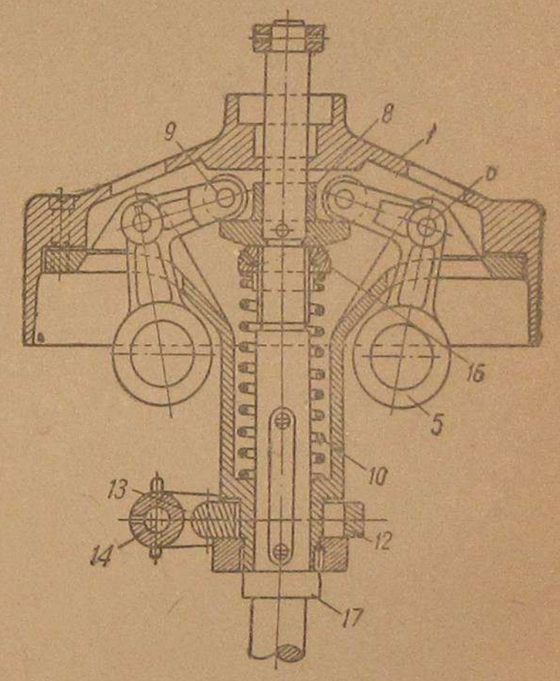


Рис. 175. Регулятор Цабеля. *5*—маятники, *6*—шарниры—точки привеса маятников, *7*—коробка маятника, *8*—опорная тарелка, *9*—нажимные ролики, *10*—пружина уравновешивающая нажим ролика, *11*—осевой стержень регулятора, *12*—кольцеобразная муфта, *13*—передаточный рычаг, *14*—присоединение рычага, связанного с дроссельной заслонкой, *16*—натяжная гайка, *17*—заплечик осевого стержня.

Холодильник состоит из смесительной камеры *7*, с разбрызгивателем *10—11*. Разбрызгиватель состоит из всасывающей трубы *11* и клапана *10*, которым регулируется подача воды в смеситель. На верхней части камеры установлен упор для ограничения поворота маховичка, которым вращается стержень клапана при его поднятии. Смешение пара с водой, поднимающейся по трубе *11*, происходит в камере *7*, здесь вода сгущает пар. Смесь сгущенного пара с водой и воздух, который попадает с охлаждающей водой и через неплотности в трубопроводах, проходит по трубе *13* в мокровоздушный насос *20*. Мокровоздушный насос состоит из цилиндра

с клапанами — всасывающим и нагнетательным *22*, на поршне насоса сидит нагнетательный клапан *23*. Поднятие резиновых клапанов ограничивается тарелками *21* с отверстиями для пропуска воздуха при поднятии клапана, иначе резиновый клапан может прилипнуть к чугунной тарелке. Вода насосом засасывается в камеру над клапаном *22*, откуда вытекает по сливной трубе. Над верхней камерой насоса имеется воздушный колпак, где собирается воздух для смягчения толчков при выталкивании воды из насоса. Поршневая скалка насоса *19* с поршнем питательного насоса *19* соединяется поперечиной *17*, которая присоединена к эксцентриковой тяге, приводящейся эксцентриком, сидящим на валу.

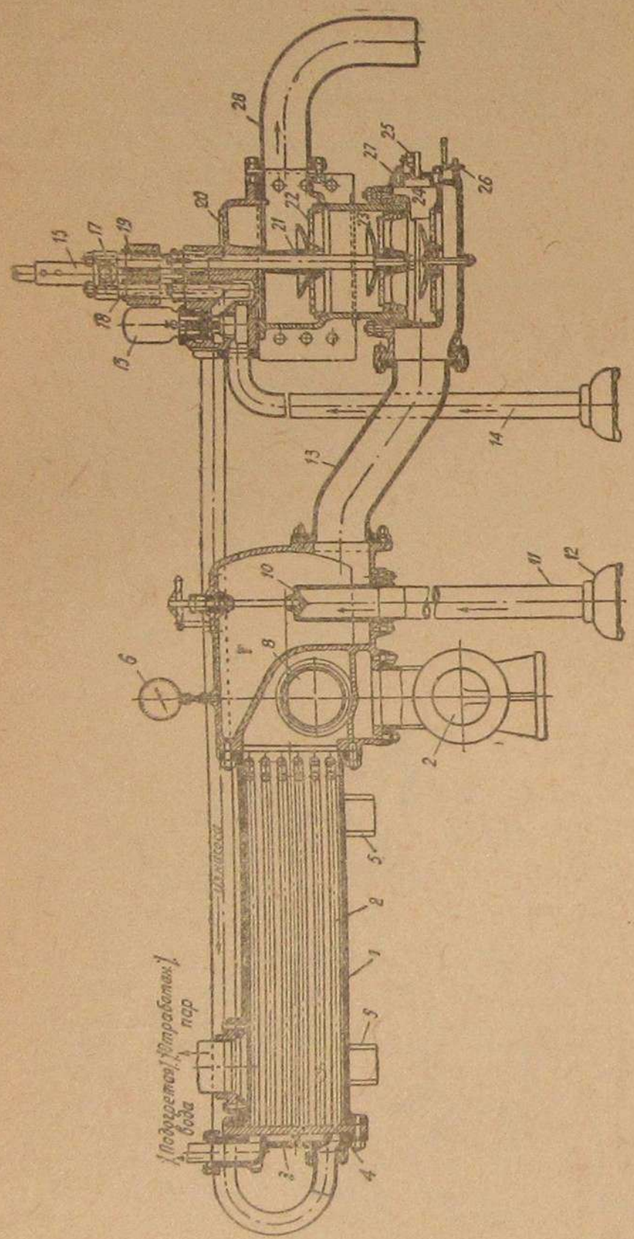


Рис. 176. Установка холодильника локомобильного Людиновского завода.

3. Смазка

Для смазки локомобилей употребляют минеральные масла, добываемые из нефти после отгонки керосина при температуре 350°. Оставшийся мазут содержит ряд масел: соляровое, веретенное, машинное, цилиндровое и густой остаток, называемый гудроном. Смазочные масла должны обладать особыми свойствами, делающими их пригодными для уменьшения работы, затрачиваемой на преодоление трения в трущихся частях паровой машины. Главнейшее свойство смазочного масла—вязкость, которое характеризует внутреннее сцепление частиц масла. Чем больше вязкость, тем больше давление может выдержать слой масла, не выдавливаясь из зазора между трущимися поверхностями. Вязкость масла устанавливается посредством сравнения времени истечения из отверстия в дне сосуда некоторого количества масла с временем истечения равного количества воды при определенной температуре. Масло должно обладать высокой температурой вспышки, т. е. температура, при которой вспыхивают пары нагретого масла при соприкосновении с огнем, должна быть достаточна для выдерживания высоких температур в паровых цилиндрах, особенно при перегретом паре.

Масло не должно содержать кислот и щелочей, которые разъедают трущиеся металлические части машин.

В масле не должно быть твердых растворимых и нерастворимых примесей, которые с течением времени образуют корку на трущихся поверхностях, ухудшают процесс трения, затрудняя приток свежего масла закупоркой каналов. Масло должно обладать низкой температурой застывания, особенно для тех машин, которые работают в холод в открытых помещениях. И, наконец, масло не должно содержать воды, которая уменьшает смазывающую способность масла и особенно затрудняет приток масла к трущимся поверхностям в фитильных масленках. Смазочные масла для локомобилей должны обладать следующими свойствами (таблица 76).

Вместо дорогостоящих смазочных масел, можно применять смесь минерального масла и известковой воды, которая выдерживает высокие температуры и не дает никаких твердых остатков в цилиндрах и золотниковых коробках и легко удаляется из отработавшего пара обычными маслоотделителями. Применение эмульсии масла с известковой водой дает экономию масла 50%.

Таблица 76

	Цилиндровое масло для		Машинное масло
	перегретого пара	насыщающего пара	
Уд. вес при 15° Ц	0,90—0,91	0,90—0,91	0,90—0,91
Вязкость по Энглеру при 20° Ц	—	—	25—45
То же при 50°	50—60	25—45	6—7
„ „ 100°	6—7	5	—
Температура вспышки в открытом тигле °Ц	320	250—320	200
Температура воспламенения в открытом тигле °Ц . . .	360—380	320—350	25

У непередвижных локомобилей масло после смазки должно быть тщательно очищено и профильтровано, для чего оно должно быть предварительно подогрето. У передвижных локомобилей отработавшее масло должно быть собрано из мест скопления и очищено процеживанием сквозь сита, но употребляться оно может только для смазывания менее нагруженных и менее важных частей; цилиндр и золотники необходимо смазывать свежим маслом. Смазочные масла для паровых машин подчиняются следующим нормам, которые установлены Нефтесиндикатом для определения их свойств. Эти свойства сведены в таблицу 77. В малых локомобильных уста-

Технические нормы свойств смазочных масел Нефтесиндиката *Таблица 77*

Свойства	Название смазочного масла	Назначение смазочного масла												
		Для машин насыщающего пара				Для машин перегретого пара							Машинное масло	
		Цилиндровое 2	Вискозин 3	Вискозин 5	Вапор Л	Нигрол Л	Вапор Л	Вапор Т	Вапор Т экстра	Вискозин М	Вискозин 7′	Вискозин 10′	2	Т
Уд. вес при 15° Ц		0,89 - 0,92	0,91 - 0,925	0,915 - 0,930	0,895 - 0,910	0,915 - 0,945	0,895 - 0,910	0,905 - 0,920	0,905 - 0,920	0,90 - 0,915	0,920 - 0,930	0,925 - 0,940	0,890 - 0,93	0,895 - 0,950
Минимальная температура вспышки по Бренкену °Ц		220	240	255	265	240	265	320	330	300	300	325	190	200
Вязкость по Энглеру при 100°		1,8 - 2,2	3,0 - 4,0	5,0 - 6,0	3,5 - 5,0	5,0 - 7,0	3,5 - 5,0	5,5 - 7,0	6,2 - 7,5	4,5 - 6,0	7,0 - 8,0	не ниже 9,5	5,5 - 6,5	7,0 - 8,2
Содержание асфальта (в %)		—	0,2	0,2	0,05	—	0,05	0,3	0,4	0,1	0,2	0,2	—	—
Содержание золы не более (в %)		0,05	0,1	0,15	0,025	—	0,025	0,025	0,05	0,025	0,15	0,2	—	—
Температура застывания не выше		+ 5° Ц	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	— 8° Ц	— 5° Ц
Давление насыщенного пара в кг/см² ман. не выше		5	12	15	15	8	—	—	—	—	—	—	—	—
Температура перегретого пара °Ц		—	—	—	—	—	до 250	Выше 310	Выше 320	до 310	до 350	Выше 300	—	—

новках применяют обычные способы смазки: ручная, фитильными масленками, игольчатыми масленками, капельницами. Для смазки коренных подшипников применяют цепную или кольцевую смазку. Для смазки шейки колен, эксцентриковых хомутов и цапф регуляторов применяют центробежную смазку. Непередвижные локомобили больших мощностей имеют центральную смазку. На рис. 177 и 178 показана схема центрального смазочного устройства. Смазочное масло находится в баке *1*, для определения уровня масла служит мерное стекло *2*. Масло из бака, находящегося на высоте 3 м над распределительной трубкой *3*, из которой масло протекает по переходным штуцерам *8* по трубкам к трущимся частям машины или вспомогательным механизмам. На распределительной трубке имеется переливная трубка *4*, поддерживающая в ней постоянный уровень. Над каждой отводной трубочкой имеется шпиндель, которым регулируется подача масла к трущимся частям. Поворачивая шпиндель *5* и закрепляя его положение контргайкой *6*, можно увеличивать или уменьшать количество масла—рис. 178. В штуцерах имеются смотровые стекла *8*. При остановке машины подача масла выключается краном *9*. Масло после смазки стекает в сборную трубу *10* и из нее стекает в масляный фильтр *11*, откуда откачивается насосом *13* в резервуар. Чистка фильтра и смена фильтр-слоя производится не реже одного раза в три месяца. Загустевшее, мутное и слизистое масло после смазки заменяется новым. Органы парораспределения—золотники и клапаны, а также цилиндры смазываются масленками, в которых имеется затвор для отделения ее от окружающего пространства. На рис. 179 показана гидростатическая масленка. Устройство ее ясно из чертежа.

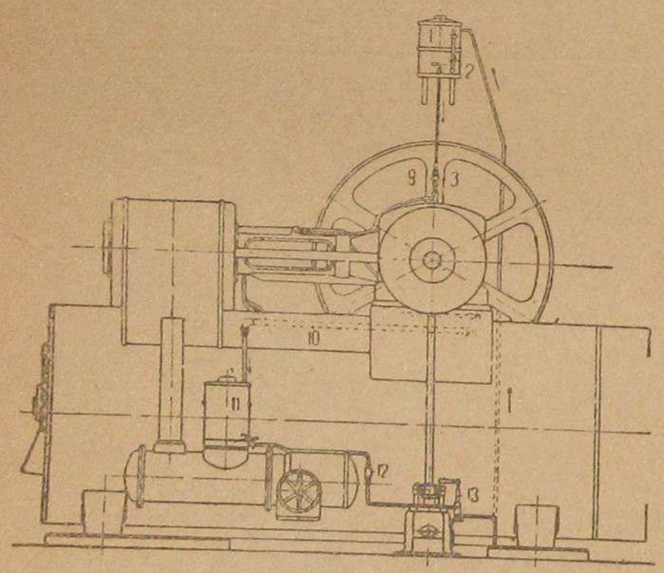


Рис. 177. Центральная смазка.

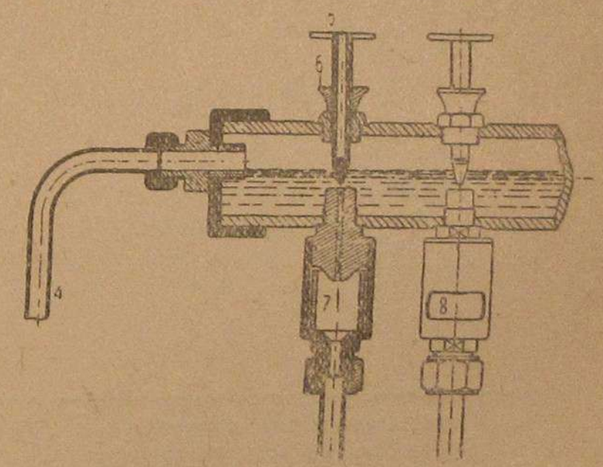


Рис. 178. Распределительные штуцера центральной смазки.

Для заполнения масленки трехходовой кран ставят в положение *I*; в камеру наливается масло, затем камера закрывается и кран ставится в положение *II*. Пар из цилиндра по особой трубке протекает в масленку и сгущается. Получающаяся вода занимает нижнюю часть масленки, а масло всплывает вверх и затем стекает в цилиндр. Когда масло израсходуется, вода займет всю масляную камеру. Для заполнения масленки новой порцией масла, кран ставят в положение *III* и спускают воду в цилиндр, после чего масленку заполняют маслом. Но самым совершенным прибором для смазки под давлением является пресс Моллерупа рис. 180. Рычаг *1* приводится в колебательное движение от какой-нибудь части машины. Рычаг при помощи зацепки и храповика *2*, червячного зацепления *3* сообщает вращательное движение винту *4*, с которым соединен поршень *5*, опускающийся при этом вниз; поршень *5* давит

на масло в цилиндре *6* и гонит его по трубке *7* к смазываемым частям. Смазка механическими приборами обычно подается в ко-

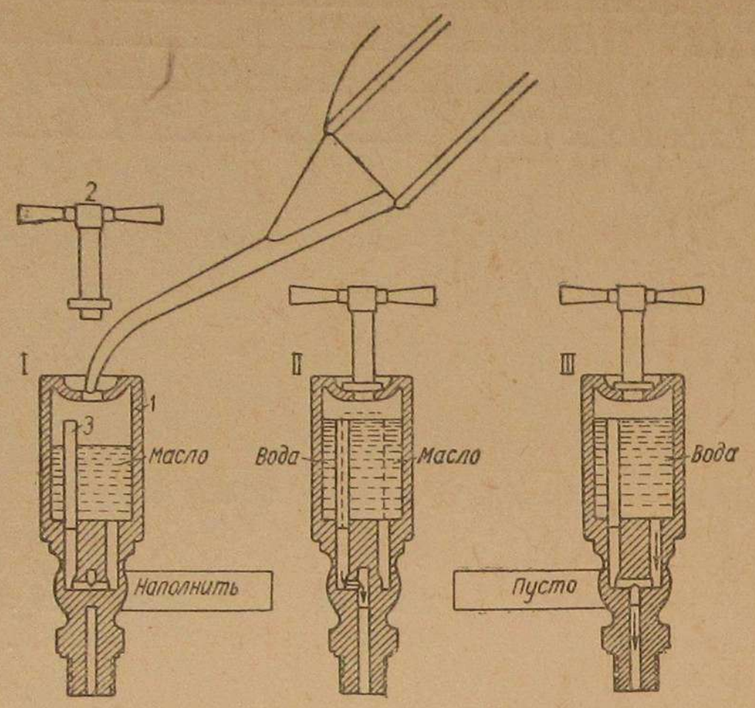


Рис. 179. Гидростатическая паровая масленка.

ренные подшипники, кривошипные колена, пальцы ползуна под давлением 1½—2 кг/см² ман.

В таблице 78 дан расход смазочных масел в локомобилях.

Таблица 78

Одноцилиндровые локомобили без перегрева и холодильника			Локомобили двойного расширения с перегревом и холодильником		
Мощность машины пол. л. с.	Расход кг на 1 пол. л. с.-час		Мощность машины пол. л. с.	Расход в кг на 1 пол. л. с.-час	
	Цилиндровое	Машинное		Цилиндровое	Машинное
10	0,2	0,025	60	0,07	0,08
16	0,03	0,035	70	0,08	0,09
20	0,035	0,040	100	0,095	0,11
24	0,037	0,048	125	0,11	0,13
28	0,042	0,056	160	0,12	0,14
33	0,049	0,066	205	0,135	0,155
38	0,057	0,076	260	0,15	0,17
			325	0,17	0,19
45	0,065	0,090	365	0,18	0,20
60	0,075	0,10	500	0,22	0,26

4. Установка локомобилей

Размещение локомобильной установки показано на рис. 181 и в таблице 79 даны габаритные размеры его для людиновских локомобилей типа ЛМ.

Таблица 79

Размер	ЛМ									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
a	6550	6550	7080	7080	7600	7600	8300	8300	9500	9570
b	6150	6460	6690	6935	7385	7380	7950	8610	9595	10560
c	1970	2040	2080	2180	2280	2350	2350	2455	2575	2900
d	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	4500	4700
e	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	5100	5700
f	3500	3500	3500	3500	3500	3600	3600	3700	4000	5100
g	2600	2600	2600	3000	3000	3100	3100	3500	3600	4000
h	4844	5005	5405	5483	6026	5903	6528	7052	7588	7133
v	2549,5	2663	2730	2935	3025	3030	3330	3495	3640	4062
i	860,5	908	958	856	1116	1021	1021	1291	1178	1282
u	1434	1434	1717	1692	1885	1852	2157	2266	2770	1889
w	2150	2225	2270	2490	2625	2740	2740	3075	3200	3375
k	3600	3790	3930	4000	4360	4320	4590	5060	5900	6500
l	820	860	600	875	997	1065	1065	1195	1250	1350
m	690	725	765	825	897	970	970	1000	1085	1175
n	200	240	240	280	300	300	300	320	350	420
o	4250	4210	4430	4530	4600	4730	5130	4790	5607	6400
q	3620	3790	4120	4080	4425	4300	4900	4300	—	5000
p	2060	2215	2295	2410	2645	2770	2785	3105	3315	3575
ф	1700	1700	1850	1850	2000	2000	2200	2200	2400	2300
r	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1200
s	26 mt	26 mt	28 mt	28 mt	30 mt	30 mt	32 mt	35 mt	36 mt	36,5 m
t	5950	5950	6475	6475	7000	7000	7700	7700	8400	8400
x	910	945	945	990	1020	1040	1040	1150	1170	1285
y	1895	1978	1998	2140	2268	2342	2342	2609	2664	2925
z	2040	2115	2160	2238	2335	2476	2486	2801	2925	—

Таблица 80

Мощности локомобилей типа ЛМ

ЛМ				
I	II	III	IV	V
42—53—63	50—63—73	63—78—90	80—98—110	100—120—135

Продолжение

Лм				
VI	VII	VIII	IX	X
120—140—155	145—170—190	195—225—250	235—270—300	295—330—380

Таблица 81

Марка	A	B	C	D+E	F	G	H	I	K	L	M	N
А. I.	1250	150	365	640	65	60	18	1501	1220	1829	2175	3440
А. II.	1250	150	405	666	74	65	18	1609	1295	1811	2234	3600
А. III.	1400	160	405	700	65	70	18	1665	1325	1892	2364	3670
А. IV.	1400	180	450	794	66	75	23	1783	1490	1971	2483	3840
А. V.	1500	180	455	780	75	80	23	1840	1490	2105	2590	3925
А. VI.	1500	200	490	800	75	90	23	1900	1565	2160	2650	4075
А. VII.	1700	200	520	820	75	100	26	1947	1615	2205	2800	4220
А. VIII.	1700	240	550	880	75	110	26	2050	1745	2275	2900	4430
А. IX.	1700	280	575	940	75	115	26	2115	1870	2340	2965	4555
Д. I.	1700	200	560	885	75	90	23	1945	1720	2205	2800	4220
Д. II.	1700	240	600	810	54	100	26	2030	1847	2280	2880	4400
Д. III.	1700	280	635	1044	75	110	26	2090	2200	2340	2940	4555
Д. IV.	1850	240	745	1180	75	115	26	1915	2300	2360	3090	4880

В настоящее время Людиновский завод строит локомобили типа ЛМ, четырех марок V, VII, VIII, X, которые часто встречаются на наших предприятиях.

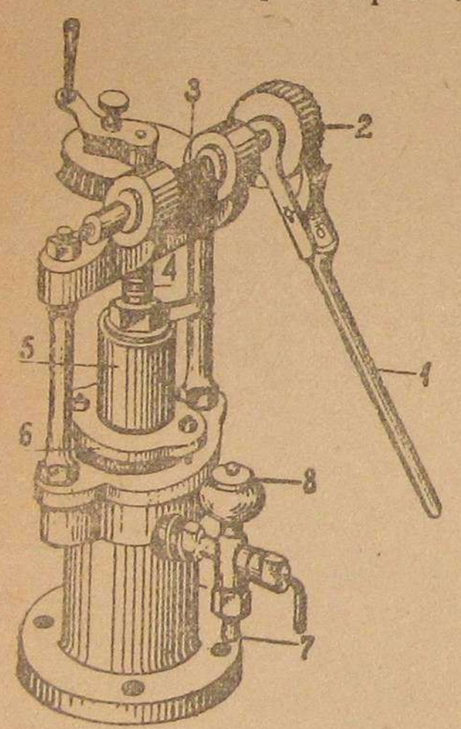


Рис. 180. Смазочный пресс Моллерупа.

Кроме того, на рис. 182 и в соответствующей таблице 81—приведены габаритные размеры локомобилей типа А и Д на подставках, часто применяющихся в лесопильном производстве.

Экономичность паросиловой установки определяется расходом пара на полезную лош. силу-час и общей степенью использования тепла. Эти характеристики в локомобильной установке выше, чем у соответствующих паровых машин на 10—20%. На рис. 183 показаны кривые расходы тепла на полезную лош. силу-час паровой машины и паровой турбины с конденсацией, включая котельную установку, и локомобиль, в зависимости от мощности машины. Из приведенных диаграмм видно, что при мощностях от 400 до 800 л. с. локомобиль с перегретым паром выгоднее других паровых двигателей, и расход пара в них равен расходу в турбинах 1400—1500 полезных лош. сил и значительно ниже, чем в паровых машинах.

В обыкновенной локомобильной установке в полезную мощность превращается 15,1% тепла—потеря на трение в машине—1%, потеря в котлах в уходящих газах—25%, отработавший пар уносит тепла — 58,9, которые составляют тепловой отброс. Из

отработавшего пара только 3,3% используется на нагрев питательной воды. Тепловой отброс локомобиля может быть использован для производственных и технических целей путем работы с отбором пара, с противодавлением и непосредственным перепуском в систему отопления при низком давлении.

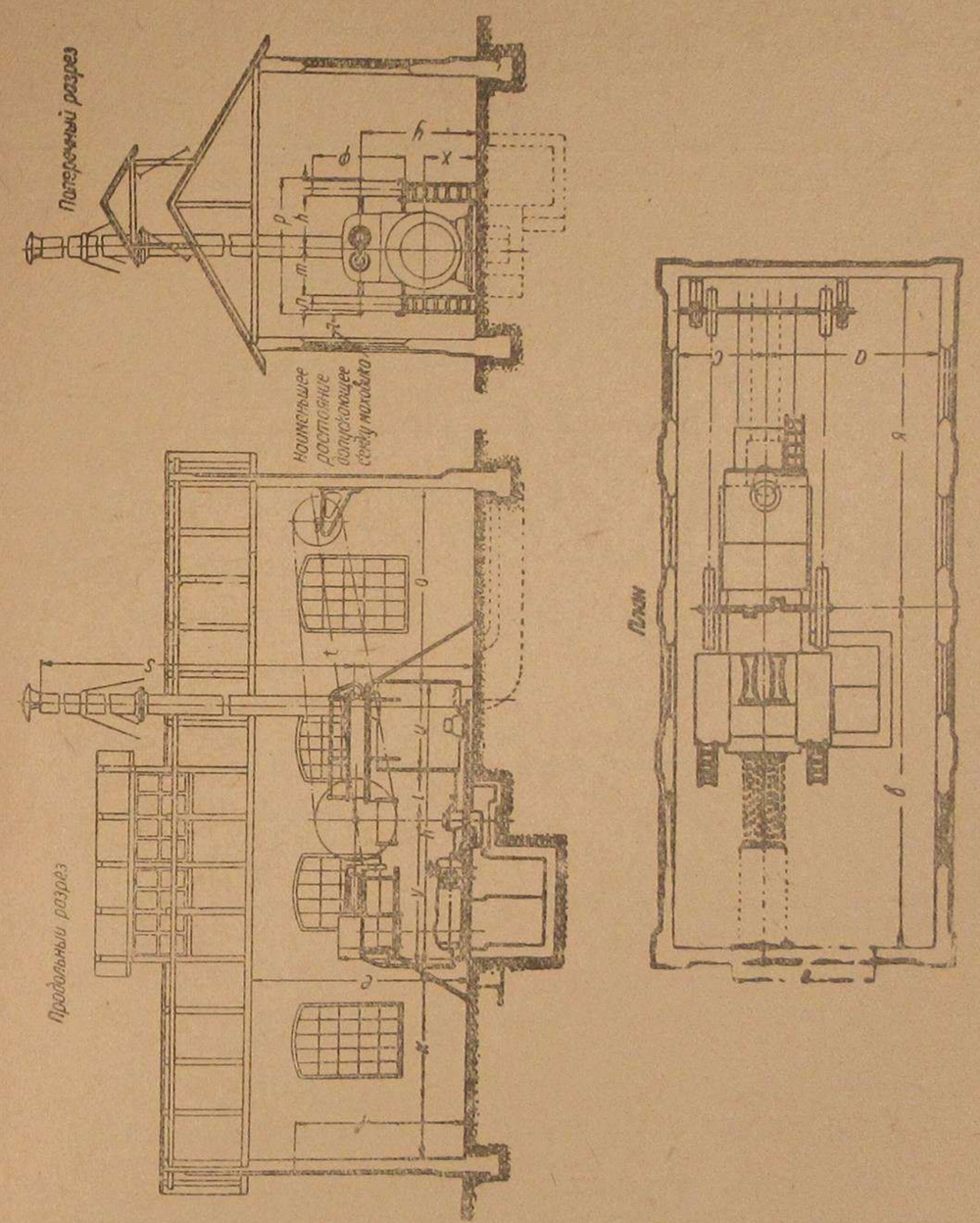


Рис. 181. Размещение установки людиновских локомобилей типа Л. М.

Для оценки работы непередвижных локомобилей с перегревом пара может служить таблица 83, где собраны гарантийные расходы пара и угля на 1 пол. л. с.-час для локомобилей Вольфа. Отклонения для гарантийных расходов пара и угля допускаются не более 5%.

Таблица 82

Нормальная наибольшая продолжительная и наибольшая кратковременная мощности локомобилей типа А и Д

А					
I	II	III	IV	V	VI
11—14—17	13—17—20	16—21—21	20—25—29	24—29—35	28—34—43

Продолжение

А			Д			
VII	VIII	IX	I	II	III	IV
33—40—52	38—46—61	44—54—70	32—39—50	38—47—61	46—57—73	58—50—90

Таблица 83

Марка локомобиля	Наибольшая продолжительная мощность в л. с.	Давление в котле кл/см² ман.	Расход кг на 1 п. л. с. час	
			угля	пара
	Одноцилиндровые локомобили без охлаждения			
NEH	40—120	12	0,96—0,91	8,0—7,5
NH	160—470	15	0,87—0,83	7,0—6,8
Однокривошипные локомобили двойного расширения с холодильником				
NTK	35—135	12/15	0,67—0,60	5,4—4,8
NK	155—360	15	0,59—0,57	4,8—4,6
Двухкривошипные локомобили двойного расширения с холодильником				
V_1K_b	175—780	12/15	0,58—0,55	4,7—4,4

Расход угля пересчитан на уголь 7500 кал/кг.

