

А. ПОЛЬГАУЗЕН.  
ПАРОВЫЕ КОТЛЫ.

I

1905

А  $\frac{298}{11}$















322  
A 298  
11  
А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.  
Профессоръ.

# ПАРОВЫЕ КОТЛЫ,

ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА И УСТАНОВКА.

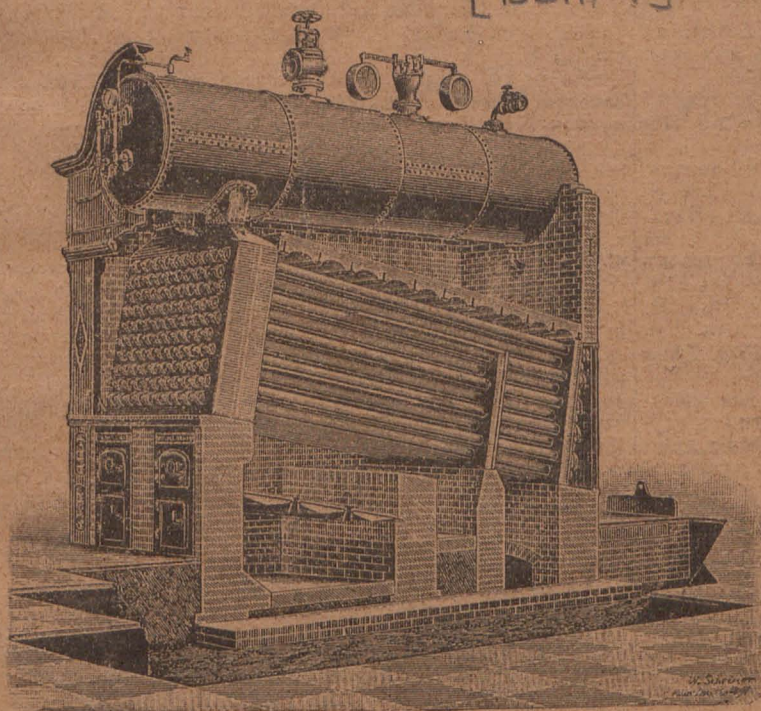
ПЕРЕВЕЛЪ СЪ 3-го НѢМЕЦКАГО ИЗДАНІЯ

Л. А. Боровичъ.

Инженеръ-Технологъ.

[вып. 1]

Съ чертежами въ текстѣ



и 32 таблицами въ краскахъ.

ИЗДАНИЕ Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.

1905.



# Изданія Книжного Магазина Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.

**Аббасъ, Ф. В.** Краткій общедоступный курсъ по обработкѣ металловъ. Строганіе и пиленіе. Сверленіе. Обточка. Шлифовка и полировка. Пайніе. Ковка. Луженіе. Очистка металлч. вещей. Нарѣзка винтовъ и гаекъ. Прессованіе и выдавливаніе. Чеканка. Формовка и отливка. Травленіе. Бронзированіе. Волоочильный станокъ и работа на немъ. Прокатка. Рѣзная работа. Гравировка. Гальванопластика. Золоченіе и серебрленіе. Приготовленіе инструментовъ. Приготовленіе различн. издѣлій изъ бронзы, нейзильбера, мѣди и проволоки. Силаны, клен и замазки. Перев. съ 3-го нѣм. изд. и дополниль Инж. С. Калецкій. Съ 150 рис. 2 р.

**Бартъ, Фр.** Паровые котлы. Краткое, общедоступное руководство для учащихся и практиковъ, съ примѣр. Перев. съ нѣм. Инж. Л. Боровичъ. Съ 66 рис. 1904. 80 к.

**Бартъ, Фр.** Паровыя машины. Краткое, общедоступное руководство для учащихся и практиковъ, съ примѣрами. Перев. съ нѣм. Инж. Л. Боровичъ. Съ 48 рис. 1904. 80 к.

**Борхардъ, Д-ръ В.** Открытіе Рентгена: новый родъ лучей. Общепонятное изложеліе. Перев. съ нѣм. Съ 10 рис. и 3 иллюстр. 40 к.

**Борхерсъ, В.** Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Перев. съ 2-го нѣм. изданія С. И. Созонова. Сод. щелочные и щелочно-земельные металлы, земельные металлы (алюминій и т. п.), тяжелые или рудные металлы (золото, серебро, цинкъ, кадмій, ртуть, олово, свинецъ, висмутъ, сурьма, хромъ, желѣзо и т. п.). 423 стр. съ 190 рис. и 3 табл. 98. 5 р.

**Брюгелъманъ, Д-ръ В.** Астма, ея сущность и лѣченіе. Перев. съ нѣм. изд. Д-ра С. К. 130 стр. 96. 1 р.

**Варъ, А.** Краткій общедоступный курсъ планиметріи для самообученія. Перев. съ нѣм. 96 стр. съ 188 рис. 1 р.

**Вадивасовъ, Ф.** Современный токарь. Полное руководство токарнаго дѣла со многими рисунками и таблицами. (Печатается). Цѣна около 3 р.

**Видеманъ и Эбертъ.** Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣм. Вып. I. Общая часть. 1 р. 50 к. Вып. II. Теплота. 1 р. 25 к. Вып. III. Оптика. 2 р. Вып. IV. Электричество. 2 р. 25 к. Цѣна всего изданія 5 р.

**Виттъ, В. И.** Наставленія для оказанія первой помощи въ несчастныхъ случаяхъ, происшедшихъ отъ дѣйствія электрич. тока. Перев. съ нѣм. съ дополнен. 15 стр. съ 4 рис. 1900. 10 к.

**Гейгенмиллеръ, Р.** Краткій общедоступный курсъ по дифференціальному и интегральному исчисленіямъ (важнѣйшія свѣдѣнія). Перев. съ нѣм. Съ 42 рис. 1 р. 50 к.

**Гейгенмиллеръ, Р.** Краткій общедоступный курсъ механики для самообученія. Съ 456 задачами. Перев. съ нѣм. 218 стр. съ 156 рис. 2 р.

**Гуммель, Л.** Краткій общедоступный курсъ по паровымъ машинамъ для самообученія. Перев. съ нѣм. Съ 71 рис. и 6 табл. 1 р. 50 к.

**Гуммель, Л.** Краткій общедоступный курсъ по сопротивленію матеріаловъ для самообученія. Перев. съ нѣм. 48 стр. съ 46 рис. 60 к.

**Деккертъ, К.** Краткій общедоступный курсъ по гидравлическимъ двигателямъ для самообученія. Пер. съ нѣм. Съ 63 рис. и 1 табл. 1 р. 20 к.

**Дитрихкейтъ, О.** Быстрое счисленіе. Семизначные логарифмы и антилогарифмы всѣхъ четырехзначныхъ чиселъ и мантиссъ отъ 1000—9999. Для достиженія быстрого вычисленія съ 4—7 знаками

примѣнены цифровой указатель на поляхъ страницъ и особое устройство интeрполированія. Кромѣ того включены таблицы квадратовъ, кубовъ, квадратныхъ и кубическихъ корней отъ 1—1000. Для практическаго примѣненія логарифмическихъ таблицъ предварительныхъ познаній по математикѣ не требуется. Всякій, кто умѣетъ складывать и вычитать, можетъ безъ труда пользоваться ими. Перев. съ нѣм. С. Соколовскій. Въ пер. 1 р. 50 к.

**Евангуловъ, М. Г.** Нефтяное отопленіе регенеративныхъ, сварочныхъ, пудлинговыхъ печей и кузнечныхъ горновъ и нѣкоторыя системы отопленія паровыхъ котловъ. Съ 85 рис. 2 р.

**Ермолинъ, Н.** Общедоступное практическое руководство къ пользованію карманной счетной линейкой. 23 стр. 1905. 40 к.

**Ефремовъ, А.** Таблицы для подбора сѣченій желѣзныхъ двутавровыхъ балокъ Русскаго Нормальнаго Метрическаго Сортамента. Пособіе при составленіи проектов и смѣтъ для г.г. инженеровъ, архитекторовъ и техниковъ. 1902. 1 р. 25 к.

**Жендзянъ, С. В.** Устройство и веденіе доменныхъ печей и производство различныхъ чугуновъ. Перев. съ франц. изд. A. de Vathaire, со многими дополненіями. Около 800 стр. со многими рис. и таблицами. 1904. 10 р.

**Иссель, Г.** Внутренняя отдѣлка зданій. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣм. Съ 533 чертеж. и 7 табл. 3 р.

**Иль, В.** Сборникъ замазокъ и клеевъ. Перевелъ съ 4-го нѣм. изд. С. Калецкій. 1 р.

**Кайзеръ, д-ръ Р.** Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химич. путемъ. Химическіе матеріалы. Металлы. Силаны. Закалка и отпусканіе. Пайніе и свариваніе. Склеиваніе замазкой. Травленіе. Покриваніе одного металла другимъ. Протравка и окраска. Полированіе и очистка. Лаки и краски. Мѣры гигиены при обработкѣ металловъ. Перевелъ съ нѣм. А. Комаровскій. 127 стр. 1897. 1 р.

**Кильманъ, П.** Краткій общедоступный курсъ по графостатикѣ (важнѣйшія свѣдѣнія) для самообученія. Перев. съ нѣм. Съ 88 рис. и 44 табл. 1 р. 50 к.

**Кильманъ, П.** Краткій общедоступный курсъ стереометріи для самообученія. Перев. съ нѣм. 108 стр. съ 53 рис. 1 р.

**Кильманъ, П.** Краткій общедоступный курсъ тригонометріи для самообученія. Перев. съ нѣм. 128 стр. съ 61 рис. 1 р. 50 к.

**Корольковъ, А. Л.** проф. Краткій курсъ электротехники для студентовъ, инженеровъ и электротехниковъ. Со многими рисунками въ текстѣ. Изд. 2-е, переработ. и дополн. 1904. 3 р.

**Краутъ, Ф. и Фр. Мейеръ.** Плотничныя и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Полы, двери, окна, обшивка и украшеніе стѣнъ, потолки, лѣстницы. Перев. съ нѣм. подъ ред. Гражд. Инженера Л. Гогина. Съ 372 черт. въ текстѣ и 82 табл. 10 р.

**Кюнклеръ, А.** Производство всевозможныхъ смазочныхъ маселъ для машинъ, кожъ и т. п. Перев. съ нѣм. А. Комаровскаго. 65 стр. съ 5 рис. 98. 80 к.

**Ламанъ, Д-ръ Г.** Предупредитель болѣзней. Къ ученію о предрасположенности къ заболѣваніямъ и о предупрежденіи ихъ. 1 р. 50 к.

**Лангбейнъ, Д-ръ Г.** Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальвано-пластика, осажденіе металловъ соприкосн.

и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Перев. съ нѣм. изд. С. Созонова. 449 стр. съ 101 рис. 3 р.