5. Использование теплового отброса локомобиля

Используя теплоту отработавшего пара—тепловой отброс локомобиля или отбирая пар из промежуточного приемника у машин двойного расширения, можно значительно повысить тепловую полезность локомобиля, как установки. Даже частичное использование отработавшего пара или частичный отбор пара дают значительное сокращение расхода топлива, а, следовательно, удешевление механической энергии. Но использование топлива вместо теплового отброса локомобиля для тех же целей было бы сопряжено с большим расходом тепла, так как сжигание его в отдельной топке было

бы связано с рядом потерь. При использовании отработавшего пара в целях отопления, стоимость единицы тепла понижается еще и потому, что в такой установке нет необходимости в особом отопительном котле. Но вместе с тем при использовании отработавшего пара для отопления или сушил необходимо установить трубы с несколько большим диаметром, чем при паре низкого давления из особого котла, так как пар из локомобиля вытекает толчками прерывисто; так, из локомобиля при 240 оборотах в минуту пар выходит 8 раз в секунду с весьма малыми перерывами, которые, однако, заметны. Кроме того, необходимо принять во внимание, что отработавший в машине пар с давлением 1,1 кг/см абс. имеет объем на 33% больше, чем обычно применяющийся пар котлов низкого давления с давлением 1,5 кг/см абс. (1,575 м³/кг и 1,178 м³/кг).

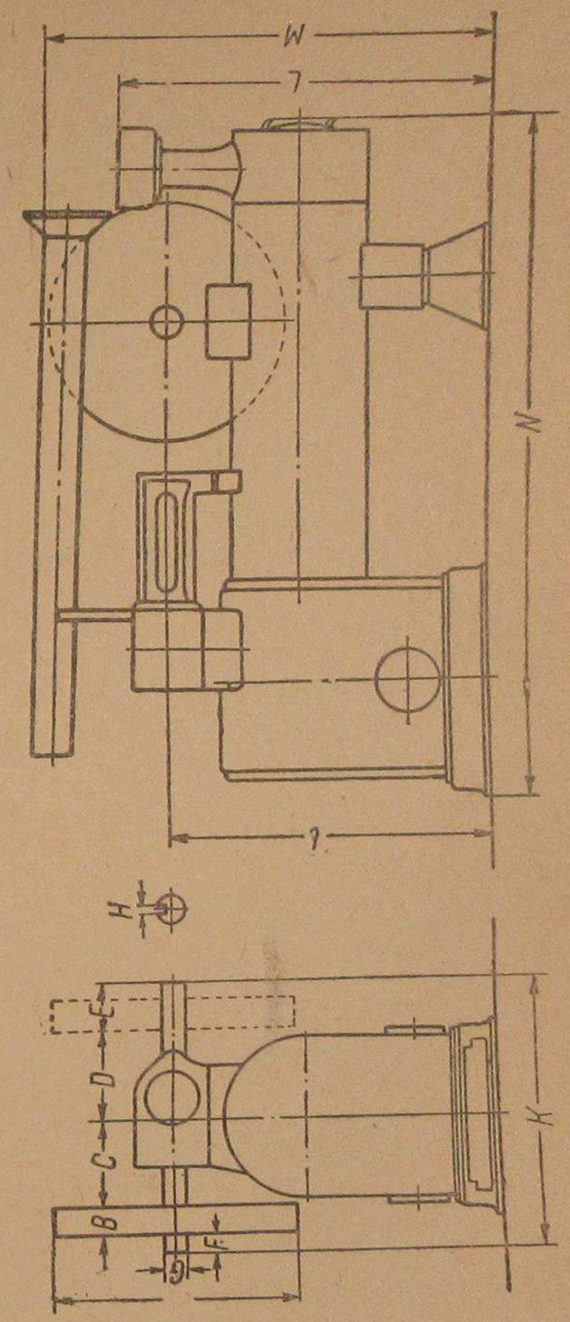


Рис. 182. Габаритные размеры людиновских локомобилей типа А и Д.

В устройстве отопления отработавшим паром должен быть предусмотрен отвод сгущенного пара при помощи сопел в особый трубопровод (рис. 184). Но перед устройством, в котором используется теплота отработавшего пара, должен быть установлен маслоотделитель для очистки пара, так как масло загрязнит прибор отопления и ухудшит передачу тепла в нагревательных приборах. На рис. 185 показано маслоотделительное устройство для машин, работающих на выпуск с небольшим противодавлением, для машин с высоким противодавлением и машин с холодильником. Пар проходит через цилиндр, в котором установлены перегородки, заставляющие пар менять направление своего движения, вследствие чего изменяется скорость потока пара. При изменении скорости частицы масла и сгущенного пара, как более тяжелые, стекают по перегородкам на дно маслоотделителя. Отсюда смесь воды и масла у ма-

шин с небольшим противодавлением выбрасывается по трубке в маслособиратель. У машин с высоким противодавлением за маслоотделителем к спускной трубе присоединяется конденсационный

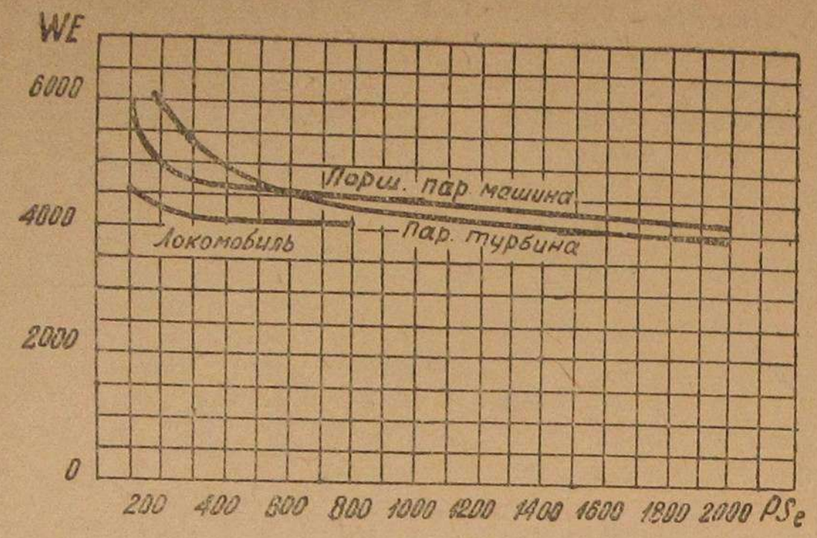


Рис. 183. Диаграмма расхода тепла на 1 п. л. с./час различных силовых установок в зависимости от мощности машины.

горшок, выталкивающий давлением пара смесь воды и масла. Но при машинах с холодильником нужна установка особого маленького насоса для перекачивания смеси воды и масла из маслоотделителя в маслособиратели. В маслособирателе масло отделяется от воды подогревом смеси паром при помощи особого змеевика. Здесь смесь проходит с небольшими скоростями через перегородки, и масло всплывает вверх, а вода собирается в нижней части маслособирателя. После отстаивания масло еще раз подвергают чистке, и тогда около 60% масла от использованного в машине может быть употреблено снова в работу.

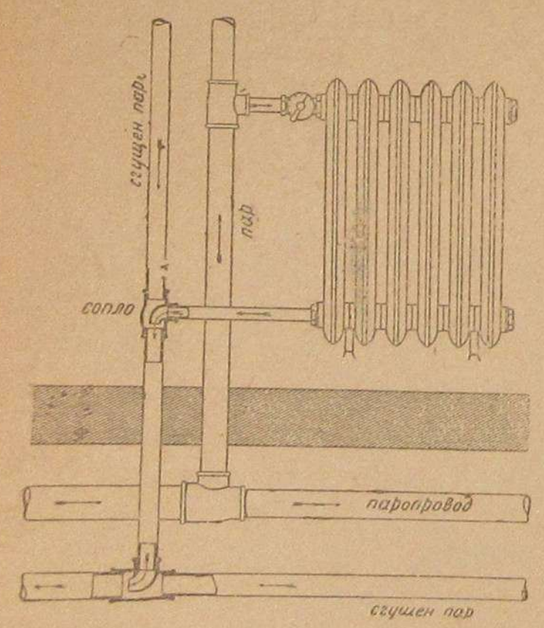


Рис. 184. Отвод сгущенного пара из отопительной системы.

После маслоотделения отработавший пар локомобилей с противодавлением может быть применен для отопления, сушки или варки. Точно так же может быть использован пар локомобилей с холодильником для разнообразных технических целей. Для подобного использования пар отводится по особому трубопроводу, который присоединяется к выпускной трубе до холодильника и далее к нагревательным приборам.

Сгущенный пар из отопительного паропровода низкого давления откачивается особым насосом в холодильник, как это было

выше описано. Паропровод отопления низкого давления должен иметь большие размеры сечения, так как отработавший пар низкого давления из локомобиля с холодильником имеет удельный объем весьма большой—7,777 м³/кг против 1,178 м³/кг, соответствующего пару обычного давления при выпуске на воздух, при чем соединения в трубопроводе и присоединение к нему приборов отопления должны быть тщательно уплотнены.

Так называемая система вакуум-отопления обходится дорого, а потому и не находит широкого применения, и в настоящее время применяется „воздушное вакуум-паровое отопление". Около локомобиля устанавливается воздухоподогреватель, который обогревается отработавшим паром из локомобиля. Нагретый воздух подается по системе воздухопроводов в отапливаемое помещение или сушило. Пар, сгущающийся в воздухоподогревателе, отводится в холодильник и откачивается из него мокровоздушным насосом. Иногда вместо воздухоподогревателя ставят особый водоподогреватель для подогрева воды отработавшим паром. Этот водоподогреватель по устройству—поверхностный холодильник; он устанавливается между цилиндром низкого давления и холодильником, в котором сгущается выхлопной пар. Нагретая вода направляется в нагревательные приборы, а сгустившийся пар поступает в холодильник. Такой способ дает значительную экономию в охлаждающей воде, подаваемой в смесительный холодильник, в котором сгущаются остатки отработавшего пара. Нагрев воздуха в паровоздушном отоплении достигает 35—40° при давлении пара 0,2 кг/см² абс. Нагрев воды в поверхностном подогревателе достигает, в среднем, 45—50°.

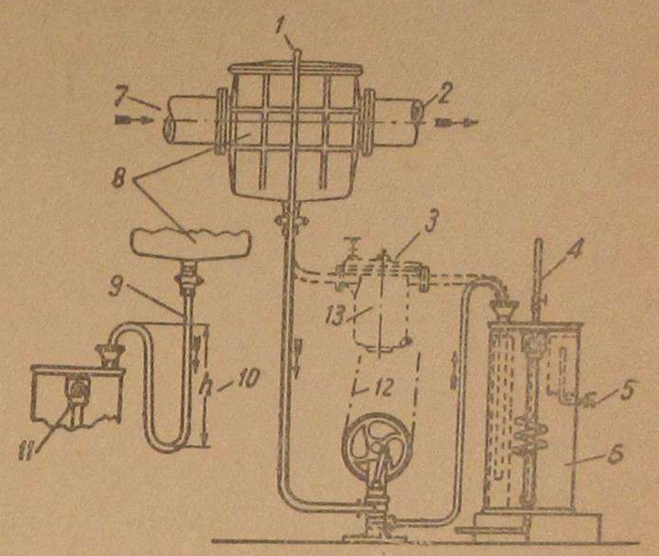


Рис. 185. Установка маслоудалителя из отработавшего пара при работе с противодавлением. *1*—уравнитель давления при машине с холодильником, *2*—пар, очищенный от масла, *3*—установка для машины с высоким противодавлением, *4*—подвод пара для нагрева, *5*—отвод масла, *6*—восстановитель масла, *7*—пар из машины, *8*—маслоочиститель, *9*—установка для паровой машины с малым противодавлением, *10*—противодавление (*h*), *11*—отвод воды, *12*—масляный насос, установка для машины с охлаждением, *13*—конденсационный горшок.

6. Использование отработавшего пара при противодавлении и пониженном разрежении

На рис. 186 показана зависимость температуры отработавшего мятого пара от давления при выпуске—противодавления. Отработавший пар из паровой машины может быть применен для самых разнообразных целей в деревообрабатывающей промышленности:

для отопления низкого или высокого давления для вакуум-отопления, нагрева воды, для сушки, для пропарки и варки. Цели применения отработавшего пара и соответствующие температуры показаны на кривой температур. На кривой расхода пара, которая располо-

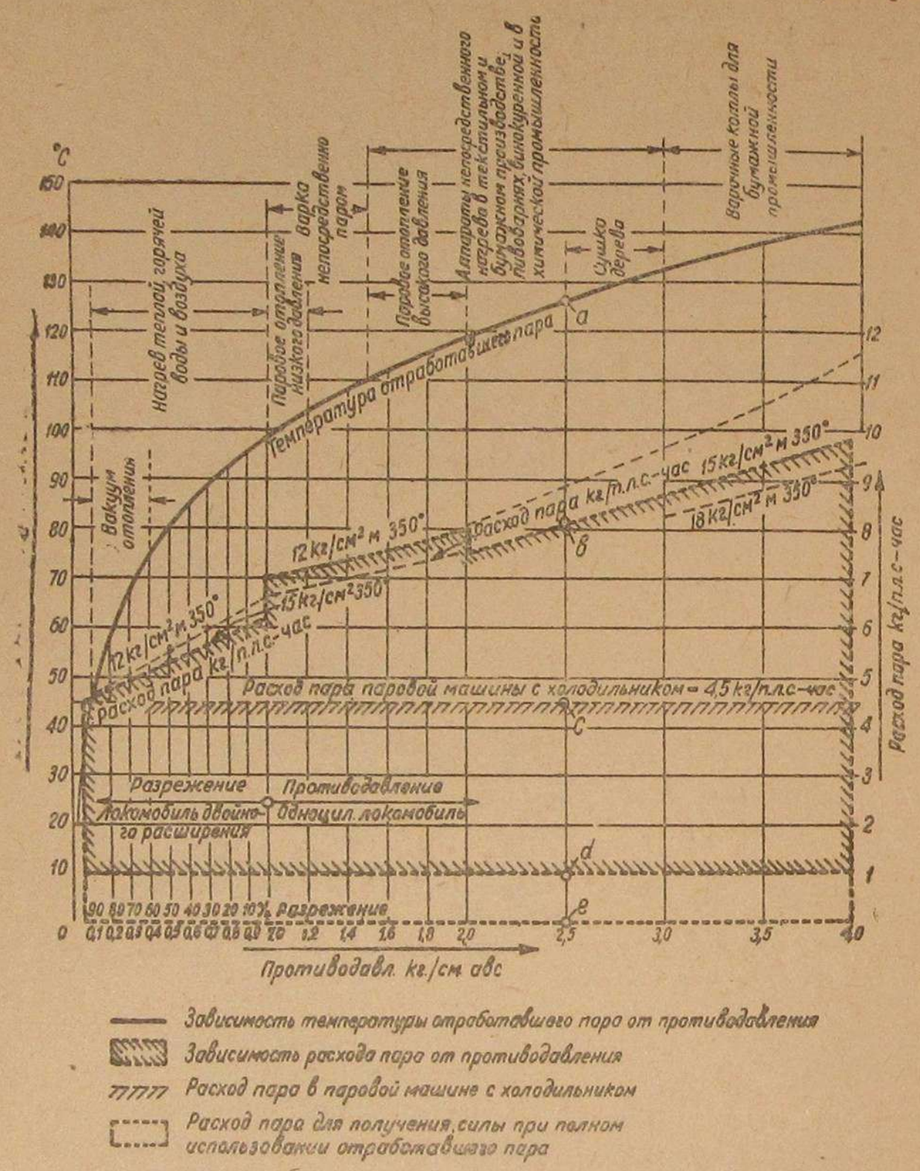


Рис. 186. Диаграмма зависимости расхода пара в локомобилях от противодавления.

жена ниже кривой температур, показан соответствующий расход на полезную лош. силу, а также количество располагаемого отработавшего пара на каждую лошадиную силу. При понижении разрежения возрастает расход пара; но сравнительно медленно. Увеличение расхода пара при работе без охлаждения, с выпуском на воздух по сравнению с работой с охлаждением при разрежении 90% составит около 38%. При противодавлениях значительно больших 1 кг/см² абс. следует выбирать одноцилиндровую машину. Одноцилиндровая машина в работе на противодавление менее чувствительна к изменению нагрузки и к изменению противодавления, чем машина двойного расширения. При этом расход пара у одно-

цилиндровой машины локомобиля на 10% выше, чем расход пара в машине двойного расширения. При использовании отработавшего пара увеличение расхода пара является полезным, так как пар идет в те приборы, в которых он используется для производственных целей. Тепловое использование пара через паровую машину дает энергию, которая может быть использована в данном производстве, на сколько это необходимо с отпуском избытка на сторону.

Если установлена машина двойного расширения с охлаждением, то при подаче пара в паровое отопление низкого давления расход пара при давлении 15 кг/см² ман. и 350° возрастает с 4,5 до 6,2 кг; возросший расход пара на 1,7 кг послужит для целей отопления. Сопоставляя этот расход с расходом пара при охлаждении и подаче в отопление свежего пара, видно, что использование пара с противодавлением выгодно.

Для нагревания сушильных барабанов паром более высокой температуры и давления расход пара может быть определен непосредственно по диаграмме. Так, например, если для нагрева сушильных барабанов температура 127° Ц, что соответствует давлению 2,5 кг/см² абс., которое на диаграмме (рис. 186) представлено точкой *a*, то ордината *bc* покажет: пар одноцилиндрового локомобиля при давлении в котле 15 кг/см² ман. и температуре в 350° Ц при противодавлении 2,5 кг/см² ман., а расход пара—8,2 кг/пол. лош. сил-час.

Отрезок *ce*—расход пара из локомобиля с охлаждением 4,5 кг пол. л. с.-час, ордината *bc*—увеличение расхода пара при противодавлении по сравнению с расходом при работе с холодильником, т.е. 8,2—4,5 = 3,7 кг/пол. л. с.-час, при этом отрезок *cd* дает экономию в расходе пара полного использования отработавшего пара по сравнению с работой на холодильник и при применении свежего пара для производственных целей, т. е. 4,5—1=3,5 кг/пол. л. с-час. Ордината *de* дает остающийся расход пара на получение мощности при использовании мятого пара, в среднем, 1 кг/пол. л. с-час.

Пользуясь приведенной диаграммой, можно определить для каждого противодавления ту часть отработавшего пара, которая может быть использована. За вычетом этой части останется необходимое количество пара для получения работы, не превышающее расхода пара при работе с охлаждением для локомобиля с давлением 15 кг/см² ман. и 350° на каждую полезную лош. силу-час.

XXV. ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ С ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ВНЕДРЕНИЕ ИХ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1. Общие положения

Применение газовых двигателей в деревообрабатывающей промышленности пока еще не практикуется в СССР по ряду причин. Основная причина та, что газовые двигатели не производятся в СССР,

равно как и газогенераторы для получения силового газа.[1] Препятствием к внедрению газогенераторов для древесины является малая осведомленность о газогенераторном процессе, особенно в ведении процесса на древесных отходах, что особенно важно для деревообрабатывающей промышленности, которая располагает громадными запасами отходов как лесопильной, так и лесосечной древесины.

Большое количество отходов во всех видах деревообрабатывающей промышленности, как уже было отмечено выше, настоятельно требуют проведения использования отходов в энергетических и производственных целях. Самый выгодный способ использования отходов—это „газование отходов" для получения силового газа с использованием побочных продуктов. Теплотворность газа, полученного при газовании дров и отходов, вполне обеспечивает использование его в двигателе. Необходимо отметить, что получающийся из отходов генераторный газ имеет теплотворность по сравнению с газом из дров ниже на 40%. Это обстоятельство должно быть принято во внимание при использовании отходов в деревообрабатывающей промышленности при внедрении газогенераторных установок. Двигатели, которые будут применены для использования древесного генераторного газа, должны быть приспособлены к изменению степени сжатия. При работе на газе из дров степень сжатия (отношение полного объема цилиндра к камере сжатия) должна быть равна 8—9, а при использовании газа из отходов, газа „бедного", степень сжатия должна быть повышена до 13—15.

Испытания двигателя завода Дейтц, работавшего на газе из отходов, показали, что применение таких степеней сжатия вполне возможно без всякого вреда для двигателя и при использовании газа из отходов с самой малой теплотворностью от 750—800 кал/м³. Повышение сжатия дает возможность применять в газогенераторе всякие отходы: начиная от крупных отходов лесопиления, подвергая их предварительному дроблению, до опилок, которые нужно перемешивать с дробленкой, и кончая отходами лесосечной древесины. Использование древесины в газогенераторах сопровождается ценными побочными продуктами сухой перегонки, которые дают значительный доход предприятию. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен далее на примере одной из установок в Швеции. Возможно непосредственное получение продуктов сухой перегонки при газовании древесины, но еще большую выгодность представила бы организация предварительной сухой перегонки древесины с последующим использованием полученного угля. Использование в сложном комбинате деревообрабатывающих производств отходов не только деревообработки, но и заготовки древесины: кривых стволов, веток, вершинок и других отходов лесосечной древесины, даст уксусную кислоту, метиловый спирт, разнообразные смолы, а затем при перегонке этих смол — ценные масла, которые могут быть использованы во многих районах, удаленных от мест получения и производства нефтяного топлива для двигателей внутреннего горения. Для уменьшения расходов по транспорту ма-

[1] Только сейчас производство газовых двигателей и газогенераторов организуется на заводе „Двигатель Революции" в г. Горьком.

лоценного сырья, не оплачивая его доставку на отдаленные заводы сухой перегонки, переработка этого сырья может производиться на местах получения и сбора древесины—на перевалочных и перегрузочных дворах, где собираются большие количества отходов. Так, в Ленинградском Леспромтресте имеется 12[1] двигателей внутреннего горения „Красный прогресс", работающих на нефти, из них 9 двигателей 18 л. с. и 3—12 л. с. Эти двигатели обслуживают шпалорезные станции и работы по разделке древесины балансирными и маятниковыми пилами. Не приходится доказывать, что употребление нефтяных двигателей на этих работах нецелесообразно. Действительно, Ленлеспромтрест каждый год, когда наступает время заготовки древесины, испытывает большие затруднения в получении нефти. Вместе с тем можно представить, во что обходится доставка нефти в районы лесозаготовок Ленинградской области. Конечно, замена нефтяных двигателей могла быть произведена локомобилями, но в настоящее время это едва ли возможно, так как производство локомобилей в СССР настолько незначительно, что удовлетворить всю потребность в этих установках пока еще невозможно.

Построением локомобилей занимается Мальцевский государственный завод в Людинове, который по плану второго пятилетия должен дать 4505 локомобилей. Организуемое Наркомтяжпромом производство газовых двигателей должно удовлетворить потребность в этих двигателях в первую очередь деревообрабатывающей промышленности. Имея в лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятиях газогенераторные установки, можно обработку древесины для использования в газогенераторах повести в двух направлениях: непосредственным газованием или предварительной сухой перегонкой с последующим использованием полученного угля для получения силового газа.

Древесина при нагревании до 180° с добавлением концентрированного раствора хлористого магния при давлении 5 — 6 кг/см² обугливается и гидролизуется. Такой способ[2] дает из 100 кг сосновой древесины 10,7 кг уксусно-кислой извести, так называемого серого порошка и 1,2 кг древесного спирта.

При обыкновенном обугливании древесины добывается 3,3 кг уксусного порошка и 0,73 кг древесного спирта с небольшим количеством масел. Полученный уголь представляет высокотеплотворное топливо до 6000 кал/кг.

Газогенераторный процесс на древесине может быть проведен в двух направлениях. В установках больших промышленных предприятий должен быть применен прямой процесс с смолоотделением и использованием жижки, из которой выделяются продукты сухой перегонки: метиловый спирт и уксусная кислота. Прямым процессом называется такой процесс в газогенераторе, когда газы, образующиеся в слое топлива, сгорающего над колосниковой решеткой, поднимаются вверх по газогенератору и своей теплотой производят сухую перегонку вышележащего в шахте слоя топлива. Обратный

[1] По данным за 1933—34 г.
[2] Мулерт и Дрюз. Технические газы 1934, стр. 205.

процесс происходит в газогенераторе, когда газы движутся сверху генератора вниз под колосниковую решетку, при чем горение идет в толще топлива на некоторой высоте над колосниковой решеткой, при подводе воздуха в пояс горения извне через особые штуцерные отверстия.

Обратный процесс в газогенераторе может быть применен в сравнительно небольших силовых установках без использования смолоотделения. При обратном процессе все продукты сухой перегонки сгорают в толще раскаленного топлива, вследствие чего установка упрощается и становится менее громоздкой, чем при прямом процессе.

2. Газогенераторные установки

Необходимо, хотя бы кратко, ознакомиться с существующими наиболее интересными, наиболее распространенными газогенераторами для газования древесины. Газогенераторная установка завода Дейтц типа *U* с двигателем показана на рис. 187. Этот газогенератор работает по принципу обратного процесса, газы идут в генератор сверху вниз под колосниковую решетку, затем в очистители мокрый и сухой, а оттуда в газовый сборник — уравнитель давления перед двигателем. Отдельные части установки показаны на чертеже. Газогенераторы этого типа специально предназначены для газования древесины и отходов без получения побочных продуктов.

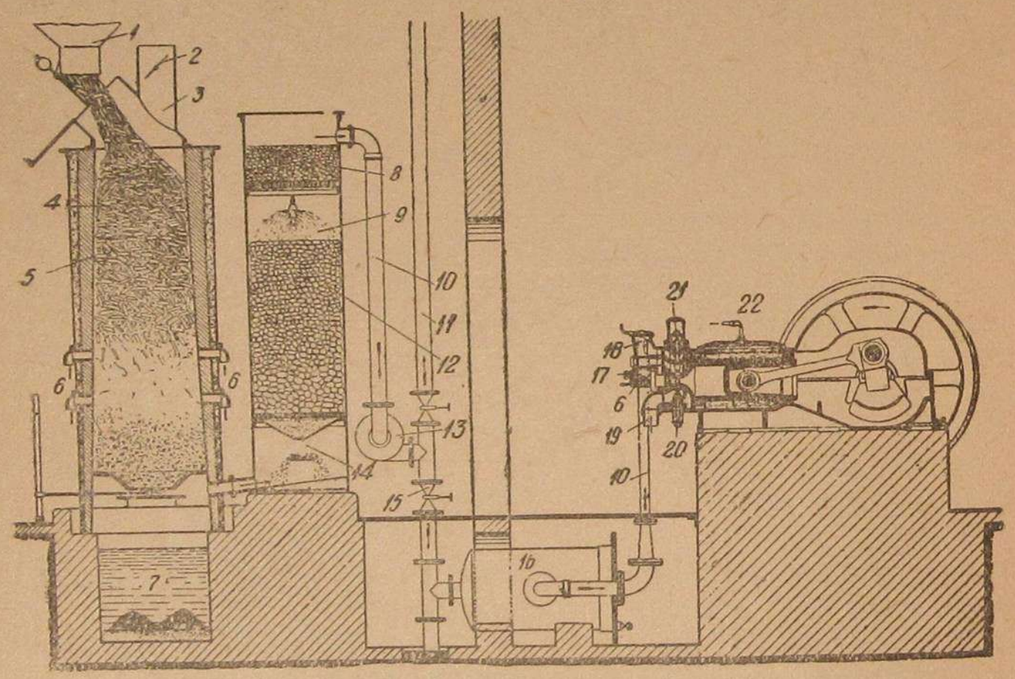


Рис. 187. Газогенераторная установка типа „*U*" завода Дейнец для древесины. Газопроизводительность от 38 до 180 м³ для двигателей от 16 до 80 л. с. *1*—питатель, *2*—заслонка, *3*—дымовая труба, *4*—древесные отходы, *5*—газогенератор, *6*—воздух, *7*—водяной затвор, *8*—сухой очиститель, *9*—ороситель, *10*—газопровод, *11*—воздухоудалитель, *12*—мокрый очиститель, *13*—газовый вентиль, *14*—пылеотделитель, *15*—задвижка, *16*—газовый бак, *17*—регулятор подачи воздуха, *18*—газ, *19*—выхлопная труба, *20*—выхлопной клапан, *21*—впускной клапан, *22*—отвод охлаждающей воды.