**Ледебуръ, А.** Механическая технология металловъ. Перев. съ нѣм. Ф. Фоссъ и Л. Боровичъ, 773 стр. съ 723 рисун. въ текстѣ и на таблицахъ. 1900. 10 р.

**Ледебуръ, А.** Сплавы въ ихъ примѣненіи для промышленныхъ цѣлей. Сплавы желѣза и мѣди. Бронзы. Томпакъ. Латунь. Металлъ Мунтца, Айха. Дельта-металлъ. Дурана-металлъ. Сплавы никкеля, золота, серебра, платины, алюминія, цинка, олова, свинца. Кадмій, висмутъ, сурьма, марганецъ, вольфрамъ, хромъ. Перев. съ нѣм. Горн. Инженеръ Ф. Фоссъ. 60 коп.

**Ледебуръ, А.** Вспомогательные инструменты при обработкѣ металловъ. Мѣры длины, циркуль и кронциркуль, калибры и шаблоны, угломерные инструменты, инструменты для расчерчиванія, клещи, струбцины, ручные тиски, слесарные тиски. Перев. съ нѣм. Горн. Инж. Ф. Фоссъ. Съ 41 рис. 25 к.

**Ледебуръ, А.** Ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе. Ковка различ. металловъ, нагрѣваніе металловъ, кузнечные горны, пламенные печи, муфельныя печи, орудія для приданія формы, молота, преса, прокатные станы, волоочильные станки, расплющиваніе, осаживаніе, загибаніе, штампованіе, чеканка и пр. Перев. съ нѣм. Инж. Техн. Л. Боровичъ. Съ 172 рис. 2 р.

**Ледебуръ, А.** Машины-орудія. Обработка металловъ въ холодномъ состояніи при помощи рѣжущихъ, строгальныхъ и шлифующихъ инструментовъ. Перев. съ нѣм. Л. Боровичъ. Съ 189 рис. 2 р.

**Ледебуръ, А.** Соединеніе или сращиваніе металловъ. Фальцеваніе, стягивающія (усадочныя) соединенія, склеиваніе, свариваніе, пайніе и сплавленіе, замазываніе. Перев. съ нѣм. Техн. Л. А. Боровичъ. Съ 23 рис. 50 к.

**Ледебуръ, А.** Обработка поверхностей металловъ. Травленіе, тильошированіе, оксидированіе, приготовленіе металлч. оболочекъ, луженіе, цинкованіе, золоченіе, серебрленіе, плакированіе, эмали, окраска, олифовка, лакировка, вѣзъиваніе, черненія или тульскія работы. Перев. съ нѣм. Инж.-Техн. Л. Боровичъ. Съ рис. 80 к.

**Ледебуръ, А.** Производство винтовъ (болтовъ), гаекъ, ножевыхъ издѣлій, гвоздей, проволочныхъ штифтовъ, монетъ, стальныхъ перьевъ, булавокъ, иголокъ, замковъ. Перев. съ нѣм. Инж.-Техн. Л. А. Боровичъ. Съ 79 рис. 1 р. 50 к.

**Ледебуръ, А.** Производство металлическихъ листовъ. Желѣзные и стальные листы, тонкіе листы (жестъ), мѣдные листы, томпаковые, латунные, нейзильберные листы, листовое золото и серебро, золотая и серебряная фольга, цинковая, свинцовая и оловянная жестъ.—Проволочное производство. Желѣзная и стальная проволока, проволока изъ мѣди, латуни и др. металловъ, свинцовая проволока.—Производство дровъ.—Словолитное производство. Перев. съ нѣм. Инж.-Техн. Л. А. Боровичъ. Съ 4 рис. 50 к.

**Ледебуръ, А.** Производство трубъ. Чугунныя трубы, трубы изъ ковкаго желѣза, сваренныя въ притыкъ и въ нахлестку трубы, спирально-сваренныя трубы, трубы безъ шва (пѣльные), фасонныя части, мѣдныя трубы паянныя и безъ шва, свинцовыя и оловянные трубы. Перев. съ нѣм. Инж.-Техн. Л. А. Боровичъ. Съ 33 рис. 50 к.

**Леобнеръ, Г.** О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Перев. съ нѣм. Съ 3 литогр. табл. черт. 60 к.



**А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.**  
Профессоръ.

# ПАРОВЫЕ КОТЛЫ,

ИХЪ

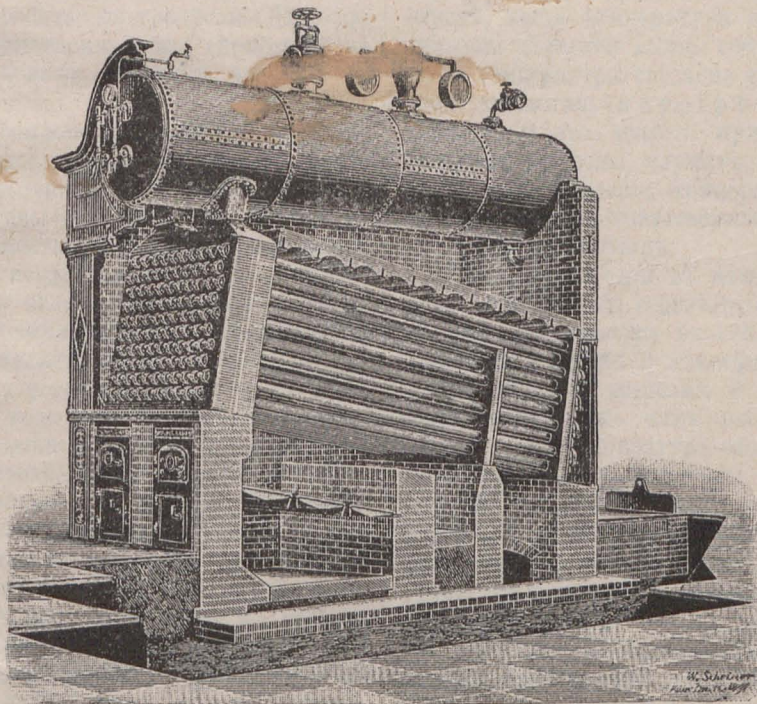
ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА И УСТАНОВКА.

ПЕРЕВЕЛЪ СЪ 3-го НѢМЕЦКАГО ИЗДАНІЯ

**Л. А. Боровичъ.**

Инженеръ-Технологъ.

Съ чертежами въ текстѣ



и 32 таблицами въ краскахъ.



ИЗДАНИЕ Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.

1905.



Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 29 мая 1905 года.

Типографія М. И. Акинфіева, Басковъ пер., 10

2017103061





## ОТДѢЛЪ I.

### Водяной паръ и образование пара въ котлѣ.

#### § 1.

#### Образование водяного пара и отведение его отъ поверхности нагрѣва котла.

Образование водяного пара происходитъ по слѣдующимъ основнымъ положеніямъ ученія о теплотѣ.

1. Если заключенной въ какомъ нибудь сосудѣ водѣ будетъ сообщена теплота, то первая превращается въ паръ (кипитъ) при температурѣ, зависящей отъ давленія на каждую квадратную единицу поверхности воды и называемой температурой кипѣнія при данномъ давленіи. Если за единицу давленій примемъ атмосферу, т. е. нѣсколько переменное, — но въ машиностроеніи принимаемое постояннымъ и равнымъ 1 килограмму на 1 кв. сант., — давленіе атмосфернаго воздуха на уровнѣ моря, а температуры будемъ относить къ градусамъ Цельсія, то первые два столбца приведенной въ «прибавленіи» таблицы даютъ соотвѣтственные значенія давленія и температуры кипѣнія.

2. Если вода, при постоянномъ сообщеніи ей теплоты, испаряется въ открытомъ сосудѣ, то температура испаряемой воды остается постоянной, такъ какъ давленіе воздуха на поверхности воды остается безъ измѣненія втеченіе всей продолжительности испаренія. Совсѣмъ иначе происходитъ явленіе при испареніи воды въ закрытомъ сосудѣ, въ которомъ надъ уровнемъ воды остается свободное пространство для помѣщенія образующагося пара, упругость котораго представляетъ собой давленіе на поверхность воды. При этихъ условіяхъ по мѣрѣ сообщенія теплоты водѣ температура воды, которая вмѣстѣ съ тѣмъ и есть температура приходящаго съ ней въ соприкосновеніе пара, постепенно повышается, такъ какъ здѣсь съ каждымъ повышеніемъ температуры связано образованіе новаго соотвѣтственнаго количества пара, который постоянно все сильнѣе и сильнѣе сжимаетъ уже находящійся въ этомъ пространствѣ паръ, увеличивая при этомъ его упругость, а вмѣстѣ съ ней и давленіе на поверхность испаряемой воды. При этомъ температуры и давленія имѣютъ соотвѣтственные значенія, приведенныя въ упомянутыхъ столбцахъ таблицы. Ясно, что съ увеличеніемъ температуры и упругости вѣсь каждого кубич. метра пара или такъ называемая плотность пара должна увеличиваться, а удѣльный объемъ (т. е. объемъ 1 килогр. пара) долженъ уменьшаться. Въ послѣднемъ столбцѣ этой таблицы приведены значенія плотности пара при различныхъ упругостяхъ. Удѣльный объемъ есть величина, обратная удѣльному вѣсу.

Такимъ образомъ въ закрытомъ сосудѣ, если только его стѣнки достаточно прочны, путемъ постепеннаго сообщенія теплоты водѣ можно образовать паръ произвольной упругости и соотвѣтствующей температуры.

При этомъ изъ 1 килогр. воды всегда образуется 1 килогр. пара независимо отъ давленія; только вѣсь единицы объема пара съ увеличеніемъ давленія возрастаетъ, а объемъ вѣсовой единицы убываетъ.

3. Если вода въ закрытомъ сосудѣ нагрѣта до температуры кипѣнія, соотвѣтствующей данному давленію, то она, помимо сообщенія ей теплоты, можетъ быть обращена въ паръ еще и путемъ уменьшенія давленія. Въ первомъ случаѣ, когда температура и давленіе остаются постоянными (напр. при соотвѣтствующемъ правильномъ расходованіи пара изъ котла), сообщаемая затѣмъ водѣ теплота расходуется исключительно только для обращенія воды въ паръ, и частью также для повышенія ея температуры и давленія, какъ указано выше. Во второмъ случаѣ, когда температура воды вслѣдствіе уменьшенія давленія дѣлается выше соотвѣтствующей данному давленію температуры согласно указанной таблицѣ, т. е. когда вода становится перегрѣтой, изъ нея выдѣляется теплота, и эта теплота при одновременномъ пониженіи температуры воды, служитъ для парообразованія до тѣхъ поръ, пока давленіе, температура и плотность опять не приобретаютъ соотвѣтственныхъ значеній, приведенныхъ указанной въ таблицѣ.

Такъ, напр. если въ какомъ нибудь сосудѣ, въ которомъ вода имѣетъ соотвѣтствующую давленію въ 10 атмосферъ температуру въ  $178,89^{\circ}\text{C}$ , происходитъ уменьшеніе давленія на 2 атмосферы, такъ что давленіе въ сосудѣ дѣлается равнымъ 8 атм., то вода въ немъ перегрѣвается, такъ какъ послѣднему давленію соотвѣтствуетъ уже температура кипѣнія только въ  $169,46^{\circ}\text{C}$ . Освобождающаяся изъ воды теплота обуславливаетъ пониженіе температуры воды и образованіе пара, продолжающіяся до тѣхъ поръ, пока между температурой, давленіемъ и плотностью снова не возстановляется зависимость, показанная на приведенной таблицѣ. Количество пара, образующагося подъ вліяніемъ уменьшенія давленія, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше теплоты выдѣляется изъ воды, а слѣд. и чѣмъ больше воды находится въ сосудѣ.

4. Теплота, потребная для превращенія воды опредѣленной температуры въ паръ той-же температуры и соотвѣтствующаго приведенному въ таблицѣ давленія или плотности, не только должна измѣнить агрегатное (или физическое) состояніе воды, но должна также преодолѣть давленіе на поверхности воды втеченіе періода уменьшенія ея объема, сопряженнаго съ измѣненіемъ ея агрегатнаго состоянія.

Образованіе пара упругостью выше атмосферной въ нашихъ паровыхъ котлахъ постоянно происходитъ слѣдующимъ образомъ. Во время растопки, когда отъ



котла вовсе не заимствуется пара, въ немъ путемъ сообщенія теплоты образуется паръ желаемой упругости, при чемъ вода нагрѣвается до соотвѣтствующей данному давленію температуры кипѣнія или, какъ обыкновенно говорятъ, въ котлѣ разводятся пары. Во время растопки котла необходимо открыть пробный или какой-либо другой кранъ и оставить его открытымъ до тѣхъ поръ, пока весь заключающійся въ паровомъ пространствѣ воздухъ не будетъ удаленъ изъ котла. Такимъ образомъ на воду въ котлѣ сначала дѣйствуетъ только давленіе атмосфернаго воздуха, такъ что сначала въ немъ образуется паръ упругостью въ 1 атмосферу, а затѣмъ уже, когда паръ вытѣснитъ весь находящійся въ котлѣ воздухъ, и котелъ будетъ закрытъ, т. е. будетъ разобщенъ отъ внѣшней атмосферы, упругость пара возрастаетъ при одновременномъ же повышеніи его температуры и плотности.

При послѣдующемъ затѣмъ расходованіи пара, впро-долженіе котораго котелъ долженъ не только образовывать, но и доставлять паръ, парообразование можетъ происходить или путемъ сообщенія теплоты водѣ, или-же путемъ пониженія давленія. Оба эти рода парообразования, а именно:

1. парообразование путемъ одного только сообщенія теплоты, и
2. парообразование путемъ сообщенія теплоты съ послѣдующимъ затѣмъ пониженіемъ давленія находятъ себѣ примѣненіе въ практикѣ. Первый способъ парообразования примѣняется чаще послѣдняго, который обыкновенно примѣняется лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда втеченіе короткаго времени требуется образованіе такихъ большихъ количествъ пара, какія котелъ за этотъ промежутокъ времени не можетъ доставлять путемъ одного только заимствованія теплоты изъ топлива, какъ это напр. имѣетъ мѣсто на пивоваренныхъ, химическихъ, сахарныхъ заводахъ и т. д. Но такъ какъ количество пара, образуемаго путемъ пониженія давленія, какъ мы это видѣли выше, бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ большее количество воды находится въ котлѣ, то слѣдуетъ имѣть въ виду, что:

Если требуется образованіе большихъ количествъ пара втеченіе короткихъ промежутковъ времени, то котелъ долженъ имѣть большое водяное пространство.

Пока количество образуемаго въ котлѣ втеченіе извѣстнаго промежутка времени пара равно количеству пара, расходуемаго изъ него въ тотъ-же промежутокъ времени, давленіе пара въ немъ остается неизмѣннымъ. Если-же расходуемое количество пара меньше образуемаго котломъ, то давленіе пара возрастаетъ, а если количество расходуемаго пара больше количества образуемаго въ котлѣ, то происходитъ пониженіе давленія пара, которое сопровождается новымъ образованіемъ пара. Температура и плотность пара, естественно, измѣняются съ измѣненіемъ давленія.

Парообразование во всякомъ котлѣ происходитъ такимъ образомъ, что на поверхности нагрѣва послѣдняго появляются маленькіе пузырьки пара, которые постепенно увеличиваются въ объемъ и наконецъ, вслѣдствіе своей легкости и сопряженной съ нею подъемной силы, поднимаются въ паровое пространство. Такъ какъ паръ хуже проводитъ теплоту, чѣмъ вода, то ясно, что теплопроводимость котельныхъ стѣнокъ будетъ значительно уменьшена до тѣхъ поръ, пока упомянутые пузырьки пара будутъ приставать къ поверхности нагрѣва. Поэтому, ввиду лучшаго использованія теплоты, необходимо принять мѣры къ возможно быстрому удаленію паровыхъ пузырьковъ съ поверхности нагрѣва. Эта цѣль лучше всего достигается энергичнымъ движеніемъ или цирку-

ляціей воды въ котлѣ, путемъ которой менѣе нагрѣтыя части воды приводятся въ соприкосновеніе съ поверхностью нагрѣва, такъ что путемъ циркуляціи не только увеличивается парообразование, но также и уменьшается осажденіе на стѣнкахъ котла котельнаго камня и ила.

Если вслѣдствіе не удаленныхъ пузырьковъ пара теплопроводимость поверхности нагрѣва въ какомъ-нибудь мѣстѣ постоянно нарушена или уменьшена, то въ этомъ мѣстѣ, преимущественно если оно омывается весьма горячими продуктами горѣнія, долженъ произойти такъ называемый застой или скопленіе теплоты. Это явленіе наконецъ ведетъ къ перегрѣванію листа, которое, при нѣкоторой тягучести металла, сопровождается деформацией листа въ этомъ мѣстѣ (вдавленіемъ или вспучиваніемъ) и увеличеніемъ натяженія или течью въ близлежащемъ швѣ, а иногда даже трещиной стѣнки. Подобно паровымъ пузырькамъ, весьма вредными оказываются также пузырьки воздуха, поступающіе въ котелъ вмѣстѣ съ питательной водой. Отсюда слѣдуетъ, что:

Въ каждомъ паровомъ котлѣ, въ видахъ лучшаго использованія развиваемой при горѣніи топлива теплоты, необходимо озачиститься установленіемъ надлежащей циркуляціи воды, производящей удаленіе съ поверхности нагрѣва образующихся на ней паровыхъ пузырьковъ въ паровое пространство немедленно по ихъ появленіи и вызывающей притокъ къ этимъ мѣстамъ менѣе нагрѣтой воды. Поэтому во всякомъ котлѣ необходимо должны быть устранены неподвижные слои пара и воздуха (или такъ называемые паровые и воздушные мѣшки), которые, вслѣдствіе образовавшагося въ листахъ скопленія теплоты и перегрѣва листовъ могутъ повести къ весьма дурнымъ послѣдствіямъ.

## § 2.

**Насыщенный и перегрѣтый водяной паръ. Предѣльное наивысшее давленіе пара и наинизшій уровень воды въ котлѣ.**

Водяной паръ можетъ находиться не только въ вышеуказанномъ состояніи, но можетъ также принимать и другое состояніе: онъ можетъ быть насыщеннымъ и перегрѣтымъ.

Если упругость, температура и плотность образуемаго въ котлѣ пара соотвѣтствуютъ значеніямъ, приведеннымъ въ вышеуказанной таблицѣ, то паръ бываетъ «насыщеннымъ». Такимъ образомъ въ состояніи «насыщенія» паръ имѣетъ для каждаго даннаго давленія соотвѣтствующую температуру и плотность.

Въ подобномъ состояніи паръ всегда бываетъ, если онъ находится въ соприкосновеніи съ водой, хотя это условіе не является необходимымъ условіемъ состоянія насышенія. Насыщенный паръ обладаетъ весьма неудобнымъ для практики свойствомъ выдѣлять воду въ жидкомъ состояніи при каждомъ пониженіи температуры пара. Затѣмъ, такъ какъ насыщенный паръ при своемъ образованіи увлекаетъ съ собою большее или меньшее количество воды, то при работѣ въ немъ всегда оказывается примѣсь воды. Поэтому подобный паръ называютъ также влажнымъ паромъ.

Если нагрѣтъ насыщенный паръ, удаливъ его отъ воды, изъ которой онъ образовался, то сперва изъ него испаряется механически увлеченная вода, т. е. паръ выпучивается, и затѣмъ онъ приходитъ въ состояніе перегрѣва, съ которымъ связано повышеніе его температуры, увеличеніе объема или соотвѣтственное уменьшеніе его плотности при постоянной упругости. Такимъ образомъ



перегрѣтый паръ обладаетъ высшею температурой и большимъ удѣльнымъ объемомъ, нежели насыщенный паръ.

Перегрѣтый паръ находитъ себѣ все большее и большее практическое примѣненіе. Теоретически съ перегрѣвомъ пара связана та выгода, что 1 килогр. перегрѣтаго пара, вслѣдствіе большаго занимаемаго имъ объема, развиваетъ больше работы, нежели 1 килогр. влажнаго пара, и эта увеличенная производительность пара достигается сравнительно небольшимъ расходомъ теплоты. Оба эти обстоятельства соответственно обуславливаютъ собой сбереженіе пара и топлива для данной производительности, какъ это будетъ доказано ниже путемъ вычисленій. Практически перегрѣваніе пара даетъ еще ту выгоду, что вода, увлеченная изъ котла вмѣстѣ съ паромъ, въ перегрѣвателѣ также испаряется, и полученный паръ перегрѣвается, такъ что при перегрѣтомъ парѣ потери работы, обусловленныя осажденіемъ воды въ трубопроводѣ и поступленіемъ ея въ паровой цилиндръ, значительно уменьшены. Эти обстоятельства въ связи съ дальнѣйшими преимуществами перегрѣтаго пара и нѣкоторыми недостатками перегрѣвателей могутъ рѣшить вопросъ о дѣйствительной пользѣ перегрѣванія пара въ томъ или иномъ направленіи.