Получение газа происходит при засасывании потока воздуха через раскаленный слой угля, вследствие чего кислород воздуха с раскаленным углеродом топлива образует угольный ангидрид и окись углерода. Вода, содержащаяся в топливе, при высокой температуре горящего топлива разлагается на кислород и водород, при этом кислород образует с углеродом окись углерода и водород освобождается. Смолистые соединения, которые состоят из высших углеводородистых соединений и спиртов, разлагаются, переходя в низшие углеводородистые соединения; по большей части они образуют метан и выделяется водород, а освобождающийся при этом кислород соединяется с углеродом, образуя окись углерода.

Газогенераторная установка состоит из следующих частей: собственно газогенератора, мокрого очистителя с пылеуловителем и сухого очистителя. Газогенератор имеет форму цилиндрической шахтной печи из котельного железа с внутренней обмуровкой и с отверстиями в стенке цилиндрической части печи для подвода воздуха. На верху газогенератора находится питатель для подачи топлива и труба с заслонкой для отвода дымовых газов во время растопки. Рядом установлен мокрый очиститель, нижняя часть которого является пылеуловителем, а верхняя — содержит сухой очиститель. Нижняя часть мокрого очистителя соединяется с газогенератором трубой. Под газогенератором имеется решетка с приспособлением для стряхивания накапливающейся золы, которая сбрасывается в колодезь, наполненный водой, являющийся водяным затвором. В трубопровод, отводящий из очистителя газ, включен всасывающий насос, при помощи которого на решетке газогенератора раздувается огонь. При раздувании газогенератора верхний запорный вентиль у насоса-вентилятора открывается для выпуска воздуха и газов, образующихся в начале растопки в газогенераторе. После достаточной продувки газогенератора и создания удовлетворительного газообразования в газогенераторе заслонка в отводной трубе закрывается и открывается вентиль, находящийся в трубопроводе к газосборнику у двигателя. Газ засасывается в газосборник поворотом маховика двигателя. В мокром очистителе, который набивается коксом или другим каким-нибудь кусковым материалом, имеется разбрызгиватель, через который подается внутрь очистителя вода. Вода из разбрызгивателя падает на кокс и, разбиваясь на мелкие струи, течет навстречу потоку газа, проходящего между кусками кокса, что обеспечивает перемешивание, промывание и охлаждение газа водой.

Над разбрызгивателем в том же цилиндре, который впускает мокрый очиститель, имеется решетка; на нее кладется кокс, торф или опилки, задерживающие смолу и частицы ее, не отмытые промывателем. Из сухого очистителя газ идет в уравнитель давления к двигателю.

Действие этой газогенераторной установки состоит в следующем: в газогенераторе раздувается в необходимой степени процесс горения дутьем снизу. При помощи перестановки трехходового крана на воздушной трубе дутье в газогенератор производится сверху вниз, направляя газы через решетку. При помощи отверстий с штуцерными затворами можно направить воздух в различные

сечения по высоте генератора и тем самым переместить пояс горения. При осуществлении обратного процесса в газогенераторе различаются по высоте сверху вниз следующие пояса: подсушки топлива, сухой перегонки, горения и восстановления. В поясе сухой перегонки образуются пары смолы, которые при прохождении через раскаленный слой разлагаются и частично сгорают. В такой установке смолоотделитель не нужен. В процессе, происходящем после горения, образуются: водород, метан, окись углерода и угольный ангидрид. Унесенные потоками газа твердые частицы отделяются в пылеуловитель потоком разбрызгиваемой воды и газ охлаждается. В промывателе твердые частицы и смолы отмываются, а в сухом очистителе газ подсушивается. Всасывание свежего воздуха в газогенератор производится непрерывно во время работы двигателя его всасывающим ходом поршня. В газогенераторных установках, дающих газ для нагревательных устройств и топок, газ подается особым вентилятором, который засасывает газ и подает его к горелкам при соответствующем давлении.

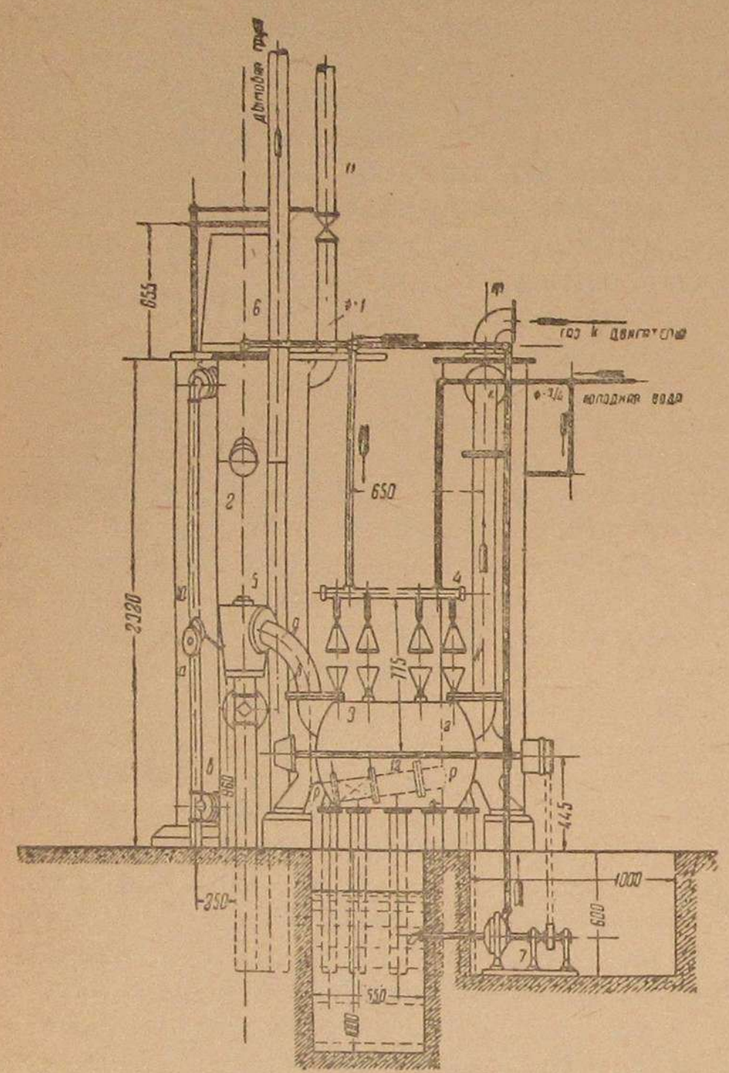


Рис. 188а. Газогенераторная установка завода „Дейтц" в Лесотехнической академии. Вид на газогенераторную установку со стороны смолоотделителя.

Получающийся из древесины газ имеет, в среднем, состав: CO_2—12%, O_2—0,5%, H_2—11,0%, CH_4—2,0%, CO—19,0%, N_2—55,5%. Конечно, состав может значительно изменяться в зависимости от свойств употребляемой древесины, а потому и теплотворность газа значительно изменяется от 900 до 1100 кал/кг².

Газогенераторная установка прямого процесса, которая может быть приспособлена и для обратного процесса, показана на рис. 188а и 188б. Установки больших мощностей с добыванием смолы и других побочных продуктов устраиваются по такому типу.

Такая установка состоит из одного или нескольких газогенераторов, пылеуловителя, смолоотделителя (рис. 189 смолоотделитель сист. Дейтц — крышка снята), промывателя, сухого очистителя, газосборника (уравнителя давления) и двигателя.

При обратном процессе пылеуловитель и промыватель отпадают, так как газ направляется непосредственно из газогенератора в промыватель по особому соединительному трубопроводу, на котором устанавливается выключающий кран для разобщения газогенератора и промывателя.

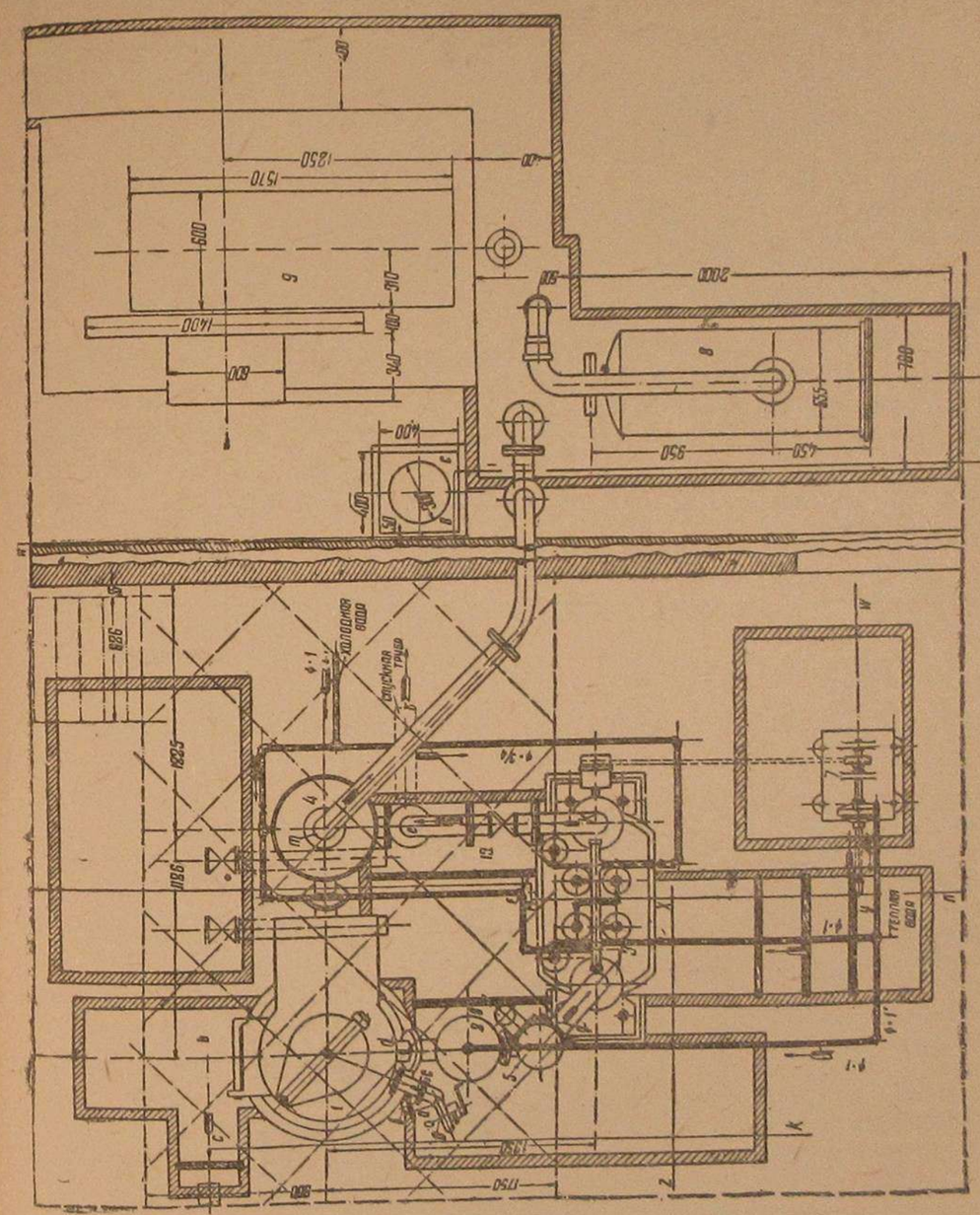


Рис. 188б. Газогенераторная установка завода „Дейтц" в Лесотехнической академии. План газогенераторной установки и подвод газа к двигателю.

При газовании в газогенераторе дров получается газ с теплотворностью: при сжигании сосновых и березовых дров с влажностью 20%—1412 кал. Сосновые дрова с влажностью 32% дают газ с теплотворностью—1124 кал.

Отходы лесосечной древесины дают газ, в среднем, 900 кал при влажности 47%, независимо от породы применяющихся отходов.

При обратном процессе в газогенераторе газ получается из отходов, вообще, беднее, чем при прямом процессе. При исследовании обратного процесса в газогенераторе получены следующие величины по опытам, произведенным в теплотехнической лаборатории ЛТА, сведенные в таблицу[1] 84.

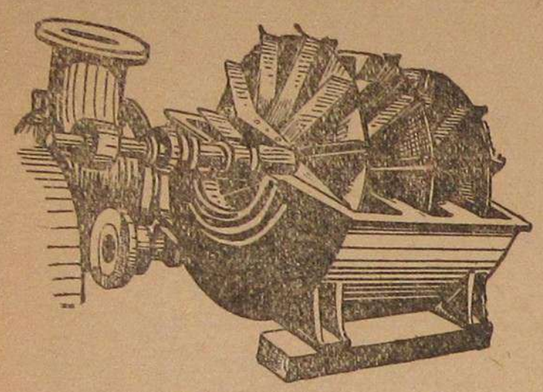


Рис. 189. Смолоотделитель завода „Дейтц" (верхняя крышка снята). Смолоотделитель гидравлический—центробежный.

В этой таблице все теплотворности газа при обратном процессе собраны в три группы:

1 группа дает среднюю теплотворность — 750 кал/м³, это меньшее значение теплотворности; 2 группа дает—850 кал/м³ Это нормальное значение теплотворности, соответствующее обратному процессу, ведущемуся при благоприятных условиях; 3-я группа дает величину теплотворности газа 980 кал/м³ на топливе, подсушенном и обогащенном предварительной обработкой и добавлением смолы.

Таблица 84

Название топлива	Теплотворность кал/м³	Влажность в проц.	Средняя величина теплотворности кал/м³
Ольховые отходы	700	36	—
Еловые „	741	50	—
Еловые „	751	50	749 —
Еловые „	765	40	750
Опилки „	767	42	—
Опилки с ольховыми отходами . . .	769	39	—
Еловые отходы	817	40	—
Ольховые отходы	850	36	847 —
Ольховые „	876	36	850
Поджар. опилки с ольховыми отходами	913	3	—
Ольховые отходы со смолой	935	36	980
Поджаренные опилки	992	3	—
Поджаренные опилки	1082	3	-

При проектировании можно руководствоваться величиной теплотворности газа от 850 до 900 кал/м³.

Для деревообрабатывающей промышленности приобретает особое значение газофикация опилок. Применяющееся сжигание опилок в топках под котлами не дает тех ценных продуктов, которыми являются продукты сухой перегонки. Для получения продуктов сухой перегонки при газофикации опилок необходимо вести в газогенераторе прямой процесс с смолоотделителем; для этого необходимо смешивать опилки с кусковыми отходами в пропорции 1 : 1.

[1] Тагеев—Газофикация отходов лесосечной и лесопильной древесины 1933 г Таблица XV, стр. 66.

На каждом лесопильном заводе кусковых отходов имеется большое количество, и использование их с опилками в газогенераторе не представляет затруднений, а для измельчения крупных отходов необходимы дробилки. При сжигании опилок в топках паровых котлов никогда не бывает сколько-нибудь удовлетворительного сгорания. Все существующие конструкции топок, даже ступенчатые, дают большой процент потерь в уносе несгоревшего топлива, которое засоряет газоходы и создает большие отложения с золой во всех углах и поворотах дымоходов. При трудности регулировать подвод воздуха в топку с плотным слоем опилок создается опасность местных взрывов.

Использование опилок и других отходов для газофикации и применение полученного газа в качестве топлива дает следующие преимущества: 1. Отсутствие золы. При сжигании топлива в котельной топке зола приплавляется к обмуровке топки и образует шлаки, которые трудно удаляются. 2. Удобство управления подводом воздуха, необходимым для горения газа, и подача его с очень малым избытком. 3. Удобство использования тепла, унесенного газами—продуктами горения, вследствие их чистоты—незагрязненности. 4. При газовом отоплении имеется возможность поддержания постоянной температуры процесса горения, вследствие чего сохраняется обмуровка газовой топки и устраняется образование в ней трещин, что часто происходит при отоплении твердым топливом, так как при шуровании и удалении шлаков с решетки топочная дверь остается открытой и в печь проникает холодный воздух.

Использование генераторного газа для двигателей, для сжигания под котлами в топках представляется выгодным, вследствие высокой полезности процесса получения механической энергии и сжигания в топках. Учитывая при этом получение побочных продуктов газования и сухой перегонки, все же необходимо иметь в виду, что такие установки выгодны только с 75—100 л. с. Мелкие установки дают мало смолы, уксусной кислоты и древесного спирта, требуя большого количества воды для промывки газа, так что получение побочных продуктов становится невыгодным. Для выгодности переработки жижки и смолы необходимо централизовать мелкие деревообрабатывающие установки.

При необходимости организовать в деревообрабатывающем производстве сушку пиломатериалов возможно использование выхлопных газов от двигателя; точно так же при использовании этих газов в котлах низкого давления возможно получение пара для технологических целей.

3. Сушка древесины генераторным газом

За последние годы выдвинута новая область применения генераторных газов — это сушка древесины генераторным газом, кото-

рый предварительно сжигается в особых топках при помощи специальных горелок, а затем продукты горения перемешиваются с воздухом для понижения температуры. Смесь продуктов горения генераторного газа с воздухом направляется в сушило. Идею применения генераторного газа для сушки древесины предложил и разработал инж. Малеев в ЦНИИМОД.

Автор сушила с применением генераторного газа так описывает предлагаемую им систему.[1] „Топливо — древесные отходы загружаются в газогенератор, полученный газ с температурой 120° поступает в промыватель, где охлаждается и отдает смолу и уксусную кислоту. Охлажденный газ по газопроводу подается с температурой 20—25° к горелкам, расположенным около каждой камеры. В этих горелках поступающий газ сгорает и подается в камеру смешения. Количество поступающего газа в горелку регулируется специальным устройством. В камере смешения к сгоревшему газу, который имеет до 1000—1200°, подмешивается наружный воздух и температура понижается до требуемой по режиму. Для увлажнения смеси газа и воздуха по режиму сушки предусматривается специальное устройство. Из камеры смешения газовоздушная смесь вентилятором, который приводится в движение мотором, по газопроводу направляется в камеру и газопроводы для двух зон. Пройдя все штабели, газовоздушная смесь направляется в сборный короб, соединенный с общей трубой для отработавшей смеси, по которой она возвращается назад к горелкам и смесительным камерам для повторного подогрева и последующей циркуляции в камере“.

Перечисляя преимущества газогенераторного сушила по сравнению с паровоздушным, автор забывает одно существенное обстоятельство, что все преимущества, отмеченные им, будут иметь значение, если все хозяйство лесопильного завода будет оборудовано газогенераторными устройствами. При наличии в большом комбинате паротурбинной установки со значительным количеством теплового отброса в виде отработавшего пара, который может быть использован для сушил, устройство особого газогенератора для сушки было бы нерационально. Поэтому этот процесс должен быть организован на основе следующих положений: 1) необходимо использование отходов деревообработки для газования в энергетических целях и 2) использование продуктов горения—выхлопных газов из двигателей для сушки древесины. Экономически было бы невыгодно делать то, что предлагает автор газогенераторного сушила: жечь генераторный силовой газ в особых камерах, не используя его энергию в двигателях, имея потребность в силовой энергии в общем производстве предприятия. Для сушила—для привода вентиляторов и обслуживания самой газогенераторной установки, которая также нуждается в вентиляторе и насосах необходима механическая энергия. Разбавление продуктов горения генераторного газа воздухом для понижения их высокой температуры при сушке без использования тепла равносильно уничтожению энергии без всякой пользы, что не может быть допущено ни в каком случае. Мысль инженера Малеева, интересная сама по себе, требует более тщательной разработки. Для

[1] Малеев и Белопольский. „Искусственная сушка дерева“, стр. 105.

сушила нужно рабочее вещество при сравнительно невысоких температурах, что может быть достигнуто, используя выхлопные газы после двигателя, работающего генераторным газом. При этом можно получить необходимое рабочее вещество при температуре 250—450°, являющееся отбросом производства энергии. Выхлопные газы можно использовать для сушила, понижая их температуру, заставляя проходить предварительно хотя бы через водогрейный котел, где теплота этих газов используется в производственных и бытовых целях.

4. Газогенераторная установка заводов „Юсна-Воксна“ (Швеция)

Вышеупомянутая газогенераторная установка в Швеции „Юсна-Воксна“[1] представляет пример образцовой организации газогенераторного теплосилового хозяйства в сложном промышленном комбинате.

Комбинат „Юсна-Воксна“ объединяет крупные деревообрабатывающие предприятия с металлургическим заводом, где печи ведутся на древесном топливе. Газогенераторная установка работает с 1916 г., в ней перерабатывается 45% опилок и 55% кусковых отходов, которые предварительно проходят через дробилку, где превращаются в дробленку величиной — 10 см.

Установка дает генераторный газ на 2200 л. с., доменный газ из двух печей для 2000 л. с. и коксовый газ на 1100 л. с. электрической мощности, которые могут быть использованы в машинах. Первая часть силовой установки состоит из 4 газогенераторов (Дейтц) и четырех двигателей по 500 л. с.

Газ, полученный в этих газогенераторах, имеет состав:

$C_n H_m$	0,8— 6,8%
H_2	5 —14 „
CO	18 —21 „
Остаток: $CO_2+O_2+N_2$	76,2—58,2 „

Теплотворность газа изменялась от 1000 до 1450 кал/м³ и, в среднем, равна 1200 кал/м³. Расход древесных отходов 2,14 кг/пол. л. с.-час. при 52% влажности, что соответствует расходу 1,44 кг/пол. л. с.-час. при 35%.

Тепловой баланс установки газового двигателя 500 л. с. представляется в следующем виде:

а) Тепловой баланс газового двигателя 500 л. с.

	в проц.
Превращено в мех. работу	26,1
„ в работу трения	3,9
Отведено тепла охлаждающей водой . . .	30,7
„ „ выхлопными газами . . .	34,7
Остаточные потери (лучеиспускание) . .	4,6
	100

[1] VDI № 31/32 1922 г.

б) Тепловой баланс газования

	в проц.
В холодном газе	59,8
В смоле	16,1
В продуктах сухой перегонки, раствор. газовой водой	5,5
Теплота газовой воды	7,8
Излучение тепла	6,3
Недожог топлива	4,5
Теплота топлива	100

Полезность, определенная по отношению к теплоте газа и смолы, 75,9%.

Полезность по отношению к использованному теплу — 81,4%.

Сложное промышленное хозяйство деревообрабатывающего и

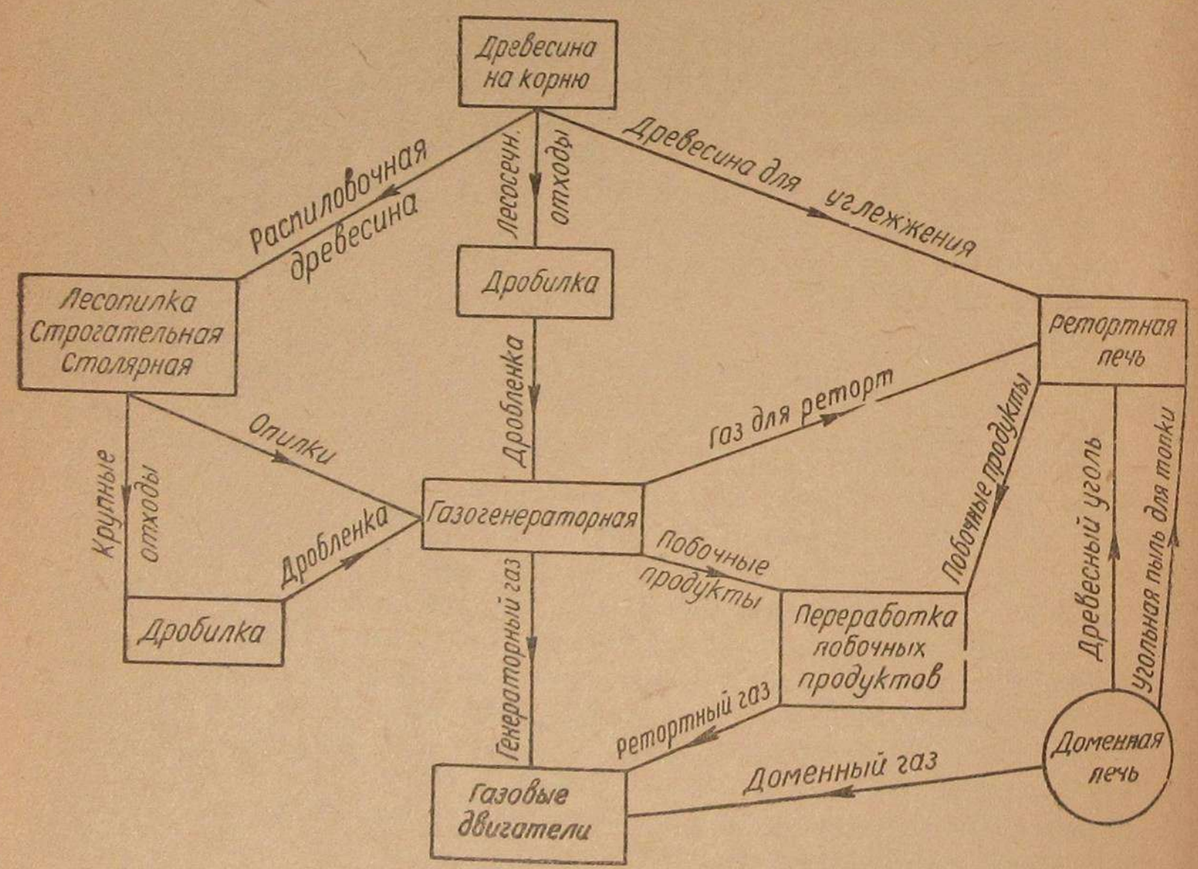


Рис. 190. Схема промышленного хозяйства завода „Юсна-Воксна" в Швеции.

металлургического комбината „Юсна-Воксна" представлено следующей схемой (рис. 190).

Из схемы видно гармоническое сочетание всех частей сложного производственного хозяйства. Древесина и железные руды — это основные элементы производства. Газогенераторы, в которых используются древесные отходы всех видов производства, — источник энергии для первичных двигателей — газовых двигателей. Тут же ведется использование побочных продуктов газогенераторного процесса и обжига угля в ретортной печи.

Тепловой баланс газогенераторной установки изображен в следующей схеме (рис. 191).

Полезно использованная теплота.

$$^{1})\,16{,}1 + {}^{2})\,5{,}5 + {}^{3})\,17{,}9 + {}^{4})\,9{,}3 = 48{,}8\%.$$

Выход смолы и ценных химических побочных продуктов составит 4,28% относительно веса влажных отходов ели. При исполь-

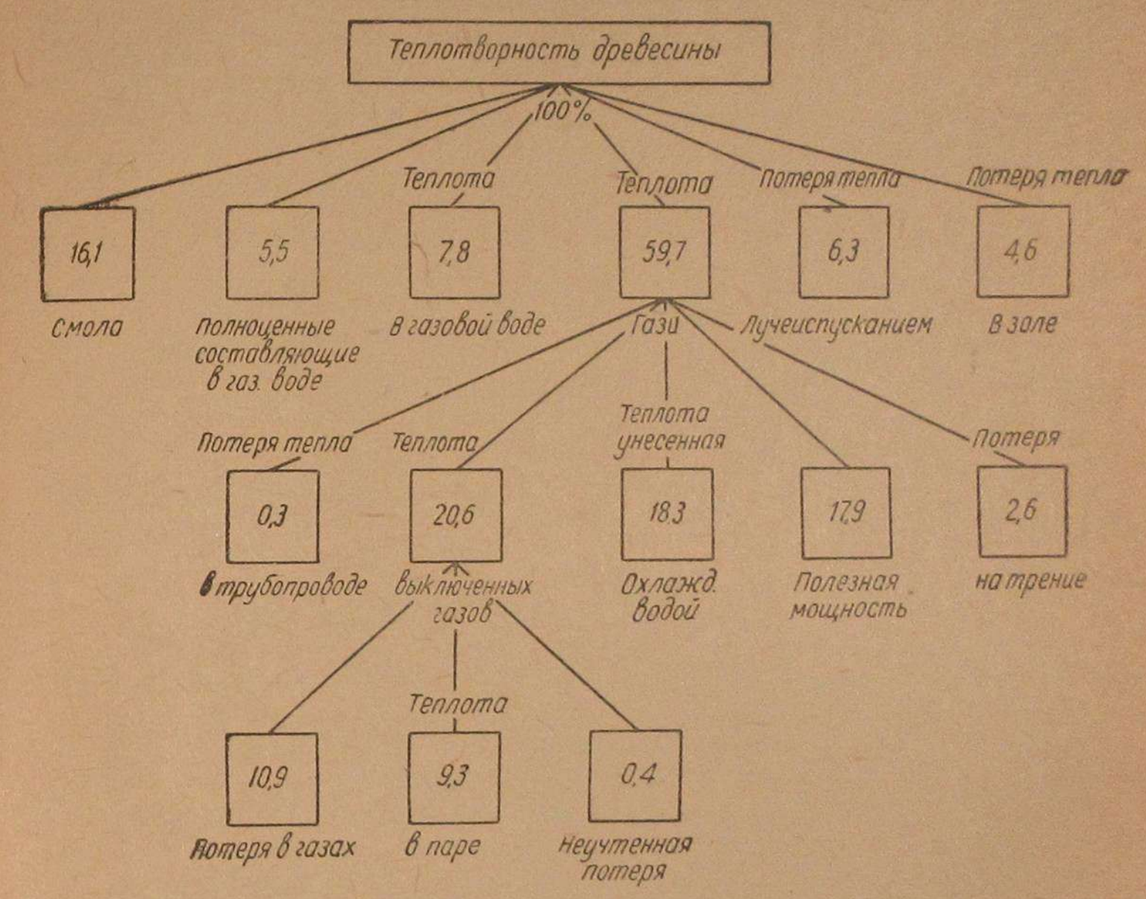


Рис. 191. Тепловой баланс газогенераторной установки с двигателями завода „Юсна-Воксна" в Швеции.