Преимущества перегрѣванія пара, а именно уменьшеніе сгущенія пара въ періодъ его впуска въ цилиндръ, были извѣстны еще 40 лѣтъ тому назадъ изъ опытовъ Гирна. Но практическое примѣненіе перегрѣтаго пара для дѣйствія паровыхъ машинъ затруднялось тѣмъ, что употреблявшіеся въ то время смазочные матеріалы изъ животныхъ и растительныхъ жировъ разлагались при высокой температурѣ перегрѣтаго пара, и поршни, золотники и проч. части машинъ, вслѣдствіе ихъ сухости, сильно нагрѣвались, и сальниковыя набивки сгорали; но съ тѣхъ поръ, какъ въ минеральныхъ маслахъ съ высокой температурой воспламененія и съ примѣсью графита былъ найденъ стойкій противъ высокихъ температуръ смазочный матеріалъ, и путемъ соответствующихъ конструцій и надлежащаго выбора матеріаловъ для цилиндра, сальники и перегрѣватели были приспособлены къ этимъ высокимъ температурамъ, примѣненіе перегрѣтаго пара было возобновлено Шмидтомъ въ Ашерслебенѣ и съ тѣхъ поръ стало сильно распространяться. Температура, до которой въ первое время перегрѣвали паръ, не превышала 200°C., но съ теченіемъ времени и пріобрѣтеніемъ опыта она постепенно повышалась, и въ настоящее время уже встрѣчаются температуры перегрѣва въ 350 до 400°C.

Удѣльный объемъ  $v_1'$  (въ кубич. метрахъ) перегрѣтаго пара температурой  $t_1^\circ\text{C}$  при давленіи  $p_1$  килогр. на кв. сантим. опредѣляется по формулѣ

$$p_1 \cdot v_1' = R(273 + t_1') - C \cdot p_1^n \quad . . . 1$$

гдѣ  $R = 0,00509$ ,  $C = 0,103$ ,  $n = 0,25$ .

Упругость пара въ котлѣ всегда выражается переѣсомъ или избыткомъ давленія, который представляетъ собой разницу между абсолютнымъ давленіемъ, которое дѣйствительно паръ производитъ на стѣнки парового котла, и давленіемъ внѣшней атмосферы. Если обозначимъ

черезъ  $p_1$  — абсолютное давленіе пара,

»  $p$  — переѣсъ давленія въ атмосферахъ (килогр. на 1 кв. сантим.),

то

$$p_1 = p + 1 \quad . . . . . 2$$

Та упругость пара, выше которой не должно подыматься давленіе въ котлѣ, называется предѣльнымъ давленіемъ пара въ котлѣ. Это давленіе должно

быть обозначено ясно видной красной чертой на манометрѣ. Кромѣ того предохранительные клапаны на котлѣ должны быть нагружены такъ, чтобы при наступленіи предѣльнаго давленія въ котлѣ паръ могъ-бы выходить изъ него; наконецъ это предѣльное высшее давленіе обуславливаетъ собой высшее давленіе, которому котелъ долженъ быть подвергнутъ при гидравлической его пробѣ.

Низшимъ предѣломъ глубины свободного уровня воды въ котлѣ служить такъ называемый на низшій уровень воды. Этотъ уровень, иногда совместно съ наивысшимъ допускаемымъ уровнемъ воды въ котлѣ, во многихъ случаяхъ отмѣчается на котлѣ мѣткой.

### § 3.

**Потребное для образованія пара количество теплоты. Паръ съ количествомъ теплоты въ 637 калорій.**

Количество теплоты, которое требуется сообщить 1 килограмму воды съ температурой  $0^\circ\text{C}$  для превращенія ея въ насыщенный паръ съ температурой  $t_1^\circ\text{C}$ , называется полной теплотой испаренія для этого пара; мы обозначимъ ее буквой  $\lambda$ . Для измѣренія этого количества теплоты, какъ вообще всякаго количества теплоты, служить единица теплоты или калорія, которая представляетъ собой количество теплоты, потребное для нагрѣванія 1 килограмма воды на  $1^\circ\text{C}$ .

Если мы представимъ себѣ, что превращеніе воды съ температурой  $0^\circ\text{C}$  въ насыщенный паръ съ температурой  $t_1^\circ\text{C}$  происходитъ такимъ образомъ, что вода сперва нагрѣвается до  $t_1^\circ\text{C}$ , т. е. приводится къ соответствующему этой температурѣ давленію, не измѣняя своего агрегатнаго состоянія, и затѣмъ уже превращается въ насыщенный паръ этой температуры, то полную теплоту испаренія  $\lambda$  можно разсматривать какъ сумму:

теплоты жидкости  $q$ , т. е. того количества теплоты (въ калоріяхъ), которое требуется сообщить 1 килограмму воды съ температурой  $0^\circ\text{C}$  для нагрѣванія ея до температуры  $t_1^\circ\text{C}$  безъ измѣненія ея агрегатнаго состоянія, и

теплоты испаренія  $r$ , т. е. того количества теплоты (въ калоріяхъ), которое требуется сообщить 1 килограмму воды съ температурой  $t_1^\circ\text{C}$  для превращенія ея въ насыщенный паръ той-же температуры.

Эта послѣдняя теплота, въ свою очередь, состоитъ изъ:

внутренней теплоты испаренія  $\rho$ , т. е. той части всей теплоты  $r$ , которая служитъ для измѣненія агрегатнаго состоянія воды, и

внѣшней теплоты испаренія  $A_{pi}$ , т. е. той части всей теплоты  $r$ , которая должна преодолѣвать давленіе, дѣйствующее на поверхность воды.

Естественно, что внѣшняя теплота испаренія не остается въ парѣ; въ немъ остается только

теплота пара  $J$ , равная суммѣ теплоты жидкости  $q$  и внутренней теплоты испаренія  $\rho$ .

Такимъ образомъ между приведенными количествами теплоты существуютъ зависимости:

$$\begin{aligned} \lambda &= q + r, \\ r &= \rho + A_{pi}, \\ J &= q + \rho, \end{aligned}$$

которые могутъ быть получены изъ слѣдующей схемы.

$$\begin{array}{c} \lambda \\ \hline q \quad \rho \quad A_{pi} \\ \hline J \quad r \end{array}$$

Значенія отдѣльныхъ количествъ теплоты приведены въ вышеуказанной таблицѣ «Прибавленія». Но полная



теплота испарения для насыщенного водяного пара температуры  $t_1$  может быть вычислена по формулѣ

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t_1 \quad . \quad . \quad . \quad 3$$

Значение  $\lambda'$  теплоты испарения для перегрѣтаго пара больше величины  $\lambda$  для насыщенного пара одинаковой упругости на количество теплоты, потребное для перегрѣвания пара. Для опредѣленія величины  $\lambda'$  почти исключительно примѣняется формула

$$\lambda' = \lambda + 0,48 (t_1' - t_1) = 606,5 + 0,305 t_1 + 0,48 (t_1' - t_1) \quad 4$$

гдѣ  $t_1'$  — температура перегрѣтаго,

$t_1$  — температура насыщенного пара той же упругости.

Значение 0,48 представляет собой теплоемкость перегрѣтаго пара, т. е. количество теплоты, которое должно быть сообщено 1 килограмму пара для повышения его температуры на 1°C. Значение 0,48 было найдено Реньо изъ опытовъ надъ перегрѣтымъ паромъ температурой 112 до 226°C и упругостью въ 1 атм.; но Бахъ, на основаніи своихъ опытовъ надъ сильно перегрѣтымъ паромъ, нашелъ это значеніе слишкомъ низкимъ и предлагаетъ принимать его равнымъ 0,6.

Въ котельныхъ установкахъ температура поступающей въ котелъ питательной воды всегда бываетъ выше 0°C, такъ что количество теплоты, которое должно быть сообщено 1 килограмму воды для превращенія его въ насыщенный паръ температуры  $t_1$  или перегрѣтый съ температурой  $t_1'$ , очевидно, равно полной теплотѣ испаренія  $\lambda$ , или соответственно  $\lambda'$ , уменьшенной на теплоту жидкости, заключенную въ поступающей въ котелъ водѣ, такъ какъ 1 килограмм. воды температурой  $t_s$ °C заключаетъ въ себѣ приблизительно на  $t_s$  един. теплоты больше, нежели 1 килограмм. воды температурой 0°C; слѣд. потребное для испаренія количество теплоты въ этомъ случаѣ будетъ  $\lambda - t_s$  или соответственно  $\lambda' - t_s$  един. теплоты.

При всѣхъ изслѣдованіяхъ надъ испареніемъ и парообразованіемъ количество (вѣсъ) пара, образуемаго 1 килограмм. топлива или 1 кв. метромъ поверхности нагрѣва, относятъ къ водѣ съ температурой 0°C и пару въ 100°C, теплота котораго, по ур. 3, составляетъ

$$\lambda = 606,5 + 0,305 \cdot 100 = 637 \text{ един. тепл.}$$

Такимъ образомъ получаемые результаты оказываются совершенно независимыми отъ температуры питательной воды, а также отъ давленія и температуры пара, что безусловно необходимо для сравненія.

#### Примѣръ.

Котелъ съ жаровой трубой развиваетъ на 1 кв. метрѣ поверхности нагрѣва 27 килограмм. перегрѣтаго пара давленіемъ 8 атм. и  $t_1' = 275$ °C изъ питательной воды температурой  $t_s = 16$ °C. Найти парообразованіе, отнесенное къ пару въ 100°C изъ воды въ 0°C?

Температура насыщенного пара упругостью 9 атм. абс., согласно вышеуказанной таблицѣ, составляетъ  $t_1 = 174,38$ °C. Этой температурѣ, согласно ур. 3, соответствуетъ полная теплота парообразованія.

$$\lambda = 606,5 + 0,305 \cdot 174,38 = 659,69 \text{ ед. тепл.}$$

Теплота перегрѣтаго до указанной температуры пара, согласно ур. 4, составляетъ

$$\lambda' = 659,69 + 0,48 (275 - 174,38) = 707,99 \text{ ед. тепл.}$$

Но такъ какъ температура питательной воды выше 0°C, то для образованія 1 килограмм. пара въ этомъ случаѣ потребно теплоты

$$\lambda' - t_s = 707,99 - 16 = 691,99 \text{ ед. тепл.}$$

27 килограммамъ пара съ такимъ содержаніемъ теплоты соответствуетъ

$$27 \frac{691,99}{637} = 29,33 \text{ килограмм.}$$

пара въ 637 един. теплоты или температурой 100°C изъ воды температуры 0°C.

#### § 4.

Польза перегрѣванія пара, обусловленная увеличеніемъ объема пара. Выгоды высокихъ давленій пара. Содержаніе теплоты въ водяномъ и паровомъ пространствахъ парового котла.

Перегрѣтый паръ, какъ было указано выше (§ 2), обладаетъ большимъ удѣльнымъ объемомъ, нежели насыщенный паръ той-же упругости. Приведенныя въ предыдущихъ параграфахъ значенія количествъ теплоты влажнаго и перегрѣтаго пара даютъ намъ возможность численно опредѣлить выгоду перегрѣва пара, обусловленную увеличеніемъ его объема.