зовании сосновых отходов выход побочных продуктов на 100 кг, в среднем:

Смолы	5,4 кг	
Метилового спирта	1,44 „	при колебании от 1,14 до 1,74,
Уксусной кислоты	1,36 „	при колебании от 1,32 до 1,41
Всего	8,20 кг.	

Итак, в установке завода „Юсна-Воксна" при полном выходе ценных химических продуктов необходимо считать полезно использованной теплоту не только ту, которая затрачена на механическую энергию и пар, применяемый для отопления, но и на получение побочных продуктов.

Установка на заводе „Юсна-Воксна“ для деревообрабатывающей промышленности (в связи с доменным цехом) должна быть отнесена к разряду крупных, и выгодность применения силовой газогенераторной установки с получением побочных продуктов не требует дальнейших доказательств. Следующий пример сравнительно малой силовой газогенераторной установки в 130 л. с. на лесопильном заводе в Динглингене (Германия) показывает, что даже в такой сравнительно малой установке использование побочных отходов выгодно.

Лесопильный завод в Динглингене имеет 4 рамы, круглую и ленточную пилы и строгательный станок; вырабатывает в год 2000 м³ плотной древесины. Для привода лесопильных поставов и столярно-строгального оборудования служит газовый двигатель в 130 л. с., нагруженный на 100 л. с. В день расходуется 700 кг опилок и 700 кг отходов. При 8 часах работы в день — расход топлива $\frac{1.400}{8.100} = 1{,}75$ кг/пол. л. с.-час. при полной нагрузке 1,5 кг/пол. л. с.-час.

Выход смол в этой установке — 2% по весу топлива.

Стоимость смолы в Германии по ценам 1922 г. 2,5 мрк. 1 кг, так что на каждый килограмм топлива экономии: $0{,}02 \cdot 2{,}5 = 0{,}05$ или 5 пф. Стоимость опилок 5 пф. 1 кг, а крупных отходов 20 пф. 1 кг, в среднем, стоимость 1 кг отходов 12,5 пф.

При использовании отходов в газогенераторной установке стоимость энергии:

$$1{,}75 \cdot 12{,}5 - 1{,}75 \cdot 5 = 13{,}12 \text{ пф./1 пол. л. с.-час.}$$

Тогда как использование тех же отходов в локомобиле дает стоимость энергии: $4 \cdot 12{,}5 = 50$ пф./1 пол. л. с.-час.

Для улучшения использования тепла в газогенераторной установке с двигателем к выхлопной трубе двигателя присоединяется котел, где выхлопные газы отдают свое тепло воде, которая может быть нагрета до определенной температуры, или же в нем будет происходить парообразование. В котле для выхлопных газов их температура может быть снижена с 350—400° до 150°, т. е. их теплота может быть использована на 55 до 65%, но, принимая во внимание потери тепла в котле, — в среднем, 10,5%, из теплоты, унесенной выхлопными газами, которая равна 20,6% всего количества тепла, используется еще 10,2%.

Общая полезность установки газогенератора с двигателем возрастает с 48,8% до 59% всего тепла, заключенного в топливе.

Теплосодержание отработавших газов на 1 л. с.-час составляет 700 кал, из них полезно используется при охлаждении с 400° до 150° 347 кал/л. с. Теплота охлаждающей воды составляет, в среднем, 720 кал/л. с. Охлажденная вода вытекает из рубашки двигателя при температуре 80°, она может быть подогрета выхлопными газами до 100°, для чего понадобится не более половины их тепла; но вместе с тем, остаточное тепло выхлопных газов может быть затрачено на подогрев холодной воды до 100°. При охлаждении всей нагретой воды в приборах отопления до 40° можно использовать еще 568 кал./л. с. Но при оборотном охлаждении, после использования

теплоты охлаждающей воды, которая поступает в двигатель при 80°, можно повысить количество полезно используемого тепла из охлаждающей воды до 750 кал./л. с.

5. Общесоюзный стандарт газовых двигателей

К настоящей главе прилагаются общесоюзные стандарты газовых двигателей, утвержденные ВКС при СТО 2 июля 1934 г. Стандарты устанавливаются для двигателей, работающих на генераторном газе и на природном газе.

Из рассмотрения стандартов видно, что мощности двигателей приспособлены для самых широких потребностей хозяйства СССР; начиная с самого малого производителя — небольшого колхоза и небольших артельных предприятий до самых крупных советских хозяйств и промышленных предприятий. Мощность двигателей, работающих на генераторном газе, изменяется от 10 пол. л. с. в одном цилиндре до 200 пол. л. с., при чем возможно соединение 6 цилиндров с наибольшей мощностью в 1200 пол. л. с. Двигатели для природного газа с мощностью на один цилиндр от 14 до 265 пол. л. с. при соединении 6 цилиндров наибольшая мощность двигателя будет 1600 пол. л. с. Было бы совершенно необходимо, чтобы при проектировании двигателей, работающих на генераторном газе, была бы предусмотрена возможность повышения сжатия для возможности использовать в газовых двигателях, которые будут строиться в СССР, генераторный газ, получаемый из различных отходов, в первую очередь отходов деревообработки. В такой приспособленности двигателей, которые будут строиться по опубликованным стандартам, заинтересована вся деревообрабатывающая промышленность и ряд производств, связанных с переработкой древесины. Без преувеличения можно сказать, что все области с высокоразвитой и развивающейся лесной промышленностью, где отходы будут использованы для энергетических целей и других производств деревообработки и переработки, а также значительные сельскохозяйственные районы для технической переработки продуктов сельского хозяйства захотят воспользоваться двигателями, работающими на генераторном газе из отходов лесосечной и лесопильной древесины и растительных отходов сельского хозяйства.

А. Определение

Настоящий стандарт распространяется на четырехтактные, тронковые, газовые двигатели малых и средних мощностей от 10 до 265 пол. л. с. картерного типа с вертикальным расположением цилиндров.

Б. Классификация

Газовые двигатели по роду применяемого топлива подразделяются на:

I. Двигатели, работающие на генераторном газе.

II. Двигатели, работающие на природном газе.

1. Отношение хода поршня к диаметру цилиндра—1,25—1,65.
2. Средние скорости поршня не ниже—5,0 м/сек.
3. Средние эффективные давления:
а) для двигателей на природном газе не ниже—5,0 кг/см²,
б) для двигателей на генераторном газе не ниже—3,5 кг/см².
4. Степени сжатия:
а) для двигателей на природном газе не ниже—4,5,
б) для двигателей на генераторном газе не ниже—7,0.
5. Удельный вес двигателей:
а) на природном газе не свыше—75 кг/э. л. с.
б) на генераторном газе не свыше—100 кг/э. л. с.

Примечания. 1. Удельный вес относится к сухому двигателю без маховика, без приставного вала, без баллонов, без глушителя, но с трубопроводами в пределах двигателя и с механизмами, обеспечивающими нормальную работу двигателя.

2. Под сухим двигателем понимается двигатель, не заправленный маслом и водой.

6. Двигатели типов 1 и 2 выполняются только как газовые двигатели.

7. Для двигателей всех остальных типов используются конструкции типового ряда четырехтактных двигателей Дизеля простого действия (по ОСТ/ВКС 7106).

8. Все мощности двигателей указаны без наддува. Для всех двигателей может быть применен наддув с соответствующим увеличением мощности.

9. По договоренности потребителя с поставщиком допускается изменение мощности двигателя путем повышения или понижения числа оборотов в пределах +15% от основного.

В. Маркировка

Каждому стандартному типу газовых двигателей присваивается марка, определяющая основные конструктивные признаки данного типа.

Марка составляется из следующих условных обозначений:

1. В —двигатель вертикальный.
2. Н — „ с наддувом.
3. $\frac{D}{S} = \frac{\text{диаметр цилиндра в см}}{\text{ход поршня в см}}$.
4. Первая цифра марки указывает число цилиндров двигателя.
5. Последняя цифра марки указывает номер типа двигателя по разделу В настоящего стандарта.

Пример 1. Марка 3—В, $\frac{D}{S}$, +5 (ОСТ/ВКС 7107) означает: трехцилиндровый, вертикальный, тронковый двигатель с диаметром цилиндра D см, ходом поршня S см. Номер типа—5.

Пример 2. Марка 2—ВН $\frac{D}{S}$, 1 (ОСТ/ВКС 7107) означает: двухцилиндровый, вертикальный, тронковый двигатель с наддувом, с диаметром цилиндра D см, ходом поршня S см, номер типа—1.

Таблица 85

Основные параметры

I. Двигатели на генераторном газе

№№ типов	Внесен Главмашпром НКТП: Число оборотов в минуту	Внесен Главмашпром НКТП: Мощность в 1 цил. в л. с.	Утвержден ВКС при СТО 2 июля 1934 г.: Число цилиндров 1	2	3	4	Срок введения для нового проектирования 1 октября 1934 г: 6
			мощность в агрегате в э. л. с.				
1	750	10	10	20	30	—	—
2	650	15	15	30	45	60	—
3	450	28	—	56	85	112	—
4	375	45	—	90	135	180	270
5	300	63	—	—	190	250	375
6	250	95	—	—	—	380	570
7	187	200	—	—	—	800	1200

II. Двигатели на природном газе

1	750	14	14	28	42	—	—
2	650	20	20	40	60	80	—
3	450	37,5	—	75	110	150	—
4	375	60	—	120	180	240	360
5	300	85	—	—	255	340	500
6	250	125	—	—	—	500	750
7	187	265	—	—	—	1060	1600

6. Трубопроводы для силового газа

Применение газогенераторов в деревообрабатывающей промышленности даст возможность обслуживать дешевым источником энергии—генераторным газом—ряд предприятий, которые будут концентрироваться около основного предприятия, с наибольшим количеством отходов лесопильного завода, который дает им сырье—пиломатериалы. Центральная газогенераторная установка, в которой используются отходы деревообработки, даст газ, который будет подан по трубам в газовые двигатели, обслуживающие механические цехи сложного деревообрабатывающего предприятия.

При внедрении газогенераторов в деревообрабатывающую промышленность использование отходов деревообработки станет экономически выгодным только при сосредоточении этого дела в одной установке крупных размеров, так как только тогда возможно полное использование побочных продуктов газофикации. В установке газогенераторов крупных размеров выход уксусной кислоты и смолы становится количественно значительным и приобретает серьезное значение.

Генераторный газ после прохода через систему очистителей подводится к двигателям или в топки котлов с небольшим повы-

шением давления, по сварным или клепаным трубопроводам из стальных листов с плотным швом. Соединение труб производится свободно насаженными фланцами, которые упираются в отогнутые края трубы или в наклепанные кольца. Для труб малых диаметров навариваются на концы труб кромки и затем соединяются свободными фланцами. Соединения труб уплотняют при горячих газах асбеститом, а при холодных газах — паклей, пропитанной маслом.

Фасонные части изготовляются литыми из стали. Для поглощения удлинения труб при нагревании применяют чечевице-образные уравнители и при больших диаметрах—тарелочные уравнители. В газопровод должен быть включен газометр для поддержания постоянного давления в всасывающем трубопроводе, а перед двигателем должен быть установлен газосборник для того, чтобы неравномерность в расходе газа не вызывала больших колебаний в двигателе.

Газопровод должен быть снабжен воздухоотводом, чтобы перед пуском машины можно было вытеснить воздух, находящийся в газопроводе. Как бы хорошо ни была устроена промывка газа, все же газ содержит некоторые загрязняющие частицы, главным образом, смолы, которые во время действия машины отлагаются на стенках трубопровода и образуют плотный налет. Для удаления загрязняющих трубопроводы налетов и скоплений частиц золы, которые также отлагаются в местах изменения скорости газа—коленах и поворотах, необходимо в этих местах устроить лючки, через которые можно чистить трубопроводы. Для расчета газопроводов скорость газа принимают 35 м/сек. Все газопроводы должны быть снабжены предохранительными приспособлениями, так как при пуске двигателя в ход при наличии воздуха возможны взрывы газа. В трубопроводах воздуха скорость принимают 20 м/ сек. Запорными приспособлениями в газовых трубопроводах применяются чугунные задвижки со шпинделем кованого железа или поворотные чугунные краны. Выхлопные газопроводы рассчитываются по скорости газа 25 м/сек. Так как выхлопные газы из двигателей имеют высокую температуру, то экономически вполне выгодно использовать теплоту газов для парообразования или подогрева воды в котлах повышенного или низкого давления. Отводной паропровод должен быть выполнен надлежащим образом, так как в нем, помимо механических напряжений, имеются еще и тепловые напряжения.

Для поглощения удлинения в газопровод вставляется чечевицеобразный уравнитель, у которого волны покрыты асбестом или шлаковой шерстью; при чем необходимо предохранить газовый двигатель от вредного действия напряжений, возникающих в выхлопном трубопроводе. Отдельные части выхлопного газопровода соединяются так же, как в подводящем газопроводе. В конец выхлопного трубопровода ставится глушитель, для малых двигателей—чугунный, а для больших—железный клепаный. В нижней части глушителя ставится отводная трубка для спуска воды, которая выделяется из выхлопных газов при их остывании в выхлопном трубопроводе.

XXVI. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

При проектировании теплосиловой установки для деревообрабатывающего предприятия выбор двигателя обусловливается экономичностью и надежностью его действия, рассматривая совместно снабжение предприятия силовой и тепловой энергией для производственного процесса при возможно большем снижении прямых и косвенных расходов. При разнообразии двигателей равной производительности и при одинаковом качестве их выполнения правильность выбора двигателя является сложной задачей, от правильного разрешения которой зависит общая доходность предприятия. При выборе двигателя, прежде всего, должна быть оценена его надежность, так как длительный простой предприятия, вследствие какой-нибудь аварии его, может причинить значительные убытки и вред общегосударственного значения.

Для выбора новой теплосиловой установки необходимо сопоставить всю совокупность ежегодных эксплоатационных расходов, определяющихся сравниваемыми двигателями, которые предположено ставить в новом предприятии.

Прежде всего необходимо установить величину продолжительности и последовательность распределения механической и тепловой нагрузки силовой станции в данном предприятии. Устанавливая средние значения нагрузки, необходимо точно определить пределы изменения нагрузки от наибольшего до наименьшего значения, так как от этих колебаний зависят эксплоатационные расходы различных двигателей.

Распределение силовой и тепловой энергии в предприятии устанавливается по потреблении этих видов энергии отдельными цехами и по отдельным видам производственного процесса и в зависимости от климатических условий. Для полной оценки того или другого вида двигателя необходимо исчислить капитальные затраты, связанные с установкой сравниваемых типов двигателей.

Первоначальные затраты слагаются из расходов на все устройства, составляющие теплосиловую установку, с теми зданиями и вспомогательными устройствами, которые необходимы для приведения в действие и обслуживание установки. При выборе паросиловой установки начальные затраты слагаются из стоимости котельной, парового котла с насосами, дымовой трубой, тяговыми устройствами, паро- и водопроводами, топливоподачей и золоудалительными устройствами, установки паровой машины или турбины с холодильником с устройствами для смазки и т. п.

При вычислении эксплоатационных расходов необходимо учесть расходы на топливо, на уход за установкой и ее содержание в исправности: на ремонт, смазку и обтирку, на очистку и подготовку воды для питания котлов.

Исходя из этих подсчетов, можно установить стоимость единицы энергии (1 л. с.-час или 1 квт-час) и единицы тепла для теплового использования.

На основе определенной стоимости энергии и пределов потребления энергии производится выбор наиболее пригодного типа двигателя, устанавливая, вместе с тем, необходимую мощность.

Таблица 86

Давление пара при впуске кг/см² абс.	16			20			25						30					
Температура пара при впуске Ц	350			350			350			400			350			400		
Противодавление кг/см² абс.	2	3		2	3		2	3		2	3		2	3		2	3	
Поршневая паровая машина	6,78	7,9		6,4	7,27	11,8	6,8	9,9	11,3	6,8	7,6	10,4	6,8	7,4	11,3	6,8	9,12	13,65
Паровая турбина	8,1	9,5		7,7	8,9	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Давление пара при впуске кг/см² абс.	30																	
Температура пара при впуске Ц	400			350			400			350			400			350		
Противодавление кг/см² абс.	2	3		2	3		2	3		2	3		2	3		2	3	
Поршневая паровая машина	6,8	7,6	11,3	6,8	9,12	15,5	6,8	7,4	10,4	6,1	13,65	—	6,1	9,12	14,5	—	10,4	15,5
Паровая турбина	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Установление стоимости энергии и экономичности двигателя не дают еще окончательного решения вопроса о выборе его.

Весьма существенны вопросы технических свойств двигателя.

Для устройства теплосиловой установки деревообрабатывающего предприятия необходимо решить вопрос о выборе двигателя: паровой машины или паровой турбины. В скором времени выдвинется конкурент паровым двигателям—газовый двигатель, который даст возможность рационально использовать отходы деревообрабатывающей промышленности с получением из них побочных продуктов.

Прежде всего для выбора двигателя нужно установить необходимое количество силового пара и количество пара для технологических нужд, а вместе с тем определить соотношение долей пара той и другой категорий при всех изменениях производственного процесса. Наиболее выгодным для организации теплосилового хозяйства было бы равенство количеств пара, идущих на технологические и энергетические нужды предприятия. В этом случае машина-двигатель даст все необходимое количество энергии, работая с противодавлением.

Колебания в расходе пара, связанные с изменениями в расходе энергии или технологического пара, будут выравнены регуляторами скорости и давления. Мощность двигателя устанавливается регулятором скорости в соответствии с нагрузкой.

Пар, необходимый для технологических нужд деревообрабатывающего предприятия, поступает через паровой двигатель в сеть противодавления. Изменения подачи технологического пара производится регулятором давления, который сохраняет постоянство давления в производственной сети. Недостаток пара, поступающего из двигателя для производства, покрывается автоматической подачей из главного паропровода. При избытке технологического пара он передается в теплобиратель, а из теплосборателя пар может быть подан в технологическую сеть паропроводов при недостатке пара в производстве.

В деревообрабатывающих производствах соотношение количеств пара, идущих на нагрев, сушку, варку и другие технологические нужды и на производство энергии, изменяется в широких пределах, в зависимости от требований технологического процесса типа паросиловой установки: от давления и температуры пара. Количества отборного пара и энергетического пара также изменяются: необходимо еще заметить, что пар, расходуемый на отопление зимой, летом не используется вовсе.

Решая вопрос о выборе между паровой машиной и турбиной, необходимо установить предел применения этих машин. Паровые машины с охлаждением экономически выгодны до мощности в 700—800 л. с. и 1000 л. с. с отбором пара при давлении 3 кг/см² абс.

Таблица 87 дает расход пара паровой машиной и турбиной в 1000 пол. л. с. с отбором.

Таблица 87

Пар при впуске	16 кг/см² абс. 350°		20 кг/см² абс. 350°	
Отбор пара 3 кг/см² абс. кг/час	2500	5000	2500	5000
Расход пара кг/пол. л. с.-час				
Поршневая паровая машина	5,5	6,5	5	6,15
Паровые турбины	6,15	8,05	6,1	7,6
Превышение расхода пара в турбине в процентах	12	23	22	7

Из таблицы видно, что расход пара в турбине превышает расход в машине на 7—23%.

При повышении давления пара при впуске и противодавления в машинах с мощностью в 1000 л. с. расход пара в турбинах возрастает еще более. В таблице 86 даны расходы пара в паровых машинах и турбинах при различных параметрах впуска и различных противодавлениях.

Из сопоставления значений расхода пара по этой таблице видно, что расходы пара у турбин до 1000 л. с. выше, чем у паровых машин. В деревообрабатывающих предприятиях, использующих большие количества технологического пара и расходующих электрическую энергию для мощностей в вышеуказанных пределах, следует отдать преимущество паровым машинам. Согласуя расход пара на технологические нужды производства с размерами установки котлов и машин, производство можно повести так, что силовая энергия будет получена весьма дешево. Установка паровой машины с отбором или противодавлением при мощностях до 1000 л. с. при обычных давлениях пара до 16—25 кг/см решает этот вопрос вполне удовлетворительно.

Присоединение к сети районной силовой станции является простым решением, требующим затраты меньших средств, чем устройство своей установки. Однако, получение энергии со стороны

в конечном счете обойдется дороже, так как при большом расходе пара на технологические нужды в случае наличия своей установки энергия явится результатом использования тепла, как отброс, и никогда районная станция не даст энергии дешевле, чем это будет при своей установке.

В производствах, требующих одновременно больших количеств пара и энергии—в деревообработке для сушил, в бумажном и целлулозном производствах и фанерном производстве, — вопрос о собственной теплосиловой станции приобретает особое значение, так как для этих отраслей лесопромышленности снабжение теплом не менее важно, чем снабжение энергией. В установках небольшой мощности паровые машины работают выгоднее паровых турбин, как и было показано выше. При одинаковом перепаде давлений и одинаковом количестве израсходованного тепла паровая машина дает на 30% больше мощности, чем паровая турбина. Это объясняется тем, что при работе с противодавлением потери в зазорах у паровых турбин возрастают. И, кроме того, паровая машина имеет еще одно весьма существенное преимущество перед паровой турбиной, заключающееся в том, что при меняющейся нагрузке расход пара на единицу мощности изменяется незначительно, чего нет у паровых турбин. Большие затраты на установку паровой машины покрываются повышенной мощностью, которую развивает паровая машина при том же расходе, как и у паровой турбины в пределах небольших мощностей до 1000 л. с. Однако, отработавший пар паровых машин загрязнен маслом и при пропуске его в паропроводы для использования в технических целях должен быть очищен от масла.

Для установки малой турбины с генератором необходима небольшая площадь, а потому на станции всегда можно найти подходящее место даже при стесненных условиях. При всяких обстоятельствах необходимо избегать подачи пара в паропроводную сеть для производственных нужд при помощи редукционных клапанов, так как этот способ приспособления пара из котла к требованиям производства по существу является нерациональным использованием энергии, к которому нельзя прибегать.

Паровая турбина малой мощности является редукционным клапаном, дающим пар необходимого давления для производства, а вместе с тем и электрическую энергию. В условиях деревообрабатывающей промышленности, которая требует больших количеств пара и в некоторых ее отраслях сравнительно небольших количеств энергии, необходимо всякий раз тщательно взвесить вопрос об источнике энергии. Следует ли включиться в сеть центральной районной станции и ставить котел низкого давления для технологического пара, используя невыгодно топливо, или же ставить свою силовую установку с использованием отработавшего пара, которая даст значительную экономию в топливе. Это предоставит возможность развивать мощность своей установки, одновременно понижая стоимость энергии за счет использования технологического пара. И если, при включении в сеть районной станции, капитальные затраты будут меньше, то в дальнейшем расход на используемую энергию будет больше, а, следовательно, высокая стоимость технологического пара ляжет значительным накладным расходом на производство.

Для установок паровых машин употребляются следующие типы машин: паровые машины с охлаждением применяются в малых и средних установках и низких давлениях до 12 кг/см² и выполняются в один цилиндр. Но для больших установок большой мощности паровые машины применяются, как сдвоенные машины, или двойного расширения без промежуточного отбора или с таковым. Холодильное устройство при одноцилиндровых машинах увеличивает полезность машины на 20% против полезности машины, работающей на воздух, а у машин двойного расширения на 25—30%. Машины таких типов работают летом с холодильником, а зимой—с использованием пара для производства.

В настоящее время паровые машины строятся с выпуском из одной стороны цилиндра с противодавлением или на выхлоп, а с другой—с выпуском в холодильник. Использование пара для нагрева питательной воды для котлов, вакуумотопления и подогрева воздуха теплотой отработавшего пара вполне возможно при таких условиях. При паровой машине должен быть установлен холодильник, если не менее 30% отработавшего пара будет использовано в течение длительного времени.

Машины с холодильниками работают экономически выгодно только до 500—600 л. с., но в установках, где требуется пар для технологических целей их не следует ставить, так как пришлось бы одновременно пользоваться паром из котлов, понижая его давление мятием, что недопустимо по экономическим соображениям. Установка паровой машины с холодильником возможна там, где использование отработавшего пара незначительно.

Выбор одноцилиндровой машины был бы нерациональным, так как в такой машине полезность работы с охлаждением была бы весьма мала. Осложнение одноцилиндровой машины установкой холодильника при небольшой мощности не оказалось бы экономически выгодным. Машина двойного расширения с холодильником может быть поставлена там, где имеется необходимость в отоплении или в подогретой воде для производственных нужд. Для использования тепла выхлопного пара машины, работающей на холодильник, следует присоединить к ней поверхностный холодильник.

Охлаждающая вода поверхностного холодильника при 60—65° может быть использована без подогрева для водяного отопительного устройства при температуре наружного воздуха не ниже 5°, а при 58—не ниже 0°, так что тепло воды из конденсационной установки может послужить добавочным нагревательным средством в отопительных установках или в тех отраслях производства, где не требуется высокой температуры нагрева в производственных помещениях, как, например, в лесопильных заводах. Но возможен подогрев охлаждающей воды из холодильника теплом отходящих газов, повышая ее до 50—60°, которая может быть использована для различных производственных или бытовых целей.

Паровые машины простого действия все же могут найти применение в качестве машин с противодавлением при бумагоделе-

Таблица 88

Располагаемая мощность из 1000 кг пара-час

Давление при впуске	12 кг/см² м			15 кг/см² м			20 кг/см² м			25 кг/см² м			30 кг/см² м		
Температура при впуске	300°			310°			330°			340°			350°		
Противодавление . . . кг/см² м	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	3
Тепловой перепад . . . кол.	105	93	76	114	103	86	128	116	100	139	128	111	146	134	118	106
Расход пара пол. л. с.-час. . .	6,7	7,55	9,25	6,15	6,8	8,2	5,5	6,05	7	5,05	5,5	6,35	4,8	5,25	5,95	6,63
Индикаторная мощность пол. л. с.	149	132	108	162	147	122	182	165	143	198	182	158	208	190	168	151
Полезная мощн. пол. л. с. . .	134	119	97	146	132	110	164	150	129	178	164	142	187	171	151	136
Мощность на зажимах генератора квт.	89	79	65	98	88	73	110	100	86	118	110	95	125	114	101	90

тельных машинах или на небольших временных лесопильных заводах.

Паровая машина, работающая с противодавлением или с односторонним выхлопом, может быть выполнена одноцилиндровой или сдвоенной. Такой тип машины может быть применен там, где весь отработавший пар используется для отопления или производства. Возможно применение машин такого типа в том случае, если нагрузка соответствует потребности в отработавшем паре или избыточный пар перепускается в теплособиратель. Машина с односторонним выпуском пара работает экономично при свободном выхлопе 34—40% пара, при чем 50% пара при противодавлении 1 кг/см² или 55—60% при 2 кг/см² отработавшего пара используется для отопления или на производстве.

Две машины простого действия с различными давлениями свежего пара могут быть соединены для общей передачи на один коленчатый вал. Одна машина будет работать с передачей пара в сеть противодавления, а другая—как конденсационная. Такое соединение двух машин может быть выполнено в виде однокривошипной машины, при чем цилиндр машины с холодильником должен быть поставлен ближе к коленчатому валу и подача пара в него регулируется скоростным регулятором, а в цилиндр машины с противодавлением регулятором давления. Такие машины могут быть установлены на лесопильных заводах. Паровая машина с холодильником будет развивать основную мощность, покрывающую главную нагрузку, а другой цилиндр будет принимать на себя избыточную нагрузку и давать производственный пар. Машина с промежуточным отбором допускает изменение количества отбираемого пара в широких пределах, если отбора нет, то машина работает с выпуском в холодильник. Машина двойного расширения может быть выполнена, как однокривошипная машина с расположением цилиндра низкого давления ближе к кривошипу. Использование отработавшего пара осуществляется отбором и противодавлением. Пар поступает в цилиндр высокого давления с давлением, например, 30 кг/см² абс. и 350° и в нем расширяется до 8 кг/см² абс. При таком давлении отводится для производственных нужд целлюлозно-бумажного производства или фанерного производства, а остающаяся часть расширяется в цилиндре низкого давления до противодавления 3—3,5² кг/см² абс. и далее поступает в паропроводы для сушки.