Если обозначимъ, какъ выше,

черезъ  $\lambda$  — количество теплоты,

$v_1$  — объемъ 1 килограмм. влажнаго пара въ куб. метр.,

$\lambda'$  и  $v_1'$  — соответствующія значенія для 1 килограмм. перегрѣтаго пара той-же упругости, то

$\frac{v_1}{\lambda}$  и  $\frac{v_1'}{\lambda'}$  соответственно выражаютъ собой приходящіяся на каждую единицу теплоты объемы насыщеннаго и перегрѣтаго пара, а  $\frac{v_1'}{\lambda'} - \frac{v_1}{\lambda}$  дастъ намъ разность обоихъ этихъ объемовъ, или увеличеніе объема въ куб. метр. на каждую единицу теплоты путемъ перегрѣванія. Принимая, что 1 куб. метръ влажнаго пара развиваетъ ту-же работу, какъ 1 куб. метръ перегрѣтаго пара той-же упругости, находимъ достигнутый путемъ увеличенія объема выигрышъ производительности, выраженный въ процентахъ влажнаго пара,

$$L = 100 \frac{\frac{v_1'}{\lambda'} - \frac{v_1}{\lambda}}{\frac{v_1}{\lambda}} = 100 \left( \frac{v_1' \cdot \lambda}{\lambda' \cdot v_1} - 1 \right).$$

Съ другой стороны, согласно вышеприведеннымъ обозначеніямъ, величины  $\frac{\lambda}{v_1}$  и  $\frac{\lambda'}{v_1'}$  даютъ намъ соответственно количества единицъ теплоты, потребныя для образованія 1 килограмм. насыщеннаго и перегрѣтаго пара; слѣд. обусловленное увеличеніемъ объема перегрѣтаго пара сбереженіе, выраженное въ процентахъ количества теплоты, заключенной въ 1 килограмм. влажнаго пара, будетъ

$$E = 100 \frac{\frac{\lambda}{v_1} - \frac{\lambda'}{v_1'}}{\frac{\lambda}{v_1}} = 100 \left( 1 - \frac{\lambda' \cdot v_1}{v_1' \cdot \lambda} \right)$$

Для насыщенного пара упругостью 9 абсол. атм., по вышеуказанной таблицѣ, находимъ

$t_1 = 174,38$ °C;  $\lambda = 659,69$  ед. тепл. и  $v_1 = \frac{1}{\gamma_1} = 0,216$  куб. метр., а для перегрѣтаго пара той-же упругости по ур. 4 и 1 будетъ

$t_1' = 275$ °C,  $\lambda' = 707,99$  ед. тепл. и  $v_1' = 0,273$  куб. метр.

Такимъ образомъ выигрышъ производительности будетъ

$$L = 100 \left( \frac{0,273 \cdot 659,69}{707,99 \cdot 0,216} - 1 \right) = 17,77 \%$$

производительности влажнаго пара, а сбереженіе расхода теплоты будетъ

$$E = 100 \left( 1 - \frac{707,99 \cdot 0,216}{0,273 \cdot 659,69} \right) = 15,1 \%$$

что соответствуетъ

0,151 · 659,69 = 99,6 ед. тепл. на 1 килограмм. пара.

Вычисляя подобнымъ путемъ значенія  $L$  и  $E$  для раз-



личных давлений, а также для различных степеней перегрева при том же давлении, находимъ, что величина  $L$  всегда больше  $E$ , причемъ оба эти значенія уменьшаются съ увеличеніемъ давленія при данной температурѣ перегрева и съ увеличеніемъ температуры перегрева при данномъ давленіи.

При повышеніи упругости насыщеннаго пара съ 2 атм. на 3, съ 3 на 4, съ 4 на 5 и т. д. полная теплота парообразованія, какъ видно изъ таблицы, возрастаетъ съ 642,97 сперва до 647,00, затѣмъ до 650,06, до 652,55 ед. тепл. и т. д. Такимъ образомъ увеличеніе  $\lambda$  составляетъ 4,03, 3,06 и 2,49 ед. тепл., т. е. оно не только весьма незначительно, но еще уменьшается съ увеличеніемъ давленія. Работа расширенія пара, наоборотъ, возрастаетъ съ увеличеніемъ давленія. Для обнаруженія этого обстоятельства примемъ для простоты, что паръ расширяется отъ давленія  $p_1$  до 1 абсол. атмосферы по закону Мариотта. При этомъ 1 килогр. пара производитъ работу

$$L = 10000 p_1 v_1 \lg \text{nat } p_1 = 10000 \frac{p_1}{\gamma_1} \lg \text{nat } p_1 \text{ килогр. метр.}$$

гдѣ  $v_1$ —удѣльный объемъ,  $\gamma_1$ —удѣльный вѣсъ пара при начальномъ давленіи. Эта работа, дѣленная на полную теплоту пара  $\lambda$ , даетъ намъ работу, приходящуюся на каждую единицу теплоты, сообщенной водѣ съ температурой 0°С и вычисленную здѣсь для вышеприведенныхъ давленій

$p_1 =$	2	3	4	5	абсол. атм.
$\lambda =$	642,97	647	650,06	652,55	един. теплоты.
$L =$	12290	19962	25636	30173	килогр. метр.
$\frac{L}{\lambda} =$	19,1	30,9	39,4	46,2	килогр. метр.

Отсюда мы видимъ, что съ увеличеніемъ давленія возрастаетъ работа, приходящаяся на каждую единицу теплоты. Въ этомъ и состоитъ выгода примѣненія высокихъ давленій пара. Сознвая эту выгоду, практика изъ года въ годъ повышала рабочее давленіе пара въ котлахъ. Но съ другой стороны съ увеличеніемъ давленія пара возрастаетъ также и его температура, а вмѣстѣ съ ней увеличивается также и разность температуръ впускаемаго въ паровую машину и выпускаемаго изъ нея пара. Отъ величины этого паденія температуры зависятъ потери теплоты и пара, обусловленные сгущеніемъ части пара при его поступленіи въ цилиндръ, и для возможнаго уменьшенія этой потери при давленіяхъ выше 6 абс. атм. перешли къ паровымъ машинамъ съ двойнымъ и тройнымъ расширеніемъ, въ которыхъ упомянутая потеря распределяется между 2-мя или 3-мя цилиндрами. Но машины съ двойнымъ и тройнымъ расширеніемъ по своей конструкціи значительно сложнее машинъ одноцилиндровыхъ и требуютъ болѣе хлопотливаго обслуживанія. Здѣсь также рѣзко обнаруживаются преимущества перегрѣтаго пара. Вслѣдствіе болѣе совершеннаго способа работы этого пара въ паровой машинѣ онъ можетъ при низкомъ давленіи развивать ту же работу, которую насыщенный паръ можетъ развивать только при высокомъ давленіи, при одинаковомъ въ обоихъ случаяхъ расходѣ теплоты. Такъ, напр. при работѣ перегрѣтаго пара съ давленіемъ 6 атм. въ машинѣ двойного расширенія можно достигнуть того же расхода угля, какой получится для насыщеннаго пара только при давленіи 12 атм., и при работѣ въ машинѣ тройного расширенія. Такимъ образомъ для перегрѣтаго пара выгоды высокихъ давленій имѣютъ менѣе важное значеніе, нежели для насыщеннаго пара; при немъ мы опять возвращаемся къ болѣе низкимъ давленіямъ и къ болѣе простымъ машинамъ простого и двойного расширенія, за исключеніемъ машинъ очень

большихъ мощностей, для которыхъ сложныя машины тройного расширенія оказываются вполне умѣстными.

Но во всякомъ случаѣ давленіе пара въ котлѣ стремятся поддерживать возможно высокимъ. Насколько это, такъ называемое наивыгоднѣйшее, рабочее давленіе должно быть ниже предѣльнаго наивысшаго давленія для даннаго котла, зависитъ отъ характера работы; при неравномерномъ расходѣ пара разность между обоими этими давленіями бываетъ больше, нежели при равномерномъ расходѣ пара изъ котла, такъ какъ въ первомъ случаѣ вѣроятность достиженія въ котлѣ предѣльнаго допускаемаго давленія значительно больше, нежели во второмъ.

Изъ вышеуказанной таблицы легко также убѣдиться въ томъ, что большая часть теплоты, сообщенной содержимому котла, заключается въ водѣ, а незначительная только ея часть содержится въ парѣ.

Для этого стоитъ только опредѣлить соотношеніе между количествомъ теплоты, содержащимся въ 1 куб. метрѣ воды, и количествомъ теплоты въ 1 куб. метрѣ пара. Обозначивъ, какъ и выше, черезъ  $q$  теплоту 1 килогр. жидкости и черезъ  $J$  теплоту 1 килогр. пара при одинаковомъ давленіи, мы видимъ что 1 куб. метръ воды въ котлѣ, при температурѣ питательной воды 0°С, заключаетъ въ себѣ  $\sim 1000 q$  ед. теплоты, а 1 куб. метръ пара, вѣсящаго  $\gamma_1$  килогр., содержитъ въ себѣ  $J \cdot \gamma_1$  ед. теплоты. Отношеніе этихъ количествъ составляетъ

$$\frac{1000 q}{J \cdot \gamma_1}$$

Напр. для пара давленіемъ 10 абсол. атм. будетъ  $q = 181,24$ ;  $J = q + r = 181,24 + 433,9 = 615,14$  ед. т. и  $\gamma_1 = 5,109$  килогр., слѣд.

$$\frac{1000 q}{J \cdot \gamma_1} = \frac{1000 \cdot 181,24}{615,14 \cdot 5,109} = 57,7.$$

Если еще принять во вниманіе, что водяное пространство котла всегда больше парового пространства приблизительно въ 2 раза, то нетрудно видѣть, что водяное пространство котла, подобно маховику паровой машины, представляетъ собой дѣйствительный сборникъ теплоты и энергіи.

При образованіи пара путемъ уменьшенія давленія, изъ этого сборника заимствуется теплота, употребляемая для образованія новаго пара, какъ мы это замѣтили выше (стр. 1).