Иногда машины двойного расширения строятся по типу двухкривошипных машин, при чем пар отбирается для нагревания из

Рис. 192. Диаграмма расхода тепла в паровой машине 180 л. с. с выпуском пара на выхлоп без использования отработавшего пара.

a—потери в котле—25%, *b*—прочие потери—5% (10%) *c*—теплота, превращенная в работу—9% (10%) *d*—теплота, содержащаяся в отработавшем паре—61% (50%).

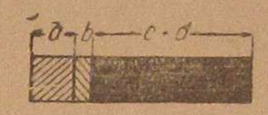


Рис. 193. Диграмма расхода тепла в паровой машине 180 л. с. с использованием отработавшего пара.

c и *d*—количество кал, превращенное в работу и тепло—70% (65%). В равномощной машине двойного расширения с холодильником соответствующие величины показаны в скобках.

$L = 1\,062\,000$ кал у машины с выхлопом и 945 000 кал у машины двойного расширения.

промежуточного приемника в количестве до 50—60% всего пара, а остаток расширяется в цилиндре низкого давления до давления в холодильнике 0,20—0,15 кг/см² абс. Имеются установки паровых машин, в которых машина двойного расширения однокривошипного типа с промежуточным отбором и с холодильником соединяется с машиной простого расширения так, что обе работают на один вал. Из машины двойного расширения пар отбирается при давлении 3 кг/см² абс. для сушил, а машина простого расширения работает с противодавлением 7—8 кг/см² абс., и пар используется для варочных котлов.

При наличии на фабрике старой паровой машины двойного расширения с промежуточным отбором и с холодильником, работающей с давлением от 13 кг/см² абс. и до 0,15 кг/см² абс. в холодильнике, которая не удовлетворяет потребности в энергии, для улучшения установки необходимо перейти на более высокое давление и поставить котел на давление в 40—50 кг/см² абс. при 350° с паровой машиной, которая должна быть включена перед старой машиной. Такая машина называется „предвключенной"; она будет работать паром при перепаде давлений от 40—50 до 13 кг/см² абс., а затем пар перейдет в старую машину, где и будет работать при

прежних условиях; но иногда для повышения качества пара при переходе из предвключенной машины в старую, так как давление выпуска может понизиться, следует устроить промежуточный перегрев.

При необходимости иметь на фабрике или в комбинате большую мощность свыше 2500—3000 л. с. следует остановить выбор на паровой турбине, как работающей при существующих ходовых давлениях выпуска более экономично, чем паровая машина.

При сопоставлении паровой машины и паровой турбины необходимо иметь в виду, что при получении силовой энергии в первой использование теплоты топлива имеет крайне низкую полезность от 6 до 18%. Остаток приходится на потери в котле, в уходящих газах, в холодильнике на излучение, наибольшая доля потерь приходится на тепловой отброс. На рис. 192 показано распределение тепла в паровой машине 180 л. с., работающей на выхлоп: на получение энергии расходуется только 9% теплотворности топлива, а в отработавшем паре остается 61%.

302 000 кал.

Рис. 194. Распределение тепла в дизель-двигателе. *a* — количество кал. превращенное в работу—37,7%, *b*—теплота унесенная охлаждающей водой, в выхлопных газах и другие потери 62,3%.

Значения, показанные в скобках, относятся к машине двойного расширения с холодильником. При полном использовании теплового отброса тепловая полезность машины возрастает с 9% до 70% или с 15% до 65% (рис. 193). На рис. 194 показано распределение тепла в двигателе Дизеля соответствующей мощности.

Экономическая полезность установки паровой машины зависит от правильного выбора давления в котле, перегрева, давления, отбора пара и противодавления.

Таблица 88 и рис. 195 показывают, что для повышения экономичности работы машины следует выбирать не высокое противодавление. Там же показана та мощность, которая может быть получена при расходе пара 1000 кг/час. при начальных давлениях 12 до 30 кг/см² и при различных противодавлениях.

Сравнение выгодности работы различных машин двигателей может быть проведено расходом тепла на полезную лошадиную силу-час. 1 инд. лош. сил.-час соответствует 632 кал, а 1 пол. л. с.-час—725 кал, так что расход тепла на 1 пол. лош. с.-час по данным завода M.A.N.:

1. Электродвигатель при передаче на расстоянии	4 350	кал.
2. Паровая турбина (15 000 пол. л. с.) с конденсацией	3 600	„
3. Газовая машина без использования теплового отброса	2 820	„
4. То же, но с использованием теплосилового отброса	2 295	„
5. Дизель двигатель без использования теплового отброса	1 850	„
6. Паровая машина с отбором ½ пара	3 200	„
7. „ „ „ ¾ „	2 200	„
8. „ „ с полным использованием отработавшего пара	970	„

Эти величины показывают, что использование отработавшего пара дает наивысшую экономичность. Паровая машина с отбором

½ и ¾ отработавшего пара имеет меньший расход, чем паровая турбина 15 000 пол. л. с. с холодильником.

При полном использовании отработавшего пара расход пара в паровой машине равен ½ расхода в дизель-двигателе и ¼ расхода в паровой турбине без использования теплового отброса.

Рис. 196 представляет сопоставление расхода тепла на 1 пол. лош. силу-час различных машин двигателей.

Машины малых мощностей до 100 пол. л. с. строятся горизонтальные или вертикальные, быстроходные с поршневыми золотниками и осевыми регуляторами; при таком устройстве они удобны для ухода и дают хороший расход пара.

Горизонтальные машины строятся с клапанным распределением или поршневыми клапанами при плоских регуляторах. Средняя скорость поршня не должна превышать 4 м/сек. Длительность исправного существования паровых машин достигает 25—30 лет.

Полезность старых установок паровых машин может быть значительно улучшена введением перегрева пара, водоподогревателей и заменой старых цилиндров новыми для перегретого пара и введением работы с использованием пара.

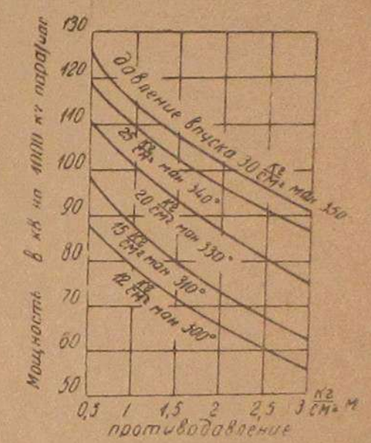


Рис. 195. Мощность, получаемая из 1000 кг. пара/час. при различных значениях противодавления в зависимости от начального давления при впуске и температуре пара.

Значительная часть лесопильных заводов СССР оборудована паровыми машинами небольших мощностей до 200—400 л. с., и замена их новыми в ближайшее время едва ли осуществится.

Необходимость бережного отношения к топливу заставляет при выборе машин двигателей для новых предприятий особенно внимательно отнестись к использованию старых паровых машин, проводя их обновление на основе указанных выше изменений.

В ряде случаев устройства силовых станций при небольших и средних лесопильных заводах с успехом может быть применен локомобиль.

Применение газовых двигателей больших мощностей, а по стандартам СССР предположена возможность построения двигателей на генераторном газе в 1200 л. с. при 6 цилиндрах, имеет преимущества по сравнению с паровыми машинами и турбинами, работающими паром среднего давления, в смысле высокой полезности использования тепла. Но это преимущество уменьшается, если в производстве возможно использование отработавшего пара для технологического процесса, что удобно осуществляется при паровых двигателях-машинах и турбинах, которые устанавливаются при высоких давлениях пара и высокой температуре. При газовом двигателе для получения технологического пара понадобится установка утилизационного котла.

Паровая машина[1] в 1000 пол. л. с. работает паром при давлении 16 кг/см² абс. и 350° с расходом пара 4,25 кг/пол. л. с.-час.

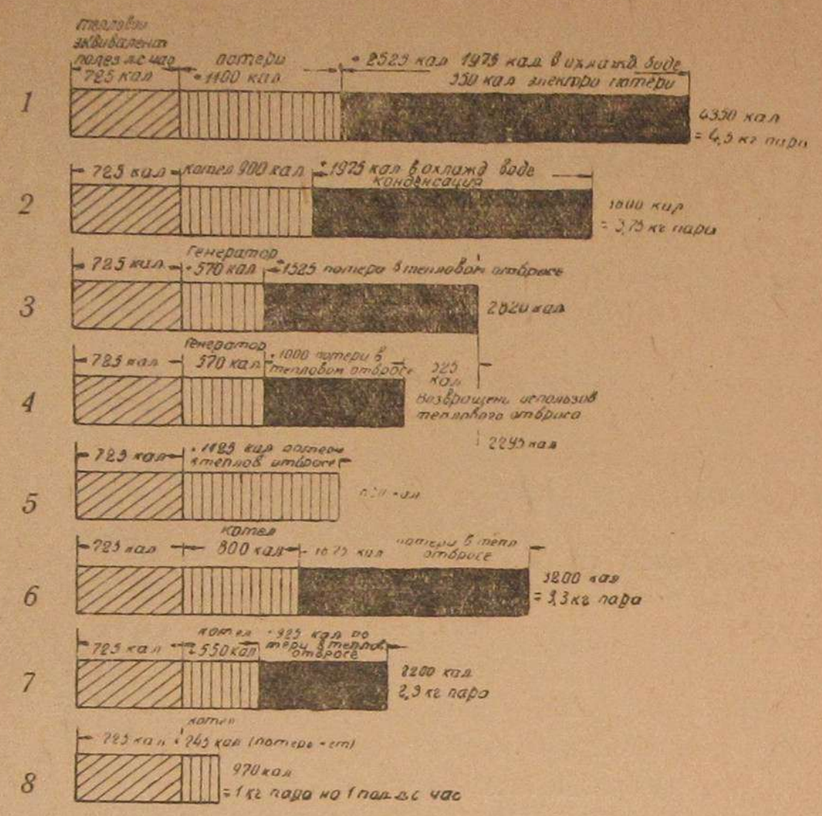


Рис. 196. Расход тепла на 1 п. л. с.-час в различных машинах двигателях.

1—электродвигатель при отдаленной передаче; источник тока—турбогенератор

$$\frac{2\,700}{0{,}75 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}93} = 4\,350 \text{ кал./п. л. с.}$$

паровой котел, генератор, проводка, двигатель

2—паровая турбина, 15 000 п. л. с.

$$\frac{3{,}75 \times 20}{0{,}75} = 3\,600 \text{ кал.}$$

3—газовый двигатель без использования теплового отброса, *4*—газовый двигатель с использованием теплового отброса, *5*—дизель-двигатель без использования теплового отброса, *6*—паровая машина с отбором половины количества пара, *7*—паровая машина с отбором трех четвертей количества пара, *8*—паровая машина с противодавлением при полном использовании теплового отброса и отбора.

Теплосодержание пара в котле 776 кал. (давление 17 кг/см² абс. и 400°), температура питательной воды 100°, питание насосов и потери в трубопроводах—5%.

[1] Пример взят из книги Müller. Die Papierfabrikation

Расход тепла в топке котла на 1 пол. л. с.-час

$$\frac{4{,}25\ (776 - 100)}{0{,}95 \cdot 0{,}80} = 3780 \text{ кал.}$$

Экономическая полезность паровой машины с котлом

$$\eta_{\text{эк.}} = \frac{632}{3780}\,100 = 16{,}7\%.$$

Паровая турбина в 10 000 пол. л. с. (на муфте) имеет расход пара 2,9 кг/пол. л. с.-час; пар имеет давление 30 кг/см² абс. и 400°. Теплосодержание пара в котле 792,2 кал (давление 32 кг/см² абс. и 450°); температура питательной воды 110°; полезность котла 83%; расход пара на насосы и потери в трубопроводе 5%.

Расход тепла в топке котла:

$$2{,}9\left(\frac{792{,}2 - 110}{0{,}95 \cdot 0{,}83}\right) = 2510 \text{ кал.}$$

Экономическая полезность установки котел-турбина:

$$\eta_{\text{эк.}} = \frac{632}{2510}\,100 = 25{,}2\%.$$

Тепловая полезность газового двигателя определяется из расхода, учитывая использование теплового отброса, в 2295 кал

$$\eta_{\text{эк.}} = \frac{632}{2295}\,100 = 27{,}5\%.$$

Из сделанного сопоставления видно, что газовые двигатели также могут быть применены в деревообрабатывающей промышленности даже и там, где понадобится использование пара для технологических целей, при чем отработавший газ может быть использован непосредственно для сушки.

Дизель-двигатели имеют ограниченное применение в деревообрабатывающей промышленности и то только в целлулозно-бумажном производстве. Так, по плану Главбумпрома, на 1933 г. дизель-двигатели вырабатывали 25,6 млн. квт-час, что составляет 4,7% всего количества выработанной энергии. Дизель-двигатели могут быть применены только в качестве запасных или дополнительных двигателей для перегрузки. Применение этих двигателей было бы выгодно, так как расход топлива у них мал, даже при низкой нагрузке от 170—185 г пол. л. с.-час, а экономическую полезность

$$\eta_{\text{эк.}} = 34 - 37\%.$$

Охлаждающая вода из двигателей может быть использована для целей нагрева или отопления, так как ее температура может быть доведена до 60°, а при подогреве отходящими газами—до 70—75°. Тогда экономическая полезность дизеля-двигателя может быть доведена до 38—39%.

Сравнение локомобиля с другими двигателями

В пределах 1000 л. с. локомобиль наиболее экономичная машина по расходу топлива на 1 пол. л. с.-час., особенно при перегреве пара по сравнению с паровыми турбинами; только около 1500 л. с. турбина имеет расход, как локомобиль при 400 л. с. Для больших установок, требующих нескольких машин по режиму работы, локомобиль—вполне выгодная машина. Особенно удобен локомобиль в деревообрабатывающих производствах, где резко колеблется нагрузка. В случае необходимости увеличить или уменьшить нагрузку, локомобиль поддается всем изменениям и может быть легко приспособлен к новым обстоятельствам работы установки. По сравнению с паровыми машинами локомобиль при тех же мощностях несравненно выгоднее как по занимаемому месту и значительно меньшим потерям тепла, так и по расходу топлива, который меньше у него на 10—20%, чем у паровых машин.

По сравнению со всеми двигателями внутреннего горения—жидкотопливными или газовыми—локомобиль имеет существенное преимущество, независимо от рода и качества топлива, полную надежность в работе и способность нести большую перегрузку, с значительным повышением расхода топлива при частичной нагрузке. У локомобилей расход топлива не изменяется при 20—30% перегрузке выше нормальной мощности, при чем такая перегрузка может быть длительной. При частичной нагрузке локомобиля, составляющей 50% длительной мощности, расход топлива повышается всего лишь на 12%, тогда как у дизель-двигателей при такой же недогрузке расход топлива против нормального составляет 113%, у бензиновых двигателей—132%, у газовсасывающих двигателей составляет 140%.

При нагрузке в 30% наибольшей длительной мощности расход на 1 л. с.-час у локомобиля—128%, у дизель-двигателя—138%, у бензиновых—178% и газовсасывающих двигателей—195% по сравнению с расходом топлива при длительной мощности. У паровой машины и турбины расход топлива повышается при таких условиях на 18% у первой и у второй—на 12%.

Перегрузка у двигателей внутреннего горения допускается не больше 10—20% и то лишь в течение краткого промежутка времени, так как горение топлива ухудшается, начинается дымление, и в цилиндре может образоваться нагар, который приводит к остановке двигателя. Локомобили могут нести значительную перегрузку и их наибольшая кратковременная мощность повышается против нормальной до 50%; с этой повышенной мощностью работа может длиться 45 мин. без причинения вреда машине и перерыва производства. И если пересчитать частичную нагрузку по наибольшей длительной мощности на нормальную, то значение расхода топлива при частичной нагрузке повышается у передвижных локомобилей до 60—80% и у непередвижных до 35—40% против нормального.

Произведенная инж. Нейман анкета[1] для сравнения газовсасывающих и локомобильных установок, работающих на древесном топливе, дала результаты, сведенные в таблицу 89.

[1] VDI № 31—32, 1922 г.

Таблица 89

Результаты испытаний паросиловых установок лесопильных заводов

	Паросиловая установка без использован. отработавшего пара				Паросиловые установки с использованием отработавшего пара											
	11	7	1	2	5	13	8	12	9	4	3
Переработанный кругляк в год . . . . . м³	3 000	16 800	12 000	12 000	1 680	3 000	12 000	18 000	6 000	15 000	16 800
Вес . . . . . кг/час	1 100	3 650	4 250	4 250	638	1 060	1 420	2 130	2 280	4 320	6 980
Отраб. пар для отопления и сушки	—	—	—	— от. + суш.	от.	от.	от.	от.	от.	от.	от.+суш.
Строгательная или столярная	—	—	—	строг.	стол.	стол.	—	строг.	—	стол.	—
Отходы: в отношен. кругляка в проц. . .	30	23	28	33	30	33	25	25	30	26	25
Отходы: по весу . . . . . кг/час	330	850	1 190	1 410	191	358	350	532	684	1 145	1 740
Мощность установки: паровой . . . . . л. с.	30	120	180	170	30	65	—	75	48	300	250
Мощность установки: водяной . . . . . л. с.	—	—	—	—	—	—	—	8	25	30	—
Сожжено топлива в (процентах)	50	50	50	70	75	75	90	67	33	90	67
Количество отходов . . . . . кг/час	165	425	595	985	143	268	315	357	226	1 033	1 170
Расход топлива . . . . . кг/л. с. час	5,5	3,54	3,33	5,80	4,80	4,13	—	4,76	4,70	3,45	4,68
„ . . . . . кг/час	165	425	595	415	48	90	35	175	458	115	570
Отходы на продажу: . . . . . м³/час	49,50	127,5	179,5	124,5	14,4	27,0	10,5	52,5	137	34,4	171
Расход энергии на 100 кг кругляка . . . л. с.	2,73	3,29	4,23	4,00	4,7	6,1	—	4,0	3,2	7,6	3,6

Из этой таблицы можно сделать выводы:

1. Выход опилок от 23 до 33%, в зависимости от номера пилы, что, в свою очередь, определяется родом дерева и его размерами. При наличии побочных производств выход опилок возрастает. В среднем, количество отходов—30%.

2. Расход энергии изменяется от 2,73 до 7,6 л. с. на 100 кг кругляка, что зависит от степени переработки пиломатериалов в подсобных и побочных производствах. Кроме того, расход энергии зависит от использования отработавшего тепла. У локомобилей с использованием пара мощность должна быть больше, чем у чисто силовых установок.

Необходимо отметить, что по данным таблицы 89: 4 предприятия (первой группы) работают без использования отработавшего пара, в 5 предприятиях (второй группы) производится использование отработавшего пара только для отопления и в двух предприятиях—для отопления и сушки.

Поэтому можно считать: для лесопильных заводов при побочных производствах без использования отработавшего пара или для лесопильных заводов с отоплением мятым паром расход энергии от 14—28 л. с., в среднем, 20 л. с./м³; для лесопильных заводов без побочных производств с использованием отработавшего пара для сушил от 17 до 50 л. с., в среднем, 27 л. с./1 м³; для лесопильных заводов с побочными производствами и использованием отработавшего пара от 35 до 62 л. с., в среднем, 40 л. с./1 м³.

3. Все лесопильные заводы используют отходы; для целей отопления и нагрева нужны отходы, в количестве 50—90%, и только в одном случае используется 33%, так как, кроме локомобиля в 48 л. с., имеется водяная турбина в 25 л. с.; при замене ее паровой машиной расход отходов повысится до 50%. Расход надо считать, в среднем, 67%.

4. Расход топлива. Паровые машины расходуют, в среднем, от 3,33 до 5,8 кг/л. с. Различие в расходе зависит от использования пара и устройства подачи горючего в топки вручную. Если отстранить два значения 5,8 и 5,50 кг/л. с.-час, как чрезмерно большие, можно сделать заключение:

1. Малые локомобили с использованием выхлопного пара расходуют топлива от 4,13 до 4,80, в среднем, 4,56 кг/л. с.-час.

2. Локомобили до 70 л. с. с использованием отработавшего пара от 3,45 до 4,76, в среднем, 4,30 кг/л. с.-час.

3. Для таких же локомобилей без использования теплового отброса от 3,33 до 3,54, в среднем, 3,42 кал/л. с.-час.

В таблице 91 сопоставлены данные относительно расхода энергии, тепла и отходов в локомобильной и газогенераторной установках в 120 л. с. при 2800 часах годовой работы, при различных способах работы.

В стоимость локомобильной установки включена стоимость трубы. При подсчете расходов по эксплоатации стоимость топлива не принята во внимание, так как употреблялись отходы своего производства, учтены вместе расходы на погашение и проценты на затраченный капитал, всего 15%. Обслуживание установок производилось:—1 машинистом на каждой; смазка паровых машин—2 г/1 л. с.-час и для газовых машин 2,5 г/1 л. с.-час.

Расход опилок на генераторную установку принят бо́льший, чем для установки „Юсна-Воксна“ и завода в Динглингене. Доход от продажи опилок принят 30 мрк. (100 кг).

При сравнении установок необходимо иметь в виду, что локомобиль дает большие количества отработавшего тепла.

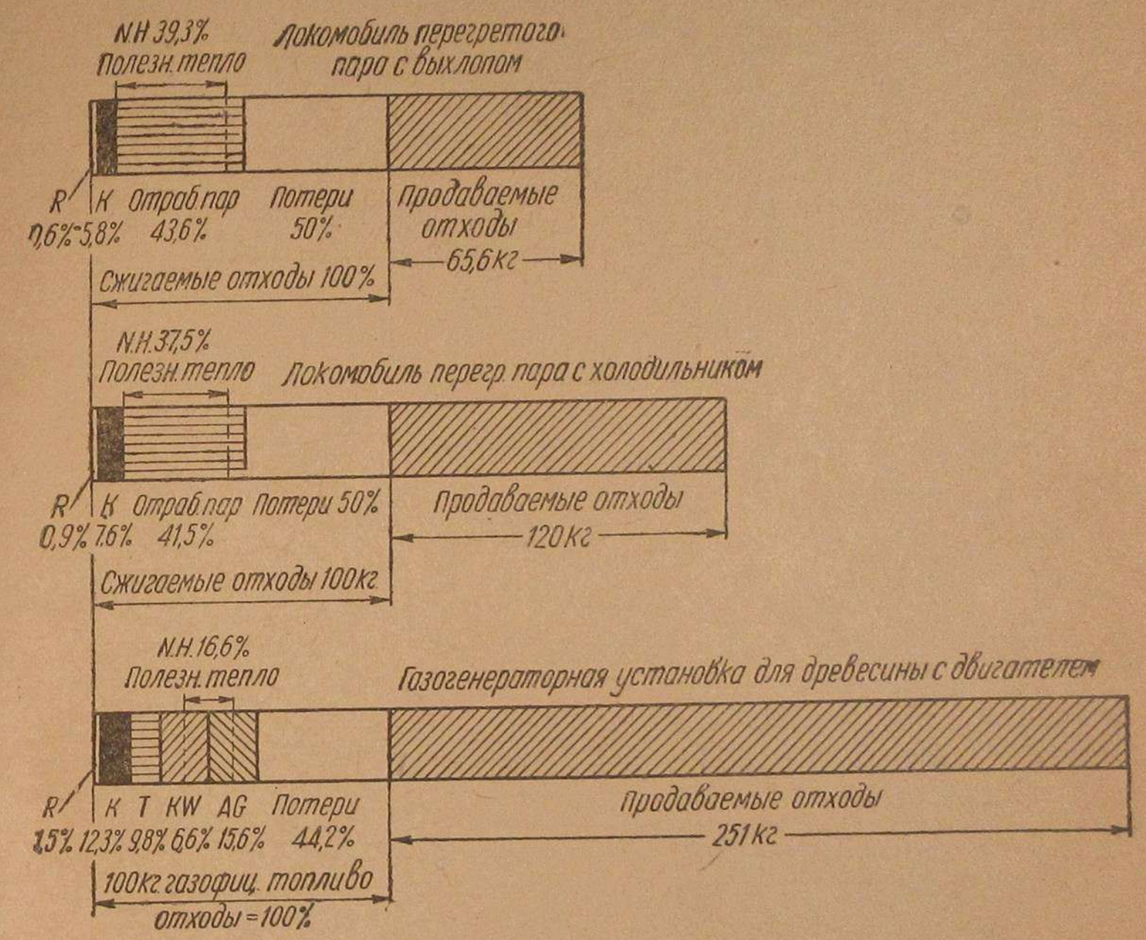


Рис. 197. Тепловой баланс при сжигании или газовании одинаковых количеств древесных отходов и остаток отходов для продажи.

На рис. 197 представлен тепловой баланс одинаковых количеств сожженной древесины или газованных отходов = 100%. В газовсасывающей установке выгода от использования тепла только при получении энергии и продаже смолы достигает 22,1%, — втрое больше, чем в паровой установке. Но при этом газовсасывающая установка дает меньше теплового отброса; но все же из выхлопных газов и охлаждающей воды можно использовать от 568 до 756 кал л. с.-час., т. е. половину всего количества. Полное использование при паросиловой установке энергии и тепла дает 5,8 + + 39,3 = 45,1% или 7,6 + 37,5 = 45,1%, при газовсасывающей установке—12,3 + 9,8 + 16,6 = 38,7%. Несколько пониженное использование тепла в газогенераторной установке по сравнению с паро-

вой может быть исправлено бережным расходом опилок в газогенераторе.

Так при паровых установках можно продать опилок 67—120% сжигаемого количества, а при газогенераторных установках до 250% газофицированного топлива. И если исходить из такого количества опилок, которое соответствует мощности лесопильного производства, то получатся результаты, представленные на рис. 198.

Таблица 90

Работа	Паровой локомобиль		Газовсасывающая установка	
	на выхлоп	на холодильник	без использования теплового отброса	с использованием теплового отброса и побочных продуктов
Расход отходов на пол. л. с.-час	4,0	3,1	1,9	1,9
(в процентах)	60	45,5	28,5	28,5
Приход., отнесен. к работе локомобиля на выхлоп	1	1,47	4,02	4,76
Полезн. тепло кал/пол. л. с.-час	4 280	2 815	—	756

При паросиловой установке из всего тепла располагаемой массы опилок можно использовать для отопления, производства

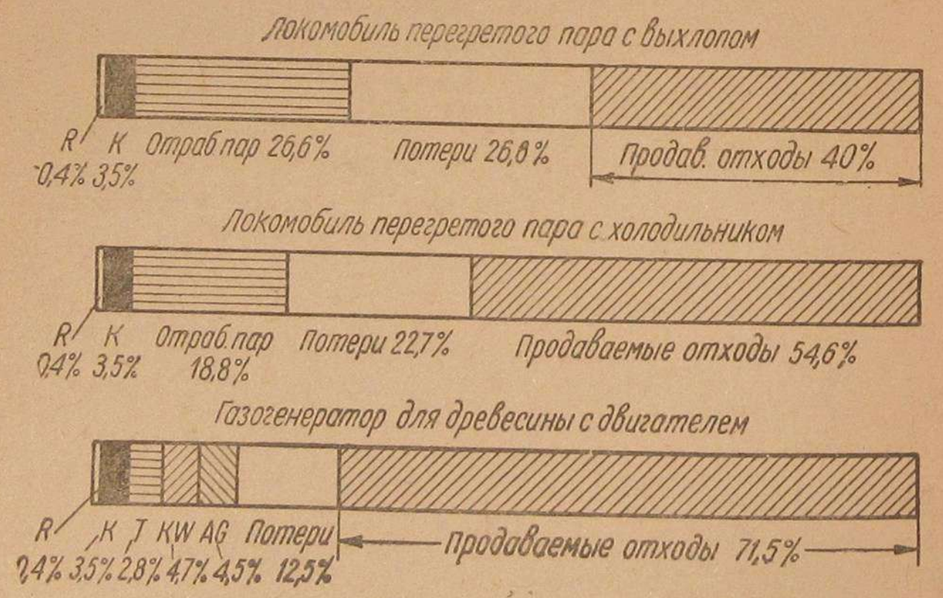


Рис. 198. Тепловой баланс с сжигаемого количества древесных отходов в лесопилке определенной мощности. Полное количество древесных отходов равно 100%.

энергии и на продажу: $3{,}5+24{,}0+0{,}40=67{,}5\%$ или $3{,}5+16{,}9+54{,}6=75{,}0\%$, а при газогенераторных установках: $3{,}5+2{,}8+4{,}6+71{,}5=82{,}4\%$.

Для отопления одного отработавшего пара в локомобиле недостаточно, так как в лесопильных заводах часть станков устанавливается в открытых помещениях или просто под навесами. Повышенная потребность в тепле для отопления может быть покрыта отработавшим теплом газового двигателя. Для этой цели может быть использована также вода, охлаждающая двигатель, возвращаемая обратно в двигатель при 40°.

Если же теплоты охлаждающей воды для отопления и нагревания недостаточно, следует установить газогенератор увеличенной производительности и к установке присоединить водогрейный котел с газовой топкой. Подвод газа и воздуха в этот котел регулируются особым газгольдером под давлением пара или при изменении температуры возвратно движущейся воды.