Если теплота жидкости, соотвѣтствующая начальному давленію, была  $q$ , а соотвѣтствующая конечному уменьшенному давленію теплота жидкости будетъ  $q_0$ , то изъ 1 килогр. воды освобождается  $q - q_0$ , а изъ 1 куб. метра воды освобождается  $1000 (q - q_0)$  ед. теплоты, помощью которыхъ образуется количество пара

$$\frac{1000 (q - q_0)}{r_0 \cdot \gamma_0} \text{ куб. метр.,}$$

гдѣ  $r_0$ —теплота испаренія, соотвѣтствующая конечному давленію, а  $\gamma_0$ —удѣльный вѣсъ вновь образуемаго пара. Такъ, напр. если давленіе въ котлѣ уменьшено съ 10 на 8 атмосфер., то, такъ какъ для 10 атм.  $q = 181,24$ , а для 8 атм.  $q_0 = 171,49$  ед. тепл.,  $r_0 = 486,69$  ед. тепл.,  $\gamma_0 = 4,144$  килогр., при этомъ пониженіи давленія получится количество пара давленіемъ 8 атмосфер. въ

$$\frac{1000 (181,24 - 171,49)}{486,69 \cdot 4,144} = 4,834$$

раза больше объема воды въ котлѣ (въ куб. метр.).



## § 5.

## Сохранение постоянного давления пара. Влажность пара и расходование пара из котла.

При применении пара для действия паровых машин весьма важно устранить всякия колебания давления пара в котлѣ; это давление постоянно должно оставаться наивыгоднѣйшимъ при данныхъ обстоятельствахъ, какъ въ техническомъ, такъ и въ экономическомъ отношеніи.

Измѣненія давления пара в котлѣ, какъ мы это замѣтили выше, постоянно происходятъ тогда, когда образуемое в котлѣ количество пара и количество заимствуемаго изъ него пара неодинаковы между собой. Давление возрастаетъ, если котелъ образуетъ больше пара, нежели изъ него расходуетъ, и убываетъ при обратныхъ условіяхъ. При равномерномъ расходѣ пара, когда количество заимствуемаго изъ котла пара постоянно остается приблизительно одинаковымъ, кочегару сравнительно легко поддерживать постоянное давление в котлѣ, такъ какъ при этомъ в котлѣ происходитъ образованіе постоянно одинаковаго количества пара, а слѣдов. кочегару остается только заботиться о развитіи постоянно одинаковаго количества теплоты или о равномерномъ горѣннѣ топлива въ топкѣ. Гораздо затруднительнѣе становится задача кочегара въ томъ случаѣ, когда расходъ пара изъ котла подверженъ значительнымъ колебаніямъ, и кочегару приходится поддерживать постоянное давление в котлѣ путемъ сильно колеблющагося соответственнo расходу пара и большей частью весьма невыгоднаго развитія теплоты. При подобныхъ обстоятельствахъ колебанія давления удастся ограничивать сравнительно тѣсными предѣлами въ томъ лишь случаѣ, когда водяное пространство котла достаточно велико.

Если, напр., давление в котлѣ увеличивается, то избытокъ сообщенной котлу теплоты вызоветъ тѣмъ меньшее возрастаніе давления в котлѣ, чѣмъ больше теплоты поглощается водой для повышенія своей температуры, т. е., чѣмъ больше количество воды в котлѣ при данной его поверхности нагрѣва, или вообще чѣмъ больше объемъ воды, приходящійся на 1 кв. метръ поверхности нагрѣва котла. Съ другой стороны происходящее при недостаточномъ количествѣ сообщенной котлу теплоты пониженіе давления будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше пара можетъ образоваться вслѣдствіе этого уменьшенія давления, а это количество пара, какъ мы видѣли выше (см. § 1), бываетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше водяное пространство котла.

Такимъ образомъ объемъ воды в паровомъ котлѣ выполнять то-же назначеніе, какъ и маховое колесо въ паровой машинѣ. Первое вліяетъ на давленіе пара в котлѣ подобно тому, какъ послѣдній дѣйствуетъ на скорость пуговицы кривошипа в теченіе одного оборота, а именно: колебанія обоихъ бываютъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше водяное пространство котла, и соответственнo чѣмъ больше масса маховика. Отсюда мы видимъ, что:

Колебанія давления в котлѣ бываютъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше водяное пространство котла, слѣд. вообще чѣмъ больше, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, количество воды, приходящееся на 1 кв. метръ поверхности нагрѣва. Для производствъ съ сильно измѣняющимся расходомъ пара безусловно требуются котлы съ большими водяными пространствами, такъ какъ въ противномъ случаѣ колебанія давления будутъ слишкомъ значительны, и сжиганіе топлива, вслѣдствіе потребнаго перемѣн-

наго развитія теплоты, окажется весьма невыгоднымъ.

Затѣмъ колебанія давления в котлѣ происходятъ при періодическомъ питаніи котла. Поступающія временами въ котелъ значительныя количества воды большей частью низкой температуры понижаютъ температуру и давленіе в котлѣ, а именно тѣмъ сильнѣе, чѣмъ питательная вода холоднѣе, и чѣмъ выше температура, а слѣд. и давленіе пара. Путемъ усиленной топки во время питанія кочегаръ долженъ стараться по возможности ограничивать эти колебанія. Въ этомъ случаѣ ему на помощь опять приходитъ большое водяное пространство котла, которое путемъ обильнаго парообразованія при пониженіи давления не допускаетъ слишкомъ сильнаго пониженія давления. При сильно измѣняющемся расходѣ пара упомянутыя колебанія могутъ быть еще устранены тѣмъ, что питаніе котла производится въ періоды наименьшаго расхода пара. Но это выполнимо лишь въ томъ случаѣ, когда питательное пространство котла, т. е. объемъ котла между допускаемыми наивысшимъ и наинизшимъ уровнями воды въ немъ, достаточно для періода наиболѣе сильнаго парообразованія. Само собой разумѣется, безпрерывное питаніе, при которомъ питательная вода поступаетъ въ котелъ постоянно и въ небольшихъ количествахъ, должно предпочитаться періодическому. Оно не только устраняетъ упомянутыя колебанія температуры и давления в котлѣ, но допускаетъ также болѣе выгодное использование топлива вслѣдствіе болѣе равномернаго, а слѣд. и болѣе совершеннаго, развитія теплоты. Если ограниченность мѣста или другія условія вызываютъ необходимость установки котла съ небольшимъ водянымъ пространствомъ при сильно колеблющемся расходѣ пара, то безпрерывное питаніе по возможности горячѣе предварительнo нагрѣтой водой является безусловно необходимымъ. Въ котельныхъ установкахъ, доставляющихъ перегрѣтый паръ, необходимо по возможности устранять колебанія температуры перегрѣва, такъ какъ машины чрезвычайно чувствительны къ подобнымъ колебаніямъ. При цѣлесообразномъ облуживаніи топки эти колебанія лучше всего устраняются тогда, когда перегрѣватель содержитъ въ себѣ достаточный запасъ пара, а въ своихъ стѣнкахъ — достаточный запасъ теплоты. Применяемые большей частью въ настоящее время трубчатые тонкостѣнные перегрѣватели, къ сожалѣнію, мало удовлетворяютъ этимъ условіямъ.

Доставляемый котломъ паръ долженъ быть по возможности сухъ, т. е. свободенъ отъ механически увлеченной имъ воды; содержаніе воды въ парѣ влечетъ за собой потерю теплоты не только потому, что теплота этой воды не превращается въ механическую работу въ цилиндрѣ паровой машины, но также и потому, что оно въ значительной степени усиливаетъ вышеупомянутое сгущеніе пара въ періодъ впуска, причемъ въ періодъ обратнаго испаренія этой воды въ паровомъ цилиндрѣ отъ стѣнокъ послѣдняго заимствуется теплота, и такимъ образомъ вызывается сгущеніе вновь поступающаго въ цилиндръ пара. Наконецъ, механически увлеченная изъ котла вода увеличиваетъ опасность отъ водяныхъ ударовъ въ цилиндрѣ машины.

На содержаніе воды въ парѣ главнымъ образомъ вліяетъ напряженность поверхности нагрѣва (т. е. количество пара, образуемаго 1 кв. метромъ этой поверхности), величина свободнаго уровня воды (зеркала испаренія) в котлѣ и пароваго пространства въ немъ и наконецъ конструкція котла.

Образующійся на поверхности нагрѣва паръ для своего поступленія въ паровое пространство долженъ прорываться черезъ свободную поверхность воды или такъ назы-



ваемое зеркало испарения котла. Чѣмъ больше количество пара, который долженъ прорываться черезъ 1 кв. метръ зеркала испарения въ котлѣ въ единицу времени, тѣмъ сильнѣе будетъ происходить этотъ прорывъ, и тѣмъ большее количество воды при этомъ увлечется вмѣстѣ съ паромъ. Это количество пара, при прочих одинаковыхъ условіяхъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше напряженность котла, т. е. чѣмъ больше пара образуется 1 кв. метромъ поверхности нагрѣва въ единицу времени, и чѣмъ меньше приходящаяся на 1 кв. метръ поверхности нагрѣва котла часть зеркала испарения. Отсюда слѣдуетъ, что сильно напряженные или форсиремые котлы съ небольшими зеркалами испарения всегда даютъ влажный паръ.

Въ паровомъ пространствѣ паръ долженъ успѣвать освободиться отъ механически увлеченной имъ воды, находя благоприятныя къ тому условія. Это выдѣленіе воды будетъ происходить тѣмъ лучше, чѣмъ дольше паръ можетъ оставаться въ этомъ пространствѣ, т. е. чѣмъ больше запасъ пара въ котлѣ, а слѣд. чѣмъ больше само паровое пространство.

Такимъ образомъ большое паровое пространство благоприятствуетъ сухости пара.

Что же касается, наконецъ, конструкціи котла, то ясно, что котель, въ которомъ упомянутыя условія образованія сухого пара выполнены болѣе совершенно, будетъ доставлять болѣе сухой паръ, нежели такой, въ которомъ напряженность поверхности нагрѣва значительна, а зеркало испарения и паровое пространство невелики. Последнее условіе имѣетъ мѣсто напр. въ нѣкоторыхъ типахъ водотрубныхъ паровыхъ котловъ, а именно тогда, когда напряженность поверхности нагрѣва значительна, а верхній барабанъ совершенно отсутствуетъ, между тѣмъ какъ системы котловъ извѣстныхъ подъ названіемъ «котловъ съ большими водяными пространствами», въ этомъ отношеніи оказываются болѣе выгодными. Но съ другой стороны, нѣкоторыя системы котловъ съ большими водяными пространствами даютъ влажный паръ, какъ мы это видимъ напр. въ котлахъ съ кипятыльниками (см. отд. V), въ которыхъ образуемый большей частью въ нижнихъ кипятыльникахъ паръ долженъ подыматься по весьма узкимъ патрубкамъ или штуцерамъ и прорываться черезъ весьма незначительную часть свободнаго водяного уровня, а также и въ котлахъ системы Тишбеина, въ которыхъ образуемый большей частью въ нижнихъ кипятыльникахъ паръ долженъ проходить черезъ значительную толщину массы воды до своего поступленія въ единственное паровое пространство котла.