XXVII. ТЕПЛОСОБИРАТЕЛИ ИЛИ АККУМУЛЯТОРЫ ТЕПЛОТЫ

1. Основные положения

В котельных установках старого типа, имеющих паровые котлы с большим объемом воды и относительно большим зеркалом испарения, кратковременное повышение расхода пара из котла, вызывающее понижение давления, покрывалось усиленным парообразованием за счет теплоты воды и обмуровки, которые являются собирателями-аккумуляторами тепла. Более длительный повышенный расход пара покрывается парообразованием, создаваемым усиленной топкой.

Работа котельного персонала при заранее предусмотренном повышении расхода пара сводилась к усиленному питанию котлов при повышенной напряженности топки; при колебаниях в расходе пара усиленное питание вызывало повышение уровня воды в котле с уменьшением зеркала испарения и неизбежным понижением количества образующегося пара.

И если в это время увеличивался расход пара, вследствие увеличения нагрузки, то в первый момент парообразования было недостаточно, а затем при понижении уровня воды в котле следовало увеличение зеркала испарения и возрастание парообразования.

Заранее намеченное регулирование паропроизводительности котлов становится невозможным в старых котельных, в соответствии с расходом пара по потребности производства.

Только очень незначительные колебания в расходе пара при их увеличении могут быть покрыты, вследствие теплособирательных свойств котельной установки.

При ручной подаче топлива, даже при хорошо обученных кочегарах, невозможно достигнуть соответствия расхода пара в производстве и паропроизводительности котла в течение длительного промежутка времени.

При стремлении точно регулировать работу котельной административно-распорядительными мерами в соответствии с производственным потреблением пара не удается улучшить работу котельной, тем более, что во всяком производственном процессе

возможны такие непредвиденные изменения, при которых резко нарушается расход пара.

Усиление топки в определенные промежутки времени года при повышенном расходе пара или ослабления топки при пониженном расходе не дает благоприятных результатов, так как влияние того и другого скажется на изменении расхода пара с некоторым опозданием ко времени увеличения или уменьшения расхода в производстве.

Возможность использования теплособирательной способности воды в котлах с большим водяным пространством, при колебаниях водяного уровня и, связанных с этим изменениях величины зеркала испарения—зависит от устройства парового котла, что наблюдается в котлах английского типа или комбинированных.

С развитием промышленности приобретают распространение котлы с большими поверхностями нагрева, высокой паропроизводительности и высокого давления. У этих котлов отношение водяного объема к поверхности нагрева очень мало. Это котлы водотрубные как с малонаклонными, так и с крутонаклонными трубками.

С введением в котельную практику высоких и сверхвысоких давлений в водотрубных котлах отношение водяного пространства к поверхности нагрева стало еще меньше. Эти котлы особенно чувствительны к переменному режиму.

Введение механических топочных устройств еще более затруднило регулирование подачи топлива при изменениях нагрузки котельной установки. Изменение подачи топлива в механических топках при переменной нагрузке котла в короткие промежутки времени затруднительно, так как изменение скорости подающего механизма будет запаздывать по отношению к расходу пара. И эта трудность стала тем более значительной, что с увеличением поверхности нагрева и паропроизводительности возросла напряженность поверхности нагрева.

При большом удельном расходе топлива на колосниковой решетке, принимая во внимание постоянство скорости цепной решетки, невозможно быстрое изменение напряженности колосниковой решетки, в зависимости от изменения расхода пара.

Изменение расхода пара в машинах вызывает изменение давления в котлах; при понижении давления в котле расход пара в машинах возрастает, точно так же при уменьшении давления возрастает расход пара для технологических потребностей производства.

Повышенный расход пара вызывает в котлах еще большее понижение давления, с понижением давления возрастает удельный объем пара, а вследствие этого в паропроводах уменьшается скорость движения пара, что вызывает дальнейшее понижение давления.

Как видно, сцепление ряда обстоятельств вызывает понижение давления в котле, что отражается значительно на понижении паропроизводительности, вследствие чего возможна остановка части предприятия до восстановления давления в котле до нормального.

Неожиданная остановка части фабрики может вызвать в котельной ряд крайне нежелательных осложнений и прежде всего необходимость избавиться от излишка пара, образование которого очень скоро начнется после уменьшения нагрузки. Придется „травить пар на воздух“ через предохранительные клапаны.

В старых котельных установках с котлами большого объема воды главное внимание кочегара было устремлено на сохранение постоянства уровня воды в котле, а потому естественное колебание уровня воды в водомерном стекле было незначительно.

При подъеме давления в котле, т. е. при усилении парообразования, кочегар приводил в действие один из питательных приборов, так что пополнение запаса воды в котле зависело от наблюдательности кочегара и его подготовки.

Введение в котельную практику автоматических питательных приборов сделало пополнение запасов воды в котле независимым от умения и навыков кочегара. Вода систематически подается автоматическими приборами, независимо от повышения или понижения давления в котле, сохраняя уровень воды так, чтобы от уровня в данный момент до самого низкого было не менее 100 мм, хотя бы уровень воды сильно колебался.

Старое требование—„держать уровень воды в котле на одной и той же высоте“ для постоянства парообразования не считается теперь необходимым, так как паропроизводительность котла можно приспособить к изменяющемуся расходу пара только изменением подачи воды.

Однако, такой способ управления парообразованием в котле возможен при малых колебаниях в расходе пара. При больших колебаниях расхода пара регулировка паропроизводительности изменением уровня в котле с малым водяным объемом непригодна, так как запас тепла в воде котла недостаточен для покрытия происходящих колебаний в потреблении пара добавочным парообразованием.

Для правильного ведения котельной установки при наименьших затратах топлива необходимо стремиться к такому режиму, чтобы расход пара был постоянный, так как только при таком условии полезность использования котла достигает наивыгоднейшей величины, а потому необходимо избыток пара из котла в периоды уменьшения его расхода собирать в особых приборах.

Пар, накопленный в таком приборе-теплособирателе, передает свое тепло воде, наполняющей теплособиратель, которая может быть использована для добавочного парообразования в помощь паровому котлу при увеличении расхода пара.

Приборы первого типа, в которых накапливается избыточный пар из котлов при уменьшении расхода, называются парособирателями. А приборы второго типа, накапливающие теплоту, передаваемую воде избыточным паром, называются—теплособирателями или аккумуляторами. В заводских теплосиловых установках применяются преимущественно теплособиратели, а поэтому только они и будут рассмотрены далее.

В современных паровых установках стремятся соблюдать два основные условия:

1. Сохранение постоянства работы котельной установки данного предприятия, для чего должны быть выравнены колебания в расходе пара как на силовые, так и на производственные нужды.

2. Выравнивание производства и расхода силовой и тепловой энергии остановки, в связи с работой других теплосиловых установок, с которыми она включена в единую сеть.

Как первое, так и второе условие могут быть выполнены при включении в паропроводную сеть теплосиловой установки теплособирателя.

Установка теплособирателя при теплосиловой станции даст возможность собрать избыточный пар при уменьшении расхода и затем при возрастании расхода использовать накопленный пар или теплоту в машинах-двигателях или в производстве.

Котельная установка с включением теплособирателя будет работать при постоянном расходе пара с равномерно напряженной поверхностью нагрева и с постоянной напряженностью топки. Этим самым устраняются потери в расходе топлива, а также нерациональное использование поверхности нагрева котла, которая перенапрягается в случае быстрого возрастания расхода пара.

Теплособиратели—это приборы с водяным наполнением, в которых избыточный пар из котлов отдает свою теплоту испарения воде и тем самым ее нагревает. В случае понижения давления в паропроводной сети при усилении расхода пара, в теплособирателе происходит парообразование, которое покрывает усиленный расход пара. Теплособиратели получили широкое применение в теплосиловом хозяйстве разнообразных отраслей промышленности.

В целлулозно-бумажной промышленности теплособиратели стали привычным устройством, которое облегчает работу котельной установки в периоды варки целлулозы, расхода пара на нагревание барабанов бумажных машин и другие нужды.

С установлением взгляда на отходы деревообрабатывающей промышленности: опилки, рейку, горбыли, обрезки и щепу, с одной стороны,—как на полноценное топливо, а с другой—использование их в производственных целях станет обязательным, тогда правильное ведение котельной на основе постоянства режима будет такой же неотъемлемой принадлежностью теплосилового хозяйства в деревообрабатывающей промышленности в СССР.

Без установки теплособирателей невозможно рациональное использование котельной в деревообрабатывающей промышленности тем более, что механическая разработка древесины, распиловка и обработка древесины в столярном и фанерном производстве связана с периодически колеблющимся расходом пара. В лесопильном производстве, в фанерном и других отраслях деревообработки имеется ряд технических действий, в которых пар используется также периодически. В течение значительных промежутков времени часть пара, затрачиваемая на силовые цели, остается без употребления, вследствие временного выключения лесопильных рам и ряда станков, в зависимости от требования производства.

Помимо избыточного пара, который может быть направлен из котла в теплособиратель и затем использован в случае возрастания расхода пара, в деревообрабатывающих производствах возможно использование отработавшего пара в паровых машинах, работающих на холодильник или на выхлоп. Отработавший пар из прессов в фанерном производстве, пар из варочных и пропарочных приборов или сгущенный пар из сушил, все эти виды теплового отброса могут быть использованы в самых разнообразных технических и бытовых целях, а потому они должны быть направлены в особые собиратели горячей воды.

2. Теплособиратель изменяющегося давления Рато (Rateau)

Французский профессор Рато первый выдвинул новый принцип собирания теплосиловой энергии, содержащийся в отработавшем паре.

По идее Рато парособиратель превращается в теплособиратель.

Теплособиратель Рато представляет закрытый бак больших размеров с водой, куда подается избыточный пар и там сгущается.

В теплособирателе сгущенный пар отдает воде свою теплоту испарения в соответствии с давлением и вода нагревается. В воде теплособирателя устанавливается температура, соответствующая давлению. При отборе пара, вследствие понижения давления, в теплособирателе над его водяным пространством собирается пар, выделяющийся из воды в зависимости от содержащегося в ней избыточного тепла.

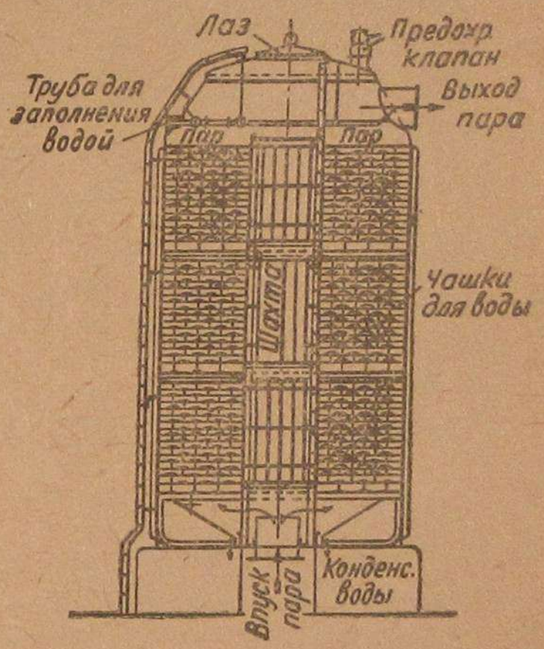


Рис. 199. Теплособиратель Рато (колонка).

Выделение пара в теплособирателе происходит тем больше, чем больше в нем объем воды и чем больше поверхность испарения, а также—чем больше перепад тепла, для которого рассчитан теплособиратель. На рис. 199 представлен теплособиратель Рато, конструктивно измененный заводом Бальке.

В железный вертикальный цилиндр, клепаный из листов, наполненный чугунными чашками, расположенными рядами, поступает выхлопной пар из паровых машин, перемещающийся в нем снизу вверх между чугунными чашками. Все кольцеобразное пространство цилиндра заполняется водой, в которой сгущается поступающий пар. Пар, двигаясь в теплособирателе, отдает свое тепло чугунным чашкам. При изменении давления пара в теплособирателе происходит добавочное испарение воды за счет тепла, накопленного в чугунной насадке.

Наполнение теплособирателя чугунными чашками служит для того, чтобы заставить пар проходить более извилистый путь при большой поверхности соприкасания с телами, накапливающими тепло.

3. Теплособиратель высокого давления с водяным наполнением „Рутс“ (Ruths)

В теплособирателе „переменного давления“ с водяным наполнением при поступлении пара давление в нем повышается, затем начинается охлаждение пара, и его теплота переходит в воду до полного выравнивания температуры в теплособирателе в соответствии с установившимся давлением.

Если пар отводится из теплособирателя, то, вследствие понижения давления из воды, освобождается часть тепла и происходит парообразование, при чем температура воды понижается соответственно падению давления.

При зарядке теплособирателя теплота пара передается частицам воды по поверхности соприкосновения с паром, а остальная

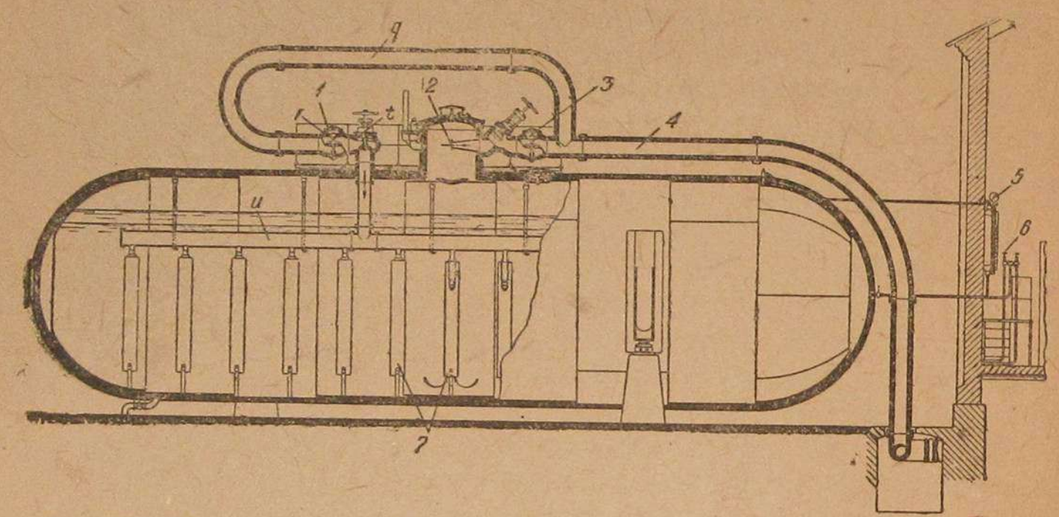


Рис. 200. Теплособиратель Рутс. *1*—зарядный обратный клапан, *2*—ограничительное сопло, *3*—разрядный обратный клапан, *4*—соединительный паропровод, *5*—показатель уровня воды, *6*—регулятор уровня воды, *7*—циркуляционная труба.

масса жидкости нагревается теплопроводностью и переносом тепла нагретыми частицами.

Рутс применил особый способ тесного соприкосновения пара и воды во всем ее объеме пропуском пара через ряд сопел, которые создают энергичное смешение пара с водой, вызывающее бурление и перемещение воды. При зарядке теплособирателя Рутс нижележащие слои воды имеют более высокую температуру, чем верхние, а потому в воде создаются токи принужденного движения воды, которые способствуют равномерному нагреву воды и испарению ее, а в результате повышается давление. Вследствие тесного перемешивания пара и воды в теплособирателе Рутс может быть получено давление и температура выше, чем в теплособирателе Рато, а потому перепад давлений и температур также может быть значительнее.

Высота давления в теплособирателе и разность давлений при работе зависят от назначения паровой сети.

На рис. 200 показан разрез теплособирателя Рутс. По трубе *q* подводится избыточный пар, который поступает в теплособиратель

через обратный запорный клапан *r* и запорный вентиль *t* в горизонтальную распределительную трубу *u*. Из распределительной трубы пар проходит через ряд насадок с отверстиями, обращенными вверх к поверхности испарения, так что струи пара направляются в толще воды кверху, и на своем пути пар сгущается. Для усиления движения воды во время зарядки теплособирателя насадка окружена коническими патрубками (рис. 201), где представлена зарядная насадка и патрубок. Вследствие большой скорости движущегося из насадок пара в окружающие их патрубки, засасывается вода по направлению вверх от широкого отверстия патрубка к узкому сечению. При таком устройстве и теплособирателе создается энергичное движение воды и перемешивание с паром, что обеспечивает установление одинаковой температуры в теплособирателе. Во время действия теплособирателя Рутс из него возможно отобрать в произвольный промежуток времени весьма большие количества пара; однако, необходимо ограничение отбора пара, так как при значительном понижении давления в трубопроводе, процесс парообразования в теплособирателе может пойти бурно и с паром будет выброшена в паропровод вода.

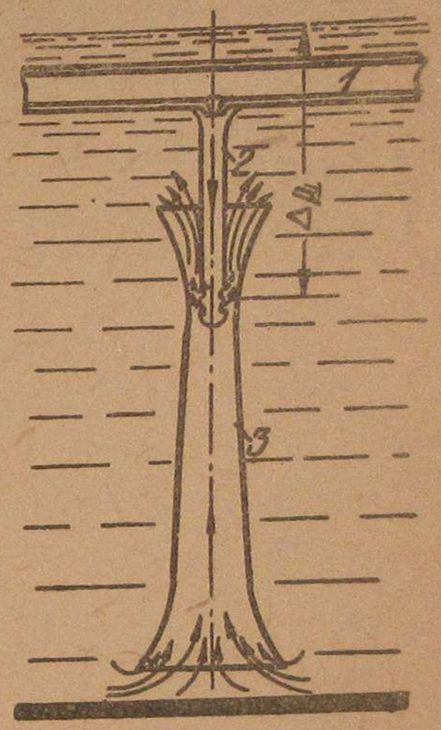


Рис. 201. Зарядное приспособление *1*—паровая труба, *2*—паровое сопло, *3*—циркуляционная труба.

Для устранения этого явления в сухопарнике теплособирателя установлено сопло Лаваля, которое рассчитано так, что при возрастании давления до наибольшего значения через него может пройти только то количество пара, которое не вызовет расстройства работы теплособирателя.

В среднем, может быть отобрано пара из теплособирателя около 600 м³/м² поверхности испарения в час, но в мощных устройствах и выше. Потеря давления в сопле при нормальной работе теплособирателя не превышает 0,01 кг/см².

При разрядке теплособирателя температура пара понижается, а потому при необходимости иметь перегретый пар к теплособирателю можно присоединить особый перегреватель, представленный на рис. 202. Перегреватель также представляет теплособиратель, состоящий из закрытого железного бака, который заполнен чугунными пластинами, расположенными в четыре ряда. Перегретый пар при зарядке теплособирателя вступает в пароперегреватель снизу, отдавая теплоту чугунным пластинам, превращаясь в сухой пар. При разрядке пар идет из теплособирателя в перегреватель сверху вниз через чугунную насадку, воспринимая от нее теплоту, за счет которой происходит перегрев. Наружная изоляция на теплособирателе „Рутс“ не устраивается толще 100 мм при общем коэфициенте теплопередачи от 0,8 до 1,1 кал/м² °Ц час.

Теплособиратель может быть включен в сеть при помощи одного паропровода, тогда в нем будет такое же давление, как и в последнем.

Для большой паропроизводительности, а, следовательно, и большой емкости Рутс выработал вертикальный тип теплособирателя.

При больших размерах теплособирателя должно быть обращено особое внимание на то, чтобы большие количества пара быстро сгущались, и вместе с тем, чтобы пар не подводился на

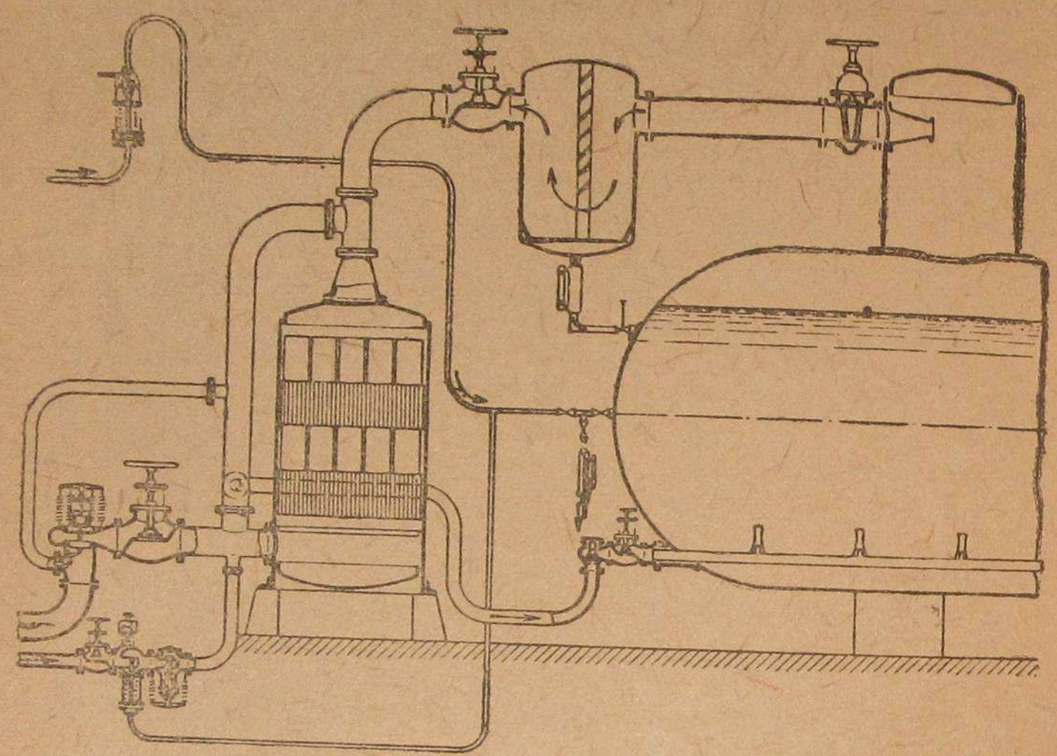


Рис. 202. Перегреватель пара к теплособирателю Рутс. *a*—паровыпускная труба с соплом, *b*—подводящая труба, *c*—циркуляционная труба, *d*—отводная труба.

значительной глубине в теплособирателе, так как столб воды в этом случае окажет большое сопротивление движению пара.

Разрез вертикального теплособирателя, установленного на одной из силовых станций в Германии, показан на рис. 203: *a*—паровыпускная труба с насадками, которая входит в трубу, идущую почти до самого дна теплособирателя; пар, проходя через насадки, вспенивает воду. Смесь сгущенного пара с водой выносится из трубы *в* через верхний край и тем самым заставляет холодную воду вступать в эту трубу снизу и подымается вверх. При отборе пара из теплособирателя правильная циркуляция воды и перемешивание ее с паром создается трубой *c*, которая расположена кохнцентрично с внутренней трубой *в*. Снизу труба *c* открыта, а сверху над ней расположены три конические кольца. При помощи трубы *в* устанавливается направление циркуляции воды и пара; внутри кольца, образуемого трубами *в* и *c*, перемещаются вверх пузырьки образующегося пара, а вне трубы движется вниз масса воды.

Конические кольца направляют движение пузырьков пара к верхнему уровню, вследствие чего образуется смесь пара с водой меньшего удельного веса, что обеспечивает круговорот от оси теплособирателя к его наружной поверхности. При правильном и достаточно быстром круговороте воды паропроизводительность теплособирателя „Рутс“ может быть доведена до 4000 м³/час с 1 м² поперечного сечения столба воды без уноса ее из теплособирателя.

Пар из теплособирателя отводится трубой, у которой приемный конец выведен высоко над самым высоким уровнем для предотвращения попадания воды.

Расчет теплособирателя Рутс (Ruths)

Пусть теплосодержание пара, получаемого в теплособирателе при некотором давлении, будет i; процесс парообразования идет при температуре t°, при таком условии для полуения пара нужно $(i—t)$ кал. При весьма малом понижении температуры воды на dt° выделится некоторое количество пара, которое будет равно:

$$dD = \frac{dt}{i-t}.$$

При понижении температуры воды теплособирателя на 1° освобождается, в среднем, 1 кал/1 кг воды, при этом получается

$$\frac{1}{i-t} \text{ кг пара.}$$

При изменении температуры от t_1 до t_2 за конечный промежуток времени количество пара, образующегося в теплособирателе и отведенного к месту потребления, будет:

$$D = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{i-t} \text{ кг/1 кг воды в теплособирателе;}$$

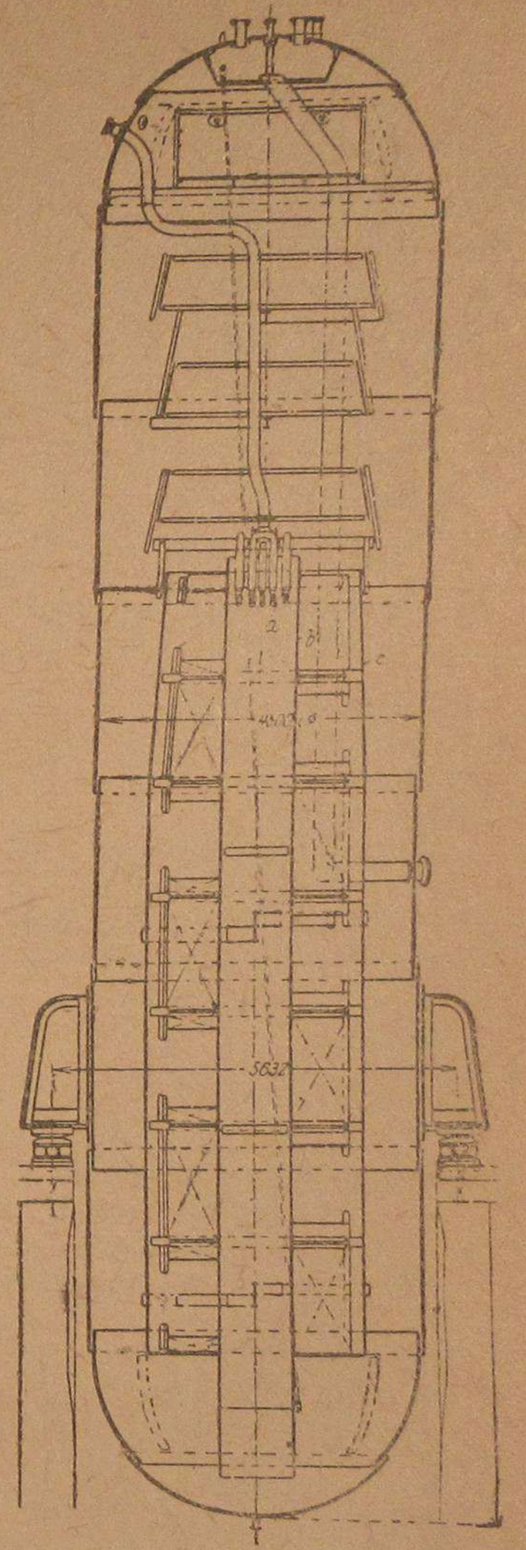


Рис. 203. Вертикальный теплособиратель Рутс.

[1] Balcke. Die Abwärmetechnik. 1928.

при

$$i = 606{,}5 + 0{,}305\ t,$$

получим

$$D = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{606{,}5 - 0{,}695\ t}$$

или

$D = \frac{1}{0{,}695} ln \frac{606{,}5 - 0{,}695\, t_2}{606{,}5 - 0{,}695\, t_1} = 1{,}44\, ln \frac{606{,}5 - 0{,}695\, t_1}{606{,}5 - 0{,}695\, t_2}$, а принимая приближенную зависимость

$$t = 100\sqrt[4]{p},$$

получим, что

$$D = 1{,}44\, ln \frac{606{,}5 - 0{,}695 \cdot 100\sqrt[4]{p_1}}{606{,}5 - 0{,}695 \cdot 100\sqrt[4]{p_2}}.$$

Относя к тонне воды в теплособирателе будем иметь

$$D_{тон} = 1440\, ln \frac{606{,}5 - 69{,}5\sqrt[4]{p_1}}{606{,}5 - 69{,}5\sqrt[4]{p_2}}.$$

Задаваясь различными значениями изменения давления в теплособирателе во время разрядки, по этой формуле можно определить количество килограммов пара, выделяющегося из 1 м³ содержания воды.

Пусть во время разрядки теплособирателя отдается D кг пара и потеря тепла наружу за это же время W, обозначая теплосодержание пара в начале разрядки i_1, давление p_1 и в конце разрядки i_2 и p_2, тогда среднее теплосодержание $i_{ср} = \frac{i_1 + i_2}{2}$ и вес воды G_1.

За время разрядки всего отдано тепла:

$$Di_{ср} + W.$$

Это количество тепла должно быть равно разности количеств тепла до и после разрядки.

Теплосодержание воды до разрядки $G_1 c_1 t_1$.