Вообще-же большинство котловъ съ большими водяными пространствами и неслишкомъ напряженными поверхностями нагрѣва, при правильномъ расходованіи пара (см. ниже) и сравнительно чистой питательной водѣ, даетъ достаточно сухой паръ. Если содержаніе влажности въ парѣ превышаетъ 5%, то для выдѣленія изъ пара воды требуются особые водоотдѣлители или перегрѣватели.

Большія количества воды увлекаются вмѣстѣ съ паромъ въ котлахъ при условіяхъ, которыя въ паровой технику извѣстны подъ названіемъ бурнаго кипѣнія, подбрасыванія воды, кипѣнія ключемъ и т. д. Бурное кипѣніе или подбрасываніе воды въ котлѣ происходитъ прежде всего тогда, когда котельная вода содержитъ въ себѣ иль и другія постороннія

примѣси, или когда къ водѣ для ея очистки прибавлено слишкомъ много соды, а также и тогда, когда изъ котла внезапно расходуются значительныя количества пара, вслѣдствіе чего въ немъ происходитъ уменьшеніе давленія. Вода въ подобныхъ случаяхъ сильно тѣнится, и зеркало испарения иногда даже подымается до паровыпускнаго вентиля, съ чѣмъ, конечно, сопряжено увлеченіе вмѣстѣ съ паромъ большихъ массъ воды и поступленіе воды въ трубопроводы. Подъ бурнымъ кипѣніемъ разумѣютъ также сильное подыманіе паровыхъ пузырьковъ надъ такъ называемымъ огневымъ листомъ котла, т. е. надъ частью стѣнокъ котла, расположенной непосредственно надъ топкой. Часто, особенно при сильномъ напряженіи тонки, вода сильно подбрасывается, при чемъ, конечно, неминуемо сильное механическое увлеченіе воды вмѣстѣ съ паромъ. Всѣ эти явленія происходятъ тѣмъ чаще и проявляются тѣмъ сильнѣе, чѣмъ меньше въ данномъ котлѣ водяное пространство, зеркало испарения и паровое пространство, такъ что вообще въ котлахъ съ большими водяными пространствами ихъ можно опасаться въ меньшей степени, нежели въ котлахъ съ малыми водяными пространствами, въ которыхъ они уже происходятъ даже при умѣренной напряженности и сравнительно равномерномъ расходованіи пара, а именно, если зеркало испарения расположено слишкомъ высоко, а паровое пространство незначительно.

Для опредѣленія содержанія воды въ парѣ существуютъ два способа: калориметрическій и химическій. По первому способу сгущаютъ или перегрѣваютъ (высушиваютъ) испытуемый паръ и путемъ сравненія количества теплоты, сообщенной пару или заимствованной отъ него, съ тѣмъ количествомъ теплоты, которое содержится въ сухомъ насыщенномъ парѣ, получаютъ содержаніе воды въ испытуемомъ парѣ. По второму способу къ котельной водѣ прибавляютъ соли, которыя растворяются только въ механически увлеченной паромъ водѣ (но не въ парѣ), и по содержанію этихъ солей во влажномъ парѣ заключаютъ о количествѣ содержащейся въ парѣ воды. Но каждый изъ обоихъ этихъ способовъ имѣетъ свои погрѣшности и не даетъ вполне точныхъ результатовъ, какъ и вообще, по мнѣнію Радингера, до настоящаго времени не существуетъ вполне удовлетворительнаго способа для опредѣленія влажности идущаго на работу паровыхъ машинъ пара, хотя-бы съ приблизительной только точностью \*).

Выпусканіе пара изъ котла постоянно должно производиться очень медленно и только послѣ предварительнаго достаточнаго нагрѣванія трубопровода. Быстрое открываніе паровыпускнаго вентиля постоянно имѣетъ своимъ послѣдствіемъ уменьшеніе давленія въ котлѣ, и вслѣдствіе этого всасываніе воды, а слѣд. и сильное увлеченіе воды паромъ; недостаточно прогрѣтые трубопроводы вызываютъ сильное образованіе въ нихъ конденсационной воды. Мѣсто выпуска пара должно быть по возможности удалено отъ постоянно неспокойнаго зеркала испарения, а также отъ мѣста наиболѣе сильнаго кипѣнія надъ огневымъ листомъ, а слѣд. должно быть расположено въ высшей точкѣ пароваго колпака и у задняго конца котла, гдѣ уровень воды въ большей части системъ котловъ бываетъ наиболѣе спокойнымъ.

\*) Описанія способовъ и приборовъ для опредѣленія влажности пара желающіе могутъ найти: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. въ замѣткѣ проф. Зеэмана на стр. 340 за 1885 г., Меллера — на стр. 1039 за 1895 г. въ «Технич. Сборникѣ и Вѣстникѣ Промышленности» 1894 г. № 12; Mittheil. aus d. Praxis des Dampfkessel-u. Dampfmaschinen-Betr. № 3 за 1898 г.



## ОТДѢЛЪ II.

### Горючіе матеріалы и ихъ сжиганіе. Развитие теплоты въ котельныхъ установкахъ.

#### § 6.

##### Общія свѣдѣнія.

Потребную для парообразованія теплоту мы въ нашихъ котельныхъ установкахъ получаемъ путемъ сжиганія топлива. Поэтому весьма важно изучить сущность и условія горѣнія, свойства и составъ горючихъ матеріаловъ, а прежде всего тѣ условія, при которыхъ достигается возможно совершенное и выгодное выдѣленіе содержащейся въ горючихъ матеріалахъ теплоты. Прежде, чѣмъ перейти къ рассмотрѣнію этихъ условій, здѣсь приведены нѣкоторыя общія свѣдѣнія о процессѣ горѣнія и о горючихъ матеріалахъ.

Подъ названіемъ горѣнія разумѣютъ химическое соединеніе тѣла съ кислородомъ, сопровождающееся развитіемъ свѣта и теплоты. Потребный для горѣнія кислородъ заимствуется изъ воздуха, который долженъ доставляться сжигаемому тѣлу. Но горѣніе всякаго тѣла начинается лишь тогда, когда оно въ какомъ нибудь мѣстѣ нагревается до температуры воспламененія, которое бываетъ различно для различныхъ тѣлъ. Для подобнаго нагреванія сжигаютъ сперва легко воспламеняемыя тѣла и развиваемой при ихъ горѣніи теплотой нагреваютъ другія тѣла съ болѣе высокой температурой воспламененія до этой температуры. Такимъ образомъ начало и продолженіе горѣнія обуславливается не только количествомъ воздуха, но также и температурой воспламененія сжигаемаго тѣла, и горѣніе тѣла нарушается, лишь только тѣло или развиваемые имъ горючіе газы не находятъ себѣ достаточнаго количества воздуха, или-же когда они охлаждаются до температуры ниже температуры воспламененія.

Теплота, развиваемая при горѣніи тѣла, можетъ быть измѣрена двоякимъ путемъ, а именно: по количеству ея, т. е. по числу выдѣляемыхъ единицъ теплоты, и по ея интенсивности, т. е. по достигаемой температурѣ, называемой температурой горѣнія.

Подъ названіемъ горючихъ матеріаловъ или топливъ разумѣютъ такіе тѣла, которыя быстро соединяются съ кислородомъ и при сравнительно небольшой стоимости развиваютъ настолько большое количество теплоты, что могутъ быть съ выгодой примѣнены для разсматриваемой нами и для подобныхъ ей цѣлей. Различаютъ топлива: твердыя, жидкія и газообразныя.

Твердыя топлива, наиболѣе часто примѣняемыя въ практикѣ, состоятъ изъ углерода и изъ химическихъ соединений водорода съ углеродомъ и кислородомъ, образующихъ собой газообразныя, летучія составныя части

топливъ. Нѣкоторые горючіе матеріалы содержатъ въ себѣ небольшія количества сѣры и азота, а всѣ вообще горючіе матеріалы содержатъ въ себѣ минеральныя примѣси и гигроскопическую воду, обуславливающую собой влажность топлива. При горѣніи твердые горючіе матеріалы совершенно разлагаются и измѣняются. Горючія части, если онѣ не удаляются не сгорѣвшими, соединяются съ кислородомъ воздуха, образуя продукты горѣнія, а негорючія составныя части частью увлекаются продуктами горѣнія и частью при горѣніи остаются въ видѣ остатковъ горѣнія (зола и шлаковъ). Выдѣляемые продуктами горѣнія газы, которые должны омывать котель и по возможности совершенно отдавать ему заключенную въ нихъ свободную теплоту, называются горючими газами, продуктами горѣнія или пламенемъ.

Къ твердымъ топливамъ принадлежатъ: дрова, торфъ, бурый и каменный уголь и антрацитъ, а также и получаемые изъ этихъ матеріаловъ отгонкой отъ нихъ болѣе летучихъ составныхъ частей, древесный уголь, торфяной уголь и коксъ. Изъ жидкихъ топливъ преимущественно примѣняется нефть и нефтяные остатки или мазутъ. Газообразныя топлива получаютъ изъ твердыхъ топливъ путемъ перегонки.

Если при дальнѣйшемъ изложеніи точно не обозначенъ родъ топлива, то всегда имѣются въ виду твердые топлива.

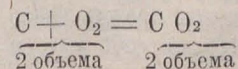
#### § 7.

Горючія составныя части топливъ и ихъ продукты горѣнія. Теоретически необходимое для горѣнія количество воздуха.

Изъ горючихъ составныхъ частей топлива главную роль при развитіи теплоты играютъ углеродъ и водородъ, а въ рѣдкихъ случаяхъ также и сѣра, входящая въ составъ нѣкоторыхъ топливъ.

Углеродъ, соединяясь съ кислородомъ, можетъ образовать два различныхъ соединенія, а именно: онъ можетъ сгорѣть въ углекислоту, или-же въ окись углерода. Сгораніе углерода въ тотъ или другой продуктъ обуславливается количествомъ доставленнаго ему кислорода, температурой и давленіемъ втеченіе процесса горѣнія.

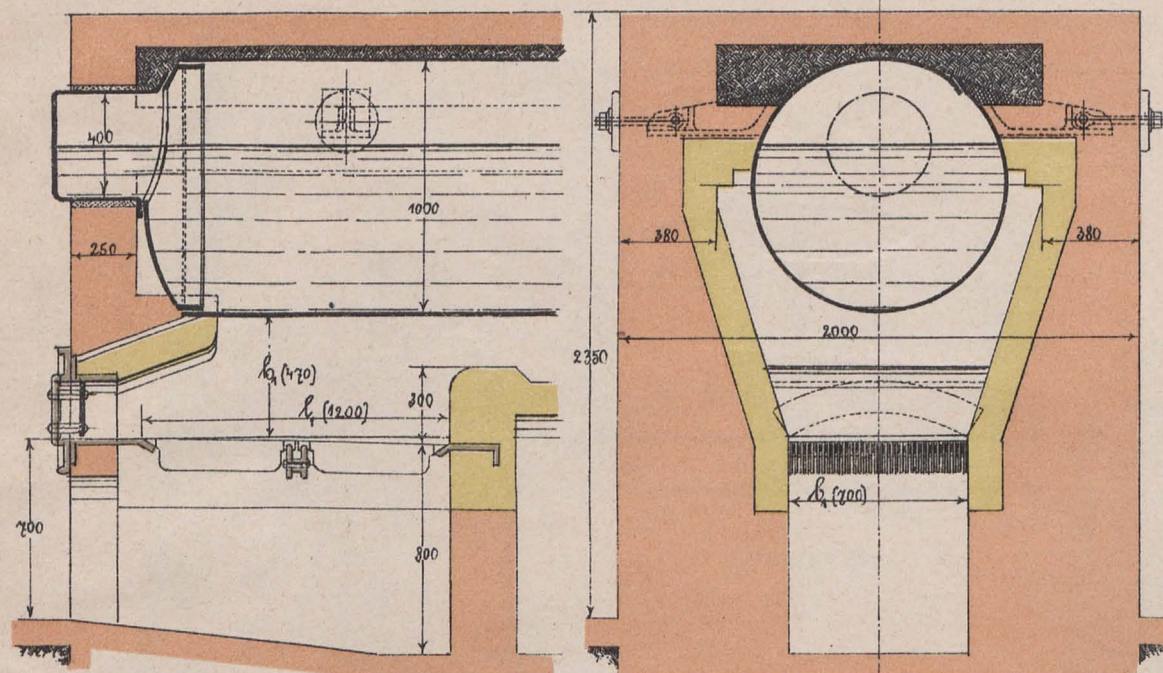
Если углеродъ сгораетъ въ углекислоту, то, такъ какъ атомный вѣсъ углерода составляетъ 12, а кислорода 16, по формулѣ



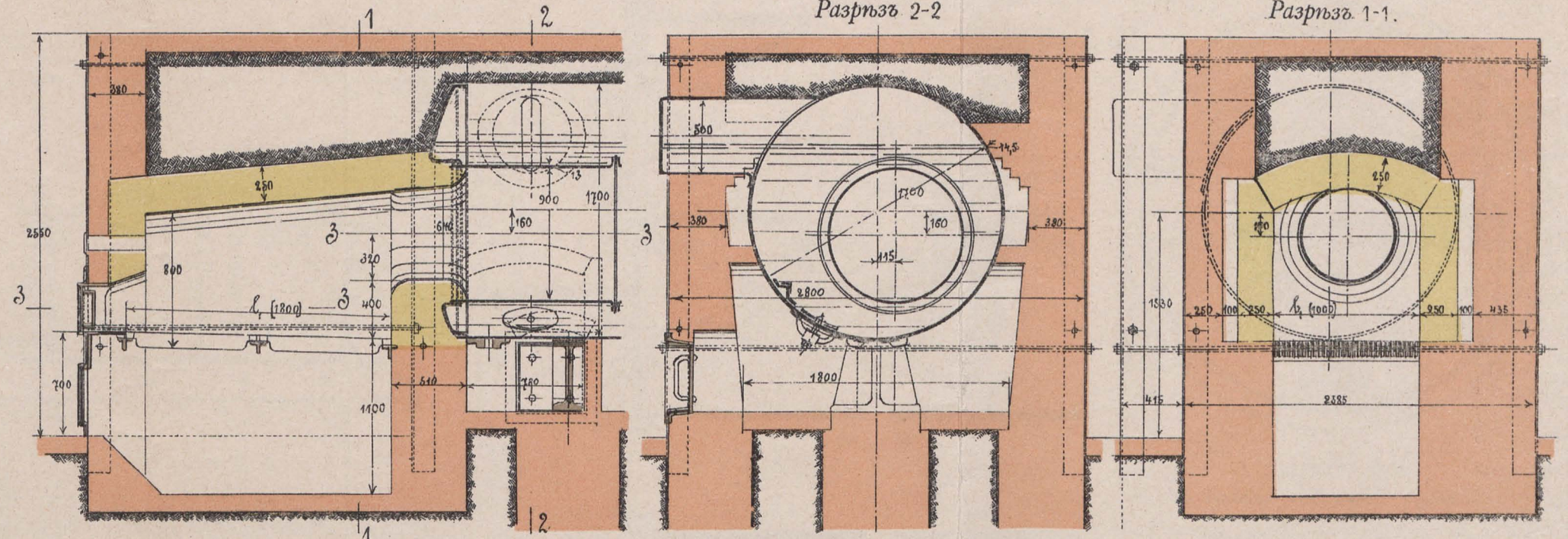
постоянно 1 вѣсовая часть углерода соединяется съ 2.16:12 = 8:3 = 2,667 вѣсовыми частями кислорода,



Фиг. 1  $\frac{1}{30}$ . Нижняя подкотельная топка.



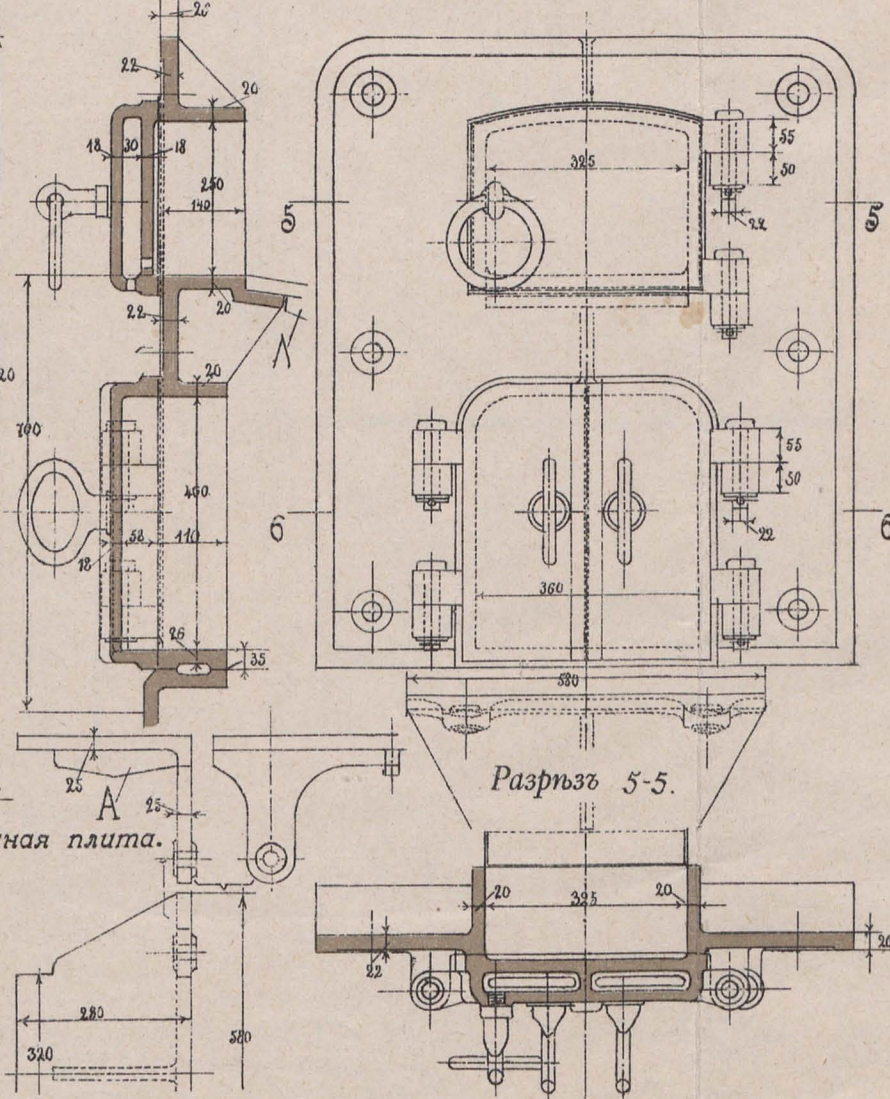
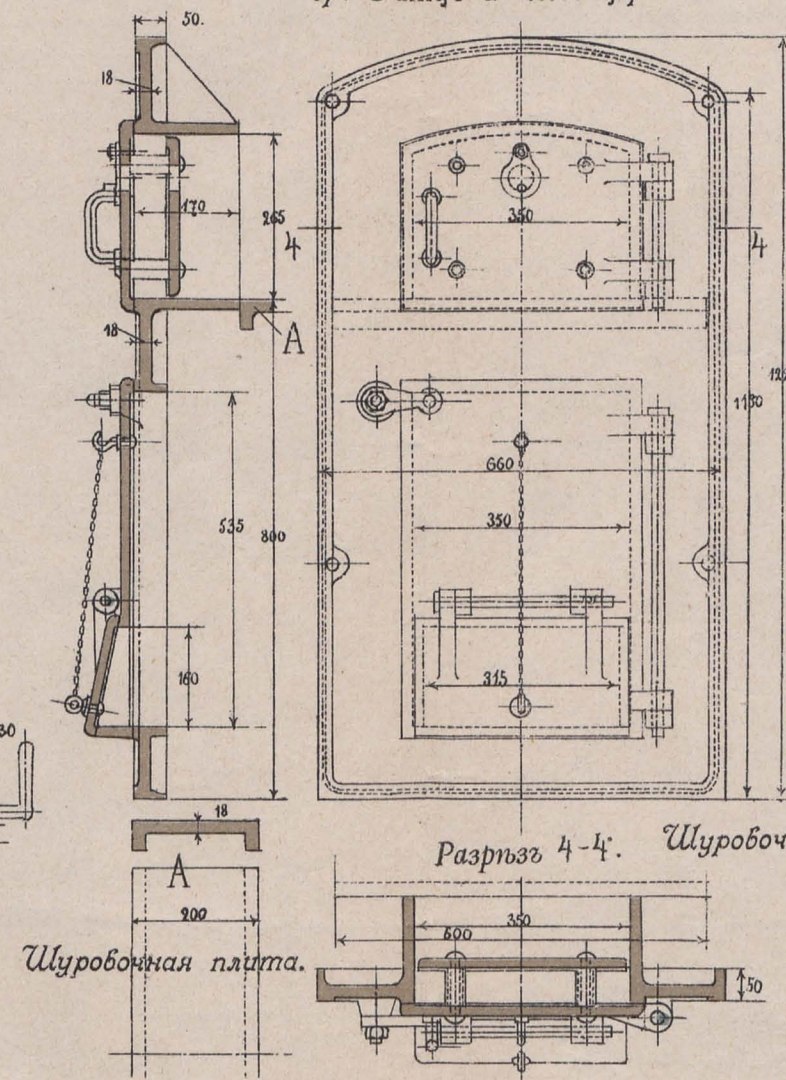