То же после разрядки $G_2 c_2 t_2$

Здесь G_2 вес воды после разрядки; он равен

$$G_2 = G_1 - D.$$

c_1 и c_2 удельные теплоемкости воды до и после разрядки. Уравнение теплового баланса будет

$$Di_{ср} + W = G_1 c_1 t_1 - (G_1 - D) c_2 t_2.$$

Вследствие малости различия величин удельных теплоемкостей полагаем: $c_1 = c_2 = c$, тогда

$$G_1 = \frac{D(i_{ср} - ct_2) + W}{c(t_1 - t_2)},$$

а так как $G_1 = \gamma_1 V$, где γ_1—плотность воды в теплособирателе в начале разрядки и V—объем воды.

Определим объем $V = \frac{D(i_{ср} - ct_2) + W}{(t_1 - t_2)\, c\gamma_1}$.

Потери тепла, вследствие излучения в теплособирателе, выбирают в пределах от 1000—100 000 кал, в зависимости от величины теплособирателя и рода работы. Полный объем теплособирателя должен быть взят несколько больше, необходимо внести поправку на паровое пространство—0,001—0,002 V_1, где V_1 обозначает объем D кг пара, получающегося при давлении p_2 в конце разрядки.

В таблице 91 даны средние удельные теплоемкости 1 м³ водяного наполнения теплособирателя, в зависимости от температуры и давления.

Таблица 91

Температура в теплособирателе	Давление в кг/см² абс.	Средняя удельная теплоемкость c	Вес 1 м³ воды в теплособирателе в кг
100	1,033	1,0000	958,4
105	1,232	1,0005	954,7
110	1,462	1,0010	950,9
115	1,726	1,0015	947,2
120	2,027	1,0020	943,5
140	3,695	1,0046	926,3
160	6,323	1,0077	907,6
180	10,258	1,0113	886,6
200	15,890	1,0155	862,8

Способность теплособирателей с понижающимся давлением накапливать теплоту зависит от разности давлений при зарядке и разрядке. Кроме того, это качество теплособирателя зависит от принятого при проектировании расхода пара.

Процесс зарядки представляется таким уравнением

$$W_{вод} q_1 + D_{зар} i_1 = (W_{вод} + D_{зар}) q_2.$$

Разрядка теплособирателя изобразится следующим уравнением:

$$D_{разр} i_2 - D_{разр} q_3 = (W_{вод} + D_{зар})\ (q_2 - q_1)$$

Из последнего уравнения

можно определить количество пара, которое выделяется в теплособирателе при разрядке:

$$D_{разр} = (W_{вод} + D_{зар}) \cdot \frac{q_2 - q_1}{i_2 - q_3} = (W_{вод} + D_{зар}) \frac{q_2 - q_1}{r}.$$

Здесь

$D_{зар}$ — количество пара при зарядке кг/час.
$D_{разр}$ — „ „ „ разрядке „
$W_{вод}$ — „ воды в теплособирателе кг
i_1 — теплосодержание пара при зарядке кал/кг
i_2 — теплосодержание пара при разрядке „
q_1 — теплота жидкости в теплособирателе кал/кг
q_2 — то же при насыщении кал/кг
q_3 — то же при разрядке „
r — теплота испарения воды в теплособирателе кал/кг

на диаграмме TS (рис. 204) процесс в теплособирателе изменяющегося давления изображается так: начальное состояние воды в теплособирателе соответствует точке на левой пограничной кривой Ab_1; процесс разрядки с расширением пара идет по адиабате $Ab_1\ B_1$; при этом давление понижается от p_1 до p_2, а температура будет вначале t_1 и после расширения пара t_2. Состояние воды после понижения давления будет определено точкой Ab_2. Далее пар будет отбираться из теплособирателя при давлении p_2. При этом давлении произойдет добавочное испарение и некоторая часть жидкости x в теплособирателе превратится в пар.

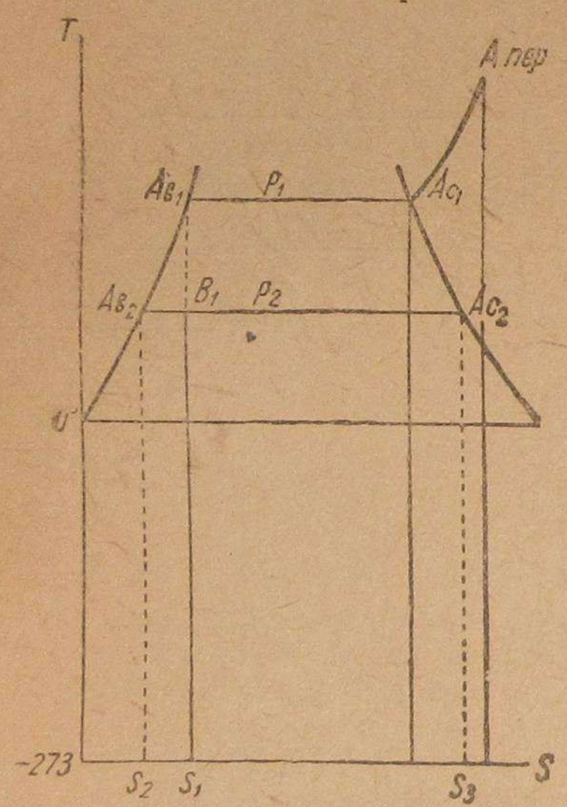


Рис. 204. Диаграмма разрядки теплособирателя в координатах TS.

Процесс испарения в теплособирателе закончится в точке Ac_2, пар становится сухой и давление поднимется p_1 и процесс закончится в точке A_{c_1}.

Вследствие падения давления от p_1 до p_2 часть воды, содержащаяся в теплособирателе, испарится так, что на каждый килограмм содержащейся воды x кг превращается в пар; по диаграмме TS может быть определена производительность теплособирателя на 1 кг воды, т. е.

$$x = \frac{Ab_2B}{Ab_2\ Ac_2}.$$

При проектировании теплосиловой установки для деревообрабатывающего предприятия с использованием пара для производственных целей, необходимо составить и разработать план использования тепловой энергии. На ряду с составлением графиков силовой нагрузки необходимо подсчитать расход пара как для силовой

нагрузки, так и для производственно-технических целей, а затем вычертить график тепловой нагрузки.

По характеру колебаний расхода пара можно установить, что значительные колебания в расходе пара не могут быть покрыты изменением паропроизводительности котлов. Снятие „пик“ тепловой нагрузки при расходе пара на силовую энергию с перерывами или с большими колебаниями может быть произведено только установкой теплособирателя и включением его в паропроводную сеть.

И, действительно, в лесопильном производстве все рамы и станки работают с перерывами, неизбежными в процессе производства, но сушила находятся под паром непрерывно в виду непрерывности процесса сушки. Устанавливая паросиловую установку, необходимо иметь в виду, что силовое использование пара должно быть полностью объединено с тепловым. Наиболее выгодной в такой сушке явится силовая установка с отбором пара. В те дни, когда силовая установка не работает (например выходные дни), при наличии избытка силового пара во все рабочие дни лесопильного завода, он может быть направлен в теплособиратель, а затем использован для сушил, когда силовая станция останавливается и сушка поведется паром из тех же котлов через дроссельный клапан с добавлением пара из теплособирателя.

XXVIII. СХЕМЫ УСТАНОВОК ТЕПЛОСОБИРАТЕЛЯ

РУТС (RUTHS)

Теплособиратели Рутс получили самое широкое распространение в целом ряде производств, где пар расходуется неравномерно и в различных количествах. Установка теплособирателей Рутс могут быть применены не только в производстве с потреблением пара для технических целей, но и в производстве энергии, так как и здесь могут быть достаточно продолжительные перерывы, что бывает во всех отраслях деревообрабатывающего производства. В деревообработке действие ряда машин-орудий замедляется, что отражается на ходе машины двигателя, а котельная установка еще продолжает производить пар в соответствии с наибольшей нагрузкой. По уже выясненным обстоятельствам регулирование количества пара, производимого котлом в широких пределах, невозможно в самой котельной установке, а потому этот избыток пара должен быть направлен в теплособиратель.

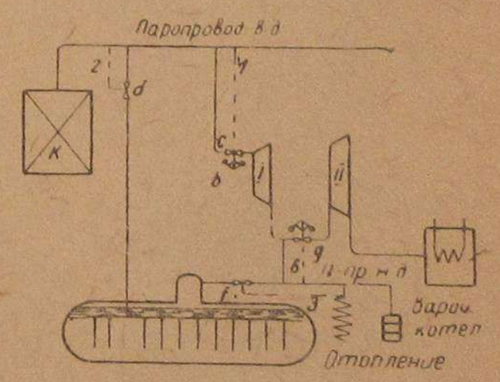


Рис. 205. Установка теплособирателя Рутс. Силовая установка с использованием тепла для нагрева.

1. Силовые установки с использованием тепла для нагрева

На рис. 205 показана схема теплосиловой установки с отбором пара и теплособирателем Рутс, в которой расход силового пара больше расхода отопительного пара. Теплособиратель обеспечивает равномерность топки и постоянство подачи пара в паропровод низкого давления, уменьшая потерю на сгущение пара. Центробежный регулятор *b* сохраняет постоянство числа оборотов паровой машины, и впускной вентиль *c* перед частью высокого давления регулируется постоянным давлением в котле. Зарядный вентиль *d* на паропроводе к теплособирателю открывается при повышении давления в трубопроводе *2*. Разрядный вентиль *f* открывается при понижении давления в сети низкого давления, хотя бы вентиль *g* был закрыт, в зависимости от изменения мощности турбины, и регулирование вентиля *f* должно быть менее чувствительно, чем у вентиля *g*.

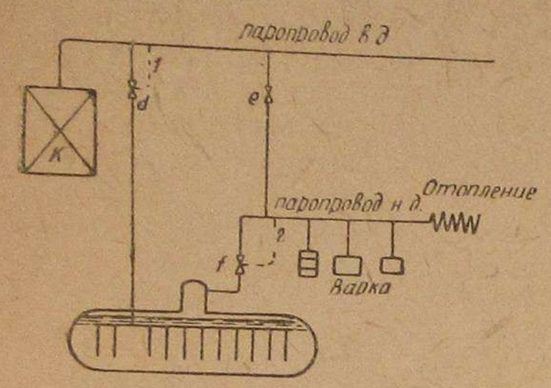


Рис. 206. Установка теплособирателя Рутс. Силовая установка с расходом пара, равным и меньше расхода на обогрев.

Если вентиль *c* открыт полностью и мощность турбины все же недостаточна, центробежным регулятором открывается вентиль *g*, давление в сети низкого давления понижается и паровой регулятор открывает разрядный вентиль *f*. Если понижается давление в котле, то паровой регулятор *1* прикрывает вентиль *c* и вентиль *g* открывается центробежным регулятором, в соответствии с нагрузкой турбины.

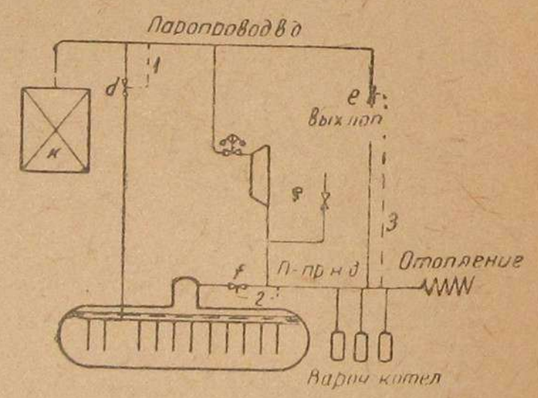


Рис. 207. Установка теплособирателя Рутс. Силовая установка с использованием для нагрева.

При этом давление в паропроводе отбора уменьшается, и паровой регулятор *3* открывает разрядный вентиль *f*.

2. Силовые установки с расходом пара равным или меньшим расхода на обогрев

На рис. 206 представлена теплосиловая схема с теплособирателем, соответствующим расходу пара в этой установке. При повышении давления в котле вентиль *d* открывается и теплособиратель заряжается; при понижении давления в сети противодавления клапан *f* открывается и теплособиратель отдает пар; но если все же давление в расходной сети недостаточно, то открывается клапан *e* действием регулятора *3* и пропускается свежий пар пониженного давления.

В производствах с преобладающим расходом технологического пара, особенно при больших колебаниях расхода пара в сети низкого давления, наиболее подходящей является установка теплособирателя Рутс. Температура сгущенного пара в теплособирателе достаточно высокая и давление в котле низкое, понижающееся в теплособирателе, который поглощает теплоту перегрева, совершенно ненужную в случае применения пара для сушил, так как перегретый пар непригоден для целей сушки.

3. Установка с теплоиспользованием для варки

В установке, предназначенной для варки, выбор теплособирателя должен быть сделан в зависимости от длительности использования пара; при значительности расхода пара в короткие промежутки времени теплособиратель Рутс—наиболее подходящий. На рис. 207 показана установка с использованием тепла для варочных и отопительных приспособлений.

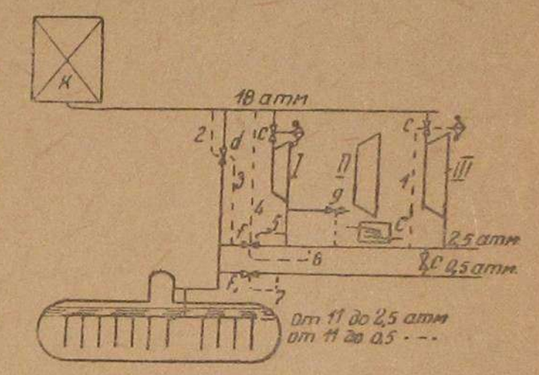


Рис. 208. Установка с теплособирателем Рутс. Силовая установка с несколькими ступенями давления.

4. Установка с несколькими ступенями давления

В установках, обслуживающих производство с использованием пара среднего и низкого давления, теплособиратель Рутс может быть включен, как показано на рис. 208. В этой установке выравниваются колебания в паропроводах высокого и низкого давления. Турбина *Ш* принимает всю основную нагрузку под действием регулятора *c*. Теплособиратель включен между сетями высокого и низкого давления, но может быть переключен между сетями среднего и низкого давления.

Зарядный вентиль *d* открывается при возрастающем давлении в котле; вентиль *f* служит для разрядки теплособирателя при понижении давления в паропроводах среднего давления; вентиль f_1 открывается при понижающемся давлении в отопительном паропроводе. Если теплособиратель разрядился до давления в отопительной сети, то при помощи вентиля *f* происходит зарядка теплособирателя до давления в сети среднего давления.

Регулятор *4* открывает вентиль *f* при понижающемся давлении в котле, при этом пар из теплособирателя направляется в расходную сеть среднего давления; при понижении давления в сети низкого давления вентиль f_1 открывается регулятором 7. Так что все колебания в работе выравниваются сами собой. Установка теплособирателей стала возможна лишь после построения автоматических приборов для распределения пара в отдельные паропроводные сети.

Сущность устройства и работа этих приборов состоит в следующем: парораспределительный вентиль приводится в действие поршнем сервомотора, на который действует масло под давлением. Масло подводится золотниковым распределителем, который приводится в действие от того паропровода, обслуживаемаго вентилем. Вентиль приводится в действие при помощи вспомогательного паропровода от главной сети, который подводится к особой мембране, удерживаемой в равновесии пружиной.

Перемещения мембраны передаются при помощи системы рычагов распределительному золотнику.

5. Применение теплособирателей

Применение теплособирателя Рутс в производстве, вследствие рационального использования пара дает возможность осуществить расширение производства. В производстве с колебаниями в расходе пара в условиях обычной работы теплосиловой установки без теплособирателя используется только часть производительности котлов, так как при уменьшении расхода пара машинами полезность использования котельной установки понижается, и паропроизводительность естественно падает, хотя бы потому, что подача топлива в топку уменьшается.

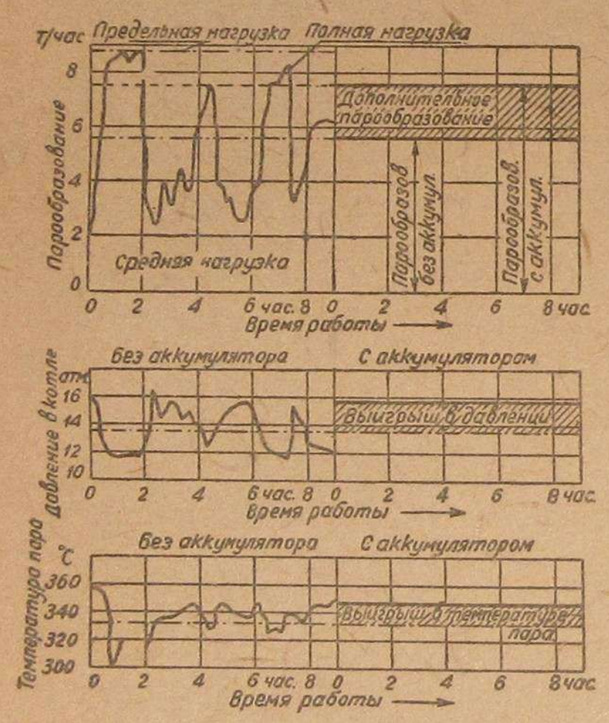


Рис. 209. Диаграмма, представляющая повышенное использование котельной установки с теплособирателем Рутс.

На диаграмме рис. 209 видно, что паропроизводительная способность котлов используется далеко не в полной мере. Количество пара, даваемое котельной установкой, значительно меньше того, которое может быть получено в одно и то же время с той же самой котельной установки. В рассматриваемой диаграмме работа котельной установки без теплособирателя „пик-нагрузка" покрывается за счет перегрузки котлов. При включении в установку теплособирателя Рутс данная котельная установка будет работать с полной нагрузкой при полном ее использовании. Повышение производительности котельной установки дает возможность увеличить производительность всего предприятия. Равномерность нагрузки котлов в течение всего времени и полный ее размер при работе с теплособирателем обеспечивают постоянное давление в котельной установке и вместе с тем постоянство температуры; при чем средние давления и температуры без теплособирателя ниже устанавливающихся постоянных давлений и температур при наличии теплособирателя (рис. 209).

Установка теплособирателя Рутс повышает не только полезность котельной установки, но и тепловую полезность паровых машин, которые работают паром более высокой температуры, т. е. с повышенным теплосодержанием. В случае использования пара в машинах с противодавлением, увеличивается их мощность, что повышает экономическую полезность паросиловой установки. При использовании пара из котельной установки с теплособирателем для технических целей — варки, пропарки или сушки время, необходимое на эти процессы, может быть сокращено, по сравнению с установкой без теплособирателя. В первой установке можно дать в единицу времени большее количество пара, используя усиленную паропроизводительность теплособирателя. На рис. 210 показано уменьшение времени, затрачиваемого на подогрев и кипячение в установке с теплособирателем и без него. По диаграмме время на подогрев при наличии теплособирателя сокращается на 70%, а длительность кипячения уменьшена в данном случае на 25%. Включение в теплосиловую установку теплособирателя оказывает влияние также и на качество вырабатываемых изделий при использовании пара для производства. Так, выработка фасонных изделий прессованием и штамповкой, в фанерном производстве сушка в лесопильном деле, варка клеев в столярном производстве требуют постоянства давления пара. Изменение в давлении при употреблении сухого или влажного пара вызовет соответствующее изменение температуры, что отразится на процессе производства. Производственный процесс будет протекать ненормально при изменении нагрузки машин, так как изменится расход пара, и сохранение постоянства давления в котле становится невозможным. При усиленном расходе пара, при некоторой задержке в питании котлов, парообразование становится более бурным, и пар получается более влажным. Направление влажного пара в нагревательные и кипятильные приборы ухудшает их действие, что приводит к увеличению брака в производстве.

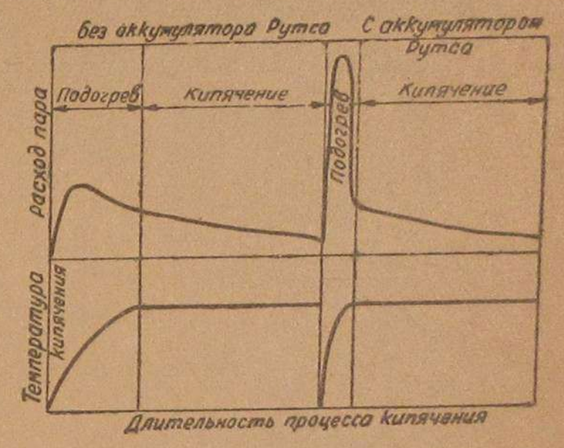


Рис. 210. Диаграмма уменьшения времени подогрева для кипячения при теплособирателе Рутс.

То же самое произойдет в сушилах, если пар, поступающий в калориферы, будет обладать значительной влажностью.

При наличии теплособирателя в котельной установке можно поддерживать постоянные давления и температуру, что обеспечивает правильность производственного процесса. Включение теплособирателя в котельную установку создает весьма существенные преимущества: возможность создания постоянного режима котельной установки, а следовательно, лучшее использование производи-

тельности паровых котлов; лучшее обслуживание установок для использования пара в производственных целях.

При выполнении теплособирателя Рутс необходимо иметь в виду, что в нем имеются потери давления и тепла, вследствие отдачи стенками наружу. Величина этих потерь пропорциональна поверхности и времени действия теплособирателя; эти потери возрастают при особо продолжительной зарядке или разрядке теплособирателя. На рис. 211 показаны кривые изменения величины поверхности теплособирателей Рутс, в зависимости от емкости и при различных отношениях длины к диаметру. На этой фигуре в левой ее части показаны кривые поверхностей для теплособирателя без изоляции, а в правой части — с изоляцией: при толщине изоляции

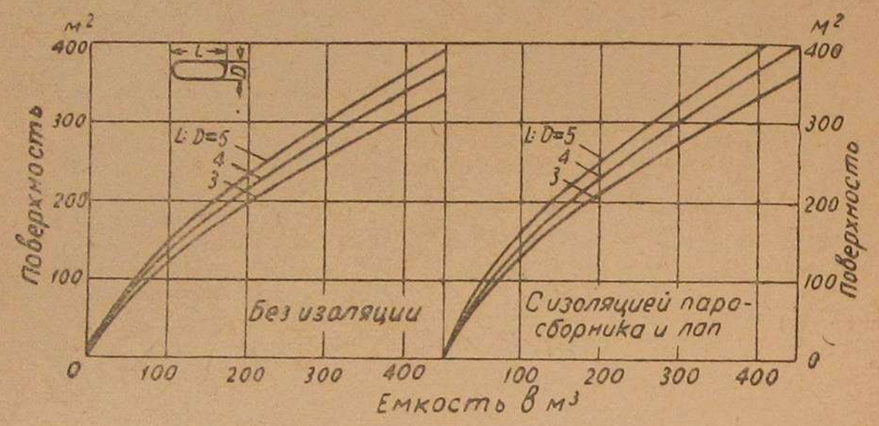


Рис. 211. Кривые изменения поверхности теплособирателя Рутс в зависимости от его емкости.

в 100 мм; отношение $\frac{L}{D}=3$, 4, 5 — первое значение принимается для малых теплособирателей, а высшие—для больших.

На рис. 212 представлены диаграммы потерь в теплособирателях Рутс. Здесь приведены величины потери давления, тепловых и температур. Температура пара в теплособирателе 120°, 150° и 180°, внешняя температура $t^{\circ}_{вз}=0^{\circ}$, коэфициент теплопередачи $k=0{,}6$ кал/м²г °Ц, отношение $\frac{L}{D}=5$.

Потери определены за 24 часа. Первый график дает потери давления за 24 часа; второй—потери тепла; третий—потери температуры. При отношении $\frac{L}{D}<5$. Потери уменьшаются: так, при $\frac{L}{D}=4$—на 7%, а при $\frac{L}{D}=3$ на 15%. Количество воды в теплособирателе составляет 96% всей вместимости теплособирателя, так что при среднем количестве воды 300 м³ емкость его будет равна $\frac{300}{0{,}96}=313$ м³. Диаграммы на рис. 211, 212 соответствуют этой емкости. Из этих диаграмм видно, что теплособиратель с изоляцией отдает 1—3% всего собранного тепла, в зависимости от его величины и разности температуры в течение 24 часов.

Потеря энергии в теплособирателе при охлаждении его, в зависимости от времени, приведена на рис. 213 для различных

температур пара—120°, 150° и 180 и теплособирателей различных объемов.

Емкость одного теплособирателя не превышает 400 м³, а потому в установках, требующих больших емкостей, ставят два и более теплособирателей. Потери в установках из нескольких теплособирателей не возрастают пропорционально их числу, а становятся несколько меньше, так как теплособиратели ставятся рядом так, чтобы их поверхности были расположены близко одна от другой, вследствие чего между ними происходит взаимное подогревание, что сокращает потери. Практика применения описываемых теплособирателей показала, что использование накопленного в них тепла уменьшает зависимость от растопки паровых котлов

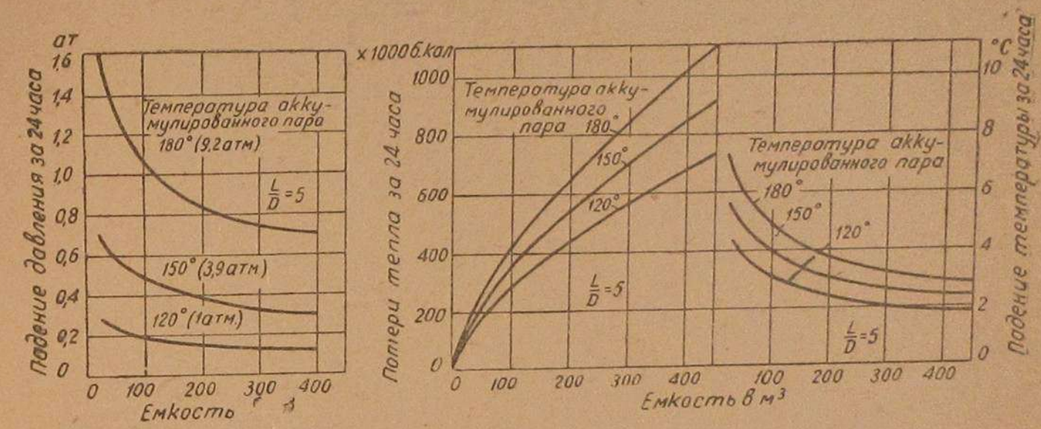


Рис. 212. Диаграмма потерь давления, температуры и тепла для разных температур пара за 24 часа охлаждения теплособирателя Рутс.

и подачи из них пара на работу приборов и аппаратов, в которых используется пар для производственных целей. В деревообрабатывающих производствах это обстоятельство имеет большое значение, так как сушила обычно работают круглые сутки без смен. Неизбежные перерывы в подаче пара из котлов или отработавшего пара из паровых турбин заставляют всегда иметь паровой резерв в каком-нибудь из котлов с необходимостью подвергать получаемый пар мятию до низких давлений 3—5 кг/см², с которыми пар поступает для использования в технологических целях.

По условиям теплового хозяйства в деревообрабатывающей промышленности, при установившемся расточительном отношении к отходам, вопрос необходимости иметь всегда готовый тепловой резерв для подачи пара непосредственно из котлов в приборы и аппараты производственного значения решается установкой особого котла, соответственно усиливая резерв. Однако, если бы в таких случаях устанавливали теплособиратель Рутс, то были бы уменьшены капитальные затраты, и вместе с тем теплособиратель представил бы много весьма существенных преимуществ. Так, при выходе из строя одного котла в небольшой установке, состоящей из двух-трех котлов, в которой работают два котла с полной нагрузкой, необходима растопка третьего резервного котла. На растопку этого котла потребуются 2—3 часа, в случае же невозможности использовать этот котел, положение в предприятии может стать

крайне неблагоприятным, так как единственный работающий котел может дать при перегрузке не более 25—30% производительности установленного котла.

Наличие теплособирателя Рутс дает выход из этого положения. Во время растопки резервного котла теплособиратель дает пар в те производственные установки, где отсутствие пара может вызвать ущерб. А при невозможности пустить резервный котел запас тепла в теплособирателе дает возможность довести технологический процесс в тех частях производства, где это необходимо, до конца. Наличие теплособирателей в теплосиловых установках лесопильных заводов и других деревообрабатывающих предприятий, расположенных в северных районах, где зимой при сильном морозе изменения температуры могут вызвать сильное охлаждение производственных аппаратов или заводских помещений, всегда даст возможность использовать запас тепла в нем для поддержания нужных температур там, где это требуется.

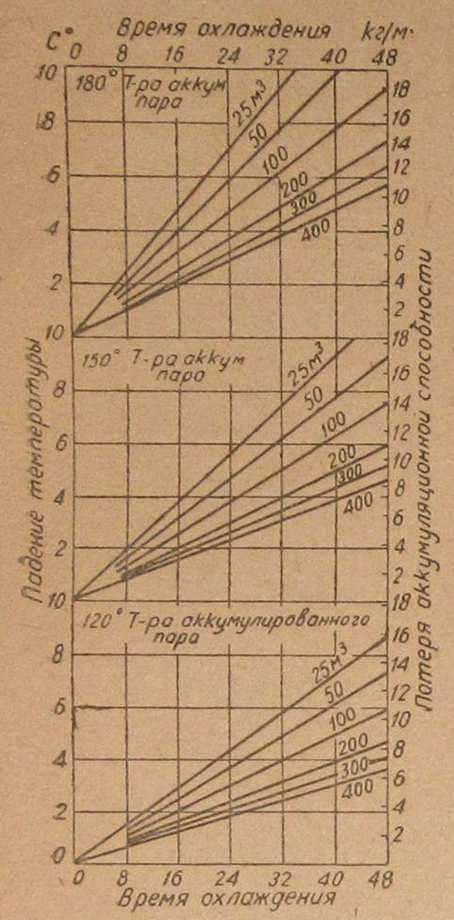


Рис. 213. Потеря энергии в теплособирателе при охлаждении для разных теплособирателей Рутс.

Продолжительность службы теплособирателей Рутс более значительна, чем паровых котлов по целому ряду причин:

1) теплособиратели подвергаются действию более низких температур, чем котлы;

2) изменение температур в теплособирателях Рутс меньше, так как в них нет внутреннего охлаждения;

3) конструкция теплособирателя Рутс проще, чем паровых котлов, а потому они дешевле;

4) в виду простоты устройства теплособирателя Рутс, их установка не теряет своего технического значения, что и наблюдается в Швеции, где теплособиратели работают в течение 15—16 лет; тогда как котлы, в связи с непрерывным усовершенствованием их конструкции быстро утрачивают свое соответствие требованиям техники.

При установке теплособирателя Рутс, как было выяснено выше, работа котельной установки протекает при постоянном режиме, а потому нет потерь, неизбежных при изменении нагрузки. Потери в котельной установке при изменении нагрузки в котлах старых типов значительны, достигая 20—25%, вследствие нарушения равномерности процесса горения и появления сажи, так как при понижении паропроизводительности в котле уменьшается расход топлива и, вместе с тем, понижается температура в топке и дымовых газов. На рис. 214 показаны изменения полезности котла

с цепной колосниковой решеткой в 300 м² при неравномерном расходе пара в водотрубном котле с крутонаклонными трубками. При колебаниях, не превышающих + 25%, потери составляют 2—3%, а при колебаниях ± 50% потери составляют от 5—8%. При

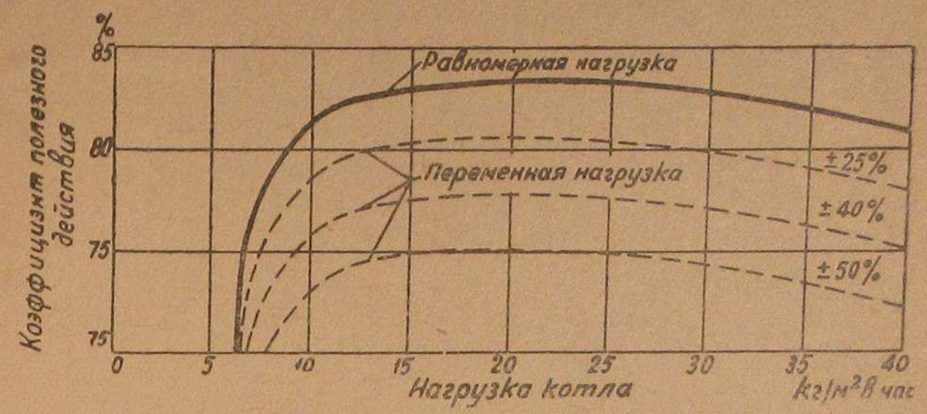


Рис. 214. Изменение полезности котла в 300 м² с цепной колосниковой решеткой вследствие колебания напряженности поверхности нагрева.

наличии в установке теплособирателя Рутс эти потери могут быть устранены полностью.

В заключение необходимо выяснить, какую площадь следует отвести для установки теплособирателей. По сведениям, данным инж. Рутс для горизонтальных теплособирателей средних величин, т. е. рассчитанных на сбор пара в количестве 50—120 кг/м³, необходимо 10 м² установочной площади при подаче пара в 1 т/час. Вообще же установочная площадь теплособирателей зависит от их емкости и длительности разрядки. На рис. 215 показаны кривые необходимой установочной площади для теплособирателей Рутс, в зависимости от теплособирательной способности. Эти кривые относятся к теплособирателям различной величины (от 50—400 м³) при различных условиях разрядки.

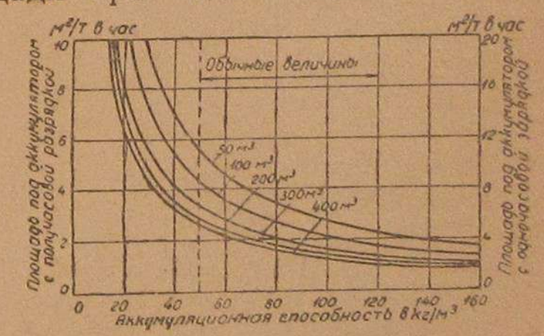


Рис. 215. Кривые необходимой установочной площади для теплособирателей Рутс.

Устройство в теплосиловой установке теплособирателя оказывает влияние также и на качество вырабатываемых предметов. Так, в фанерном производстве выработка фасонных изделий прессовкой и штамповкой или сушка в лесопильном и столярном производствах, варка клеев требуют постоянства давления пара и внимательного наблюдения за сохранением давления. Изменение в давлении при употреблении сухого пара вызовет соответствующее изменение температуры, что отразится на процессе и качестве производства.

Изменение давления или количества пара, подаваемого к приборам, вызовет снижение температуры, а следовательно, процесс

сушки или варки будет протекать при изменившихся условиях, что нанесет ущерб производству. А при изменениях в расходе пара невозможно сохранить постоянное давление в котлах.

При усилении расхода пара при некоторой задержке в питании котлов процесс парообразования становится более бурным, соединенным с бурлением и образованием пара с повышенной влажностью. При направлении влажного пара в нагревательные или кипятильные приборы действие их ухудшается, что приводит к увеличению брака в производстве.

XXIX. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СО СТОРОНЫ И ОТДАЧА ЕЕ НА СТОРОНУ В ТЕПЛОСИЛОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Многие предприятия деревообрабатывающей промышленности пользуются электрической энергией с районных электростанций и соседних промышленных предприятий. Электрическая энергия со стороны получается в качестве резерва или добавочной энергии при недостаточности своей установки, которая не может быть увеличена. Получение энергии со стороны происходит в местах с высокоразвитой промышленностью и налаженным центральным энергоснабжением. Такое получение тока имеет существенное преимущество в том, что не приходится производить капитальные затраты на оборудование или дооборудование собственной силовой станции и расходовать средства на содержание, ремонт и обслуживание. Но все же получение энергии со стороны при указанных преимуществах имеет отрицательную сторону. Малейшая неисправность в работе центральной станции или порча ее сети болезненно отражается на работе предприятия. Руководитель предприятия легче может следить за работой и состоянием силовой станции при своем предприятии, чем за деятельностью центральной силовой электростанции, от которой он отделен расстоянием и обособленностью организации таковой.

Для деревообрабатывающих предприятий ведение своего энергетического хозяйства связано с наличием своего топлива, которое при снабжении энергией со стороны не будет использовано вообще, и только при близости районной станции может быть направлено туда с выгодой для потребителя топлива—центральной районной станции. Необходимость иметь в деревообрабатывающих предприятиях большое количество технологического пара потребует организации своего теплосилового хозяйства, полностью обслуживающего предприятия силовой энергией и паром. Разделение силового и теплового хозяйства было бы для предприятия невыгодно. Получение электрической энергии со стороны и установка котлов низкого давления для технологического пара возможны лишь при очень малом расходе электроэнергии и большом расходе пара, что наблюдается в столярно-механических производствах. В значительном большинстве деревообрабатывающих производств расходуется в большом количестве силовая энергия и теплота для производства.

Выработка энергии на своих установках в 1933 г. была 198,5 млн. квт-час., вместе с тем в ряде областей электроэнергия подавалась предприятиям со стороны в количестве 69,16 млн. квт.-час., что составляет 34% собственной выработки. На ряду с получением энергии со стороны некоторые предприятия давали энергию на сторону в количестве 14,9 млн. квт-час., что составляет 7% своего производства энергии.

В Северном крае лесопильные предприятия, принадлежащие к экспортной группе, получили со стороны 35,58 млн. квт-час., а на своих станциях выработали 31,82 млн. квт-час., т. е. получение энергии по сравнению с выработанным количеством составит 111%, а отданное количество энергии на сторону 4 млн. квт-час. составляет 11% по отношению к выработанной энергии. В этой области централизованное снабжение электроэнергией сосредоточено в районах, тяготеющих к Архангельску, как промышленному центру, обслуживаемому районной центральной электростанцией и силовыми станциями при предприятиях.

В Ленинградской области лесопильными предприятиями получено со стороны 13,2 млн. квт-час. против собственных 22,53 млн. квт-час. или 58%. Одновременно отдано на сторону 5,34 млн. квт-час. или 24%. Одно из предприятий, отдающих энергию на сторону,—катушечная фабрика (имени Володарского) в Ленинграде, которая в 1934 г. отдала в кольцо „Ленэнерго“ 3480,9 тыс. квт-час. или 35% своей выработки.

Сама катушечная фабрика расходует 4789,8 тыс. квт-час. (49% всей выработки) и отдает еще Невскому мыловаренному заводу 1469,8 тыс. квт-час. (16%).

Потребность в электрической энергии катушечной фабрики и снабжаемых ею абонентов в 1934 г. по кварталам составляет:

Цехи фабрики	НМЗ	Кольцо „Ленэнерго“	Вся выработка
I 1150 тыс. квт-час.	363,1	860,9	2374,0
II 1215 „ „	363,1	720	2298,1
III 1200 „ „	375,4	700	2275,4
IV 1224,8 „ „	367,2	1200	2792,0
4789,8 тыс. квт-час.	1468,8	3480,9	9739,5

Теплосиловая станция катушечной фабрики использует для себя 49% из всей вырабатываемой энергии и отдает на сторону 51%. По использовании своей теплосиловой станции катушечная фабрика в Ленинграде является одним из немногих предприятий в деревообрабатывающей промышленности, которое полностью использует свои отходы, и недостаток в топливе покрывается дровами с рынка.

В Московской области получено энергии со стороны больше, чем в других областях, а именно: 5 млн. квт-час., тогда как собственной выработки 7 млн. квт-час., следовательно, снабжение со стороны составило 70% по отношению к своей выработке. Сравнительно небольшое количество энергии, выработанное самими предприятиями, и получение относительно большого количества энер-

гии со стороны объясняется малыми размерами собственных силовых станций лесопильных заводов. Получение энергии со стороны не служит доказательством недостатка в отходах. Вернее, надо предположить, что теплосиловые установки предприятий, получающих энергию со стороны, недостаточны по своей мощности и увеличение их мощности затруднительно.

XXX. СТАХАНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Стахановское движение, как высшая форма социалистического соревнования в нашей промышленности, требует основательного переустройства теплосилового хозяйства.

Стахановское движение нашло яркое проявление в деревообрабатывающей промышленности и работе стахановцев на лесопильных заводах. Превышение норм распиловки теперь стало обычным делом в практике лесопильных заводов. Стахановцы-лесопильщики завода „Пионер" в Ленинграде дали за сентябрь 1936 года перевыполнение плана, в среднем, на 116%, при этом наибольшее превышение—127% и наименьшее—102,6%. Фактическая производительность завода „Пионер" в III квартале „по пропуску"—115,5 м³ на рамосмену. Принимая же во внимание непрерывно возрастающую активность стахановцев, на IV квартал производительность намечена в 117,2 м³ (рамосмену), и можно предполагать, что и эта производительность будет перевыполнена. Охтенский завод в Ленинграде дал превышение производительности за первую половину октября 1936 г. в 113%.

Рост стахановского движения в деревообрабатывающей промышленности и дальнейшее развитие производительности далеко не исчерпываются уже имеющимися достижениями.

Применение стахановских методов дает уверенность в полной возможности повышения производительности оборудования в предприятиях Главлесдрева по пропуску сырья до 108 м³ в смену, вместо установленной на 1936 г. выработки 74 м³. И, действительно, выше было показано, что завод „Пионер" поднял свою производительность до 115 м³ и поднимает до 117 м³.

Теплосиловые установки предприятий лесной промышленности дореволюционного времени состояли из старых паровых машин со старыми котлами, с давлением, в среднем, 7—8 кг/см² в возрасте 35 лет и выше.

Новые предприятия, построенные во время первого и второго пятилетия, отличаются котлами повышенного давления до 35 кг/см² абс. и новыми установками паровых турбин.

Современные удельные расходы электроэнергии на 1 м³ изделий в лесопильных, фанерных и спичечных предприятиях необходимо признать повышенными, вследствие нерационального использования производственного оборудования. Повышение производительности труда в лесопильном и других производствах, показанное стахановцами, снижает удельные расходы энергии и дает тем самым возможность расширить производство.

В новых деревообрабатывающих предприятиях, и даже в старых, при тщательном управлении паровыми котлами и повышении средних значений паросъема, возможно использование имеющихся резервов в теплосиловых установках.

Из приведенных показателей роста производительности следует основное требование стахановского движения к теплосиловому хозяйству.

Необходимо тщательное наблюдение за котельными установками для повышения паросъема с поверхности нагрева и установление равномерного расходования пара в машинах для использования избыточной энергии в новых производственных установках.

Стахановское движение в обслуживании теплосиловых установок должно полностью обеспечить бесперебойную работу деревообрабатывающих предприятий для достижения максимальной производительности труда.

Работа стахановцев энергетиков в деревообрабатывающей промышленности показала, что повышение паросъема в котлах выполняется свободно без вреда для них. Так, стахановцы катушечной фабрики им. Володарского в Ленинграде довели паросъем в трехбарабанных котлах своей станции, имеющих поверхность нагрева 300 м², при давлении 18 кг/см² ман. и паре в 400° до 35 кг/м² час и при форсировке до 40 кг/м²-час, тогда как при сдаче поставщиком паросъем был 22 кг/м²-час (парадный расход), при чем ранее удалось повысить паросъем у одного из котлов до 27 кг/м²-час только после переделки его топки. На Охтинском заводе стахановцы подняли паросъем старого ланкаширского котла в 103 м² и при давлении 8 кг/см² ман. с обычных 18—20 кг/м²-час до 27 кг/м²-час, что для такого котла должно быть признано значительным повышением паропроизводительности.

Задача стахановского движения в теплосиловом хозяйстве деревообрабатывающей промышленности заключается в повышении мощности существующего оборудования сверх проектных и расчетных норм. Вместе с тем, для повышения работоспособности энергооборудования весьма существенно сокращение простоев котлов в ремонте.

Время, необходимое для ремонта, может быть доведено до наименьшей продолжительности. Это показала блестящая работа стахановцев-энергетиков в Донецком бассейне.[1] Так, до стахановского движения средняя производительность ремонта котельных установок было от 25 до 40 дней, теперь же ремонт крупных котлов с поверхностью нагрева 800—1500 м² производится от 5—6 дней до 10—12. При среднем простое котлов по Главэнерго—22% в Севгрэс за 10 месяцев 1935 г. котлы находились в простое всего лишь 11%, а по отдельным котлам—не более 9%. При этом паросъем в котлах был повышен на 20—25%.

Несомненно, что опыт стахановцев-энергетиков больших электростанций может быть перенесен в теплосиловые установки деревообрабатывающей промышленности. На Охтинском заводе чистка

[1] „Энергетика" за 1936 г. кн. 2—Резолюция Всесоюзных слетов стахановцев-энергетиков.

и ремонт арматуры котлов проходили в течение 2 недель, а теперь ланкаширский котел 103 м² и локомобиль с котлом в 64 м² чистят с необходимыми ремонтами в течение 5 дней, при чем завод отказался от установленного ранее срока в 1 месяц для ремонта котлов и машин, а производит их на ходу.

Мероприятия, поднимающие энергетическое хозяйство деревообрабатывающей промышленности, помогут осуществить программу повышения производительности, намеченную партией и правительством для Наркомлеса.

Эти меры, проводимые стахановцами-энергетиками, нижеследующие.

Резервная производительность котельных установок может быть обнаружена повышением определенного для данной котельной установки паросъема и увеличением рабочих периодов котельной установки с сокращением длительности ремонта при повышении качества ремонтных работ.

Повышение паросъема достигается тщательным изучением котельной установки и продуманностью организации ухода с соблюдением всех требований рационализации рабочего процесса. Для этой цели необходимо полное использование топочного пространства и улучшение процесса горения с доведением потерь в топке и котле до наименьших значений. Улучшение условий тяги и дутья с переустройством топочной камеры для ее увеличения в случае недостаточной полноты сгорания топлива.

Повышение температуры питательной воды и ее предварительная обработка с непрерывным контролем качества необходимы для улучшения работы котельной установки. Для питания котла теплосиловая станция должна быть обеспечена чистой водой без минеральных примесей, лишенная газов. Недопустимо положение, когда при наличии водоочистительных устройств они бездействуют, а котлы высокой паропроизводительности получают воду непосредственно из естественных водоемов. При несоответствующих качествах питательной воды неизбежно засорение солями трубок пароперегревателя.

Продолжительность работы котла зависит в значительной мере от состояния топочной камеры, для чего должно быть устранено разрушение ее обмуровки, а это может быть достигнуто при постоянном наблюдении за температурой в ней и применении мер для предупреждения повышения последней.

При переходе к повышенным давлениям и высоким температурам в котельных установках деревообрабатывающей промышленности необходимо устройство в топках защитных экранов. При засорении трубок в первых дымоходах удаление шлаков нужно проводить на ходу применением периодической продувки; такой же способ должен быть введен в практику для очистки поверхности нагрева котлов.

Котельная арматура должна находиться под постоянным наблюдением для предупреждения расстройства, которое всегда вызывает перерывы в работе котлов.

Сокращение сроков ремонта котлов может быть достигнуто правильной организацией и предварительной подготовкой работ,

сбором заранее всех необходимых материалов и инструментов и составлением плана работ, для чего необходимо иметь запасные части для вспомогательных механизмов котельной установки и арматуры, которые могут быть немедленно установлены в случае порчи. Большое значение в успешном выполнении работ имеет специализация бригад рабочих по отдельным частям котельной установки.

На ряду с этими мерами должно быть проведено коренное улучшение состояния котельных помещений и усиление освещенности их.

В переустройстве теплосилового хозяйства в духе новейших требований промышленности необходимо усовершенствование котельных установок. Для экономической выгодности паросилового хозяйства необходимо повышение давления в котлах от 35 кг/см² до 40 кг/см² и выше.

Котлы новейших систем, применяющиеся в теплосиловом хозяйстве деревообрабатывающей промышленности, строятся в СССР для напряженности поверхности нагрева нормальной—35—40 кг/м²-час и усиленной 45—50 кг/м²-час. В современных установках нет никаких препятствий к работе при более высокой паропроизводительности, чем это бывает обычно в производстве. Современные котельные должны быть оборудованы золоудалительными устройствами, действующими при помощи механических средств, которые при дешевизне исключают возможность какого-либо вреда для жизни и здоровья лиц, обслуживающих котельную установку.

Экономное расходование пара требует правильного и надежного устройства трубопроводов при наименьшей потере тепла и пара. Отсюда следует современное требование тщательной проверки и непрерывного наблюдения за состоянием трубопроводов.

К стахановским методам работы необходимо отнести умелое управление паровыми машинами, турбинами и локомобилями с наибольшей производительностью при экономичности их обслуживания. Для выполнения этих требований необходимо сокращение сроков просмотра паровых машин и турбин. Вместе с тем, нужно повышение мощности машин установлением твердого предела нагрузки для использования при длительной наибольшей мощности; одновременно необходимо повысить степень использования паровых машин и турбин, что будет достигнуто выявлением причин, нарушающих непрерывность работы.

Особенное внимание должно быть обращено на состояние смазочных систем и качество смазочных масел. Улучшение этой стороны теплосилового хозяйства послужит к удлинению сроков работы машин, находящихся в исправном состоянии, действующих без перебоев, отодвигая предупредительные осмотры ко времени остановки всего предприятия.

Предупредительный ремонт может проводиться на ходу. Промывка паровых турбин и очистка холодильников также может осуществляться на ходу. Для предупреждения образования осадка на лопатках турбин необходимо повышение чистоты пара. Особенно важное значение имеет правильная организация ремонтных работ паровых машин и турбин со всеми подготовительными мерами для своевременного проведения предупредительного ремонта.

Все перечисленные меры сократят время простоя паровых машин и турбин.

Сокращение расхода пара на 1 л. с.-час возможно и в старых машинах при тщательном наблюдении и уходе за ними.

Для повышения производительности устарелого силового оборудования лесопильных и других деревообрабатывающих заводов и устранения его несоответствия требованиям социалистической промышленности необходимо обновление паровых машин, применяя перевод с насыщающего пара на перегретый и другие способы, повышающие их полезность.

Из цифр расхода энергии и пара в лесопильной и фанерной промышленности, приведенных выше, можно сделать вывод о необходимости их снижения в условиях стахановской работы.

Итак, понижение удельных расходов силовой энергии и пара на изделие во всех производствах деревообрабатывающей промышленности—новое требование, предъявляемое стахановским движением в производстве к теплосиловому хозяйству.

Выбор двигателя для установки должен удовлетворять в полной мере требованиям, предъявляемым развитием социалистической промышленности: наибольшей надежности в работе, наименьшего расхода энергии, пара и топлива, выгодности использования и удобства в эксплоатации. Во всех теплосиловых установках должно быть широко применено использование отработавшего пара для производства и других нужд.

Рационализация использования энергетического оборудования невозможна без правильно поставленного теплового хозяйства. Деревообрабатывающая промышленность обладает собственными запасами топлива в виде отходов. Однако, отходы являются сырьем для производств в деревообработке и лесохимической промышленности.

Вопросу об отходах в деревообрабатывающей промышленности должно быть отведено значительное место в требованиях стахановского движения к теплосиловому хозяйству для рационального использования их, как топлива, и для переработки.

Цель стахановского движения в теплосиловом хозяйстве деревообрабатывающей промышленности: определение условий для работы котельных установок с паровыми машинами и турбинами без перерывов и аварий при повышенном паросъеме в котлах и увеличенной мощности машин двигателей с наименьшим расходом пара.

Выполнение этой цели приведет к полному использованию резервов, имеющихся в существующих теплосиловых установках, и в связи с экономическим расходованием топлива, при тщательном и целесообразном управлении энергетическими установками будет способствовать росту производительности труда в социалистической промышленности СССР.

Стахановское движение, несмотря на сравнительно краткий срок, протекший со времени его зарождения, уже вышло из первого периода своего развития, когда в разнообразных отраслях промышленности появились пионеры этого движения, дававшие невиданные до тех пор показатели производительности труда.

В настоящее время в предприятиях идет процесс организованного массового внедрения в производство рациональных—стахановских приемов труда для повышения производительности не на одном рабочем месте, а в цехах и даже целых предприятиях, охватывая сплошь работников данного рода производственного процесса. Вокруг инициаторов стахановского движения организуются группы наиболее энергичных и активных рабочих, которые воспринимают способы работы, установленные практикой стахановского движения в данном предприятии.

Формы передачи стахановского опыта за повышение производительности могут быть весьма разнообразны. Воспитание и подготовка кадров стахановцев должны вестись руководителями производства и бригад, организуемых для выполнения производственных заданий.

Распространение стахановских методов работы, в соединении с постоянным наблюдением за развитием рациональных приемов работы, должно сопровождаться закреплением накопленного опыта и содержанием в кратких описаниях наиболее удачно проведенных работ, с демонстрацией приемов, дающих наилучшие результаты в деле борьбы за повышение производительности труда.

Обмен опытом мастеров-стахановцев с молодыми участниками движения может осуществляться в собеседованиях в технических кружках, в заводских конференциях и на съездах передовых рабочих; все эти способы общения знакомят с приемами, вырабатываемыми разными предприятиями, и расширяют круг участников движения за увеличение производительности.

При осуществлении намеченных способов внедрения стахановского движения необходима самая тесная связь всех участников производственного процесса в любой отрасли промышленности.

Организация стахановской работы в мастерской, в цехе в целом предприятии невозможна без охвата всех участников производственного процесса от главного инженера, инженера начальника цеха или мастерской до рабочего, выполняющего простейшую работу.

Подъем производительности труда не осуществится, если работники не будут отдавать себе ясного отчета в назначении мер, принимаемых для повышения производительности труда.

В теплосиловых установках, которые в каждом предприятии необходимо рассматривать, как самостоятельный цех, питающий все предприятие, внедрение стахановских методов может осуществляться всеми вышеперечисленными способами.

Инженер, ведущий теплосиловое хозяйство деревообрабатывающего предприятия, должен помнить, что почин в борьбе за повышение производительности своего теплосилового цеха прежде всего принадлежит ему. Те стороны теплосилового хозяйства, на которые необходимо обратить внимание для повышения производительности котлов и машин и рационального использования тепла, были указаны выше. К этим то мероприятиям — рационализации теплосилового хозяйства инженерами-теплотехниками — должно быть привлечено все внимание технических работников теплосилового хозяйства.

Проявление почина техническими работниками в проведении стахановских методов должно быть поддержано всеми техническими силами предприятия—от директора и главного механика инженера-теплотехника до машиниста, электромонтера, кочегара и подвозчика топлива.

Здесь-то должно проявиться единение в стремлении к цели, поставленной стахановским движением.

В детально выработанном плане внедрения в жизнь стахановских требований к теплосиловому хозяйству необходимо ясно и отчетливо определить те новые формы работы, которые вводятся для рационализации производственного процесса теплосилового хозяйства.

Необходимо в инструкциях как письменных, так и устных подробно разъяснить новые обязанности всех работников „теплосилового цеха“ от инженера до подвозчика топлива. Но, кроме обязанностей, должны быть также отчетливо определены права всех участников производственного процесса.

Без ясного осознания своих прав, в особенности в проявлении почина и инициативы, невозможно воспитание передовых борцов за повышение производительности труда.

Со стороны технического персонала всякая инициатива, ведущая к повышению производительности, должна всемерно поддерживаться и поощряться.

Только при таком проведении стахановского движения в теплосиловом хозяйстве, которое является главнейшей частью производственного процесса предприятия в целом, воспитываются полноценные стахановские кадры, сознающие свои обязанности с чувством ответственности за порученное им дело.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Ауфгейзер—Топливо, 1933.
Бенбери—Сухая перегонка дерева, 1933.
Бутаков—Паропроводы электростанций, 1932.
Грановский—Котельные установки, 1930.
Горянов—Типизация паровых турбин I и II, 1933.
Гум—Подогрев воздуха в котельных установках, 1928.
Гордон—Вода и ее очистка, 1927.
Гордон—Водоподготовка в силовом хозяйстве, 1932.
Долежаль — Основы проектирования паросиловых установок.
Кротов—Технология дерева, 1934.
Клингенберг—Сооружение крупных электростанций, 1927.
Комптон—Локомобиль, 1933.
Крафт — Современные паровые турбины.
Лаговский—Теплосиловые установки ц. эл. ст., 1932.
Лурье—Сушильное дело, 1934.
Макаров—Теория и практика тепловой изоляции, 1931.
Малеев и Белоконьский—Искусственная сушка, 1933.
Меерович — Эксплоатация центр. эл. станций.
Ногин—Утилизация отходов, 1933.
Павлов—Локомобиль и его работа, 1933.
Петелин—Регенеративный подогрев воды, 1932.
Смирнов—Фанерное производство, 1933.
Хенхен—Внутризаводский транспорт, 1931.
A. E. G. Elektrizität in der Papier-Industrie, 1932.
Balcke. Die Abwärmetechnik I, II, III, 1928.
Braunshirn. Das Sägewerk, 1933.
Charbonier. Die Lokomobile, 1921.
Flügel. Die Dampfturbinen, 1933.
Gerbel-Reutlinger. Kraft und Wärmewirtschaft in der Industrie I, II, 1930.
Goldstern. Dampfspeicheranlagen, 1933.
Swosdz. Generatorgas, 1921.
De Grahl. Verwertung von Abfall und Uberschussenergie, 1927.
Haslam und Russel. Fuels and their Combastion, 1933.
Hottinger. Abwärmeverwertung, 1922.
Kyser, Elecktrische Kraftübertragung III, 1923.
Laszberg. Die Wärmewirtschaft iu der Zellstoff u. Papierindustrie, 1926.
Müller. Die Papierfabrikation und deren Maschinen.
Pretorius. Wärmewirtschaft im Kesselhaus, 1930.
Rühl. Die Speisewasservorwärmer, 1927.
Schwedler. Handbuch der Rohrleitungen.
Schneider. Die Abwärmeverwertung im Kraftmaschienenbetrieb, 1926.
Второй пятилетний план развития народного хозяйства СССР.
Труды I Всесоюзной Конференции реконструкции лесной промышленности Вып. III и IV.
Известия Всесоюзного Теплотехнического института 1929, 1932 г.
Советское котлотурбостроение, 1934.
Вестник „Наука и Техника“ 1932.
Энергооборудование СССР, вып. I и II, 1934.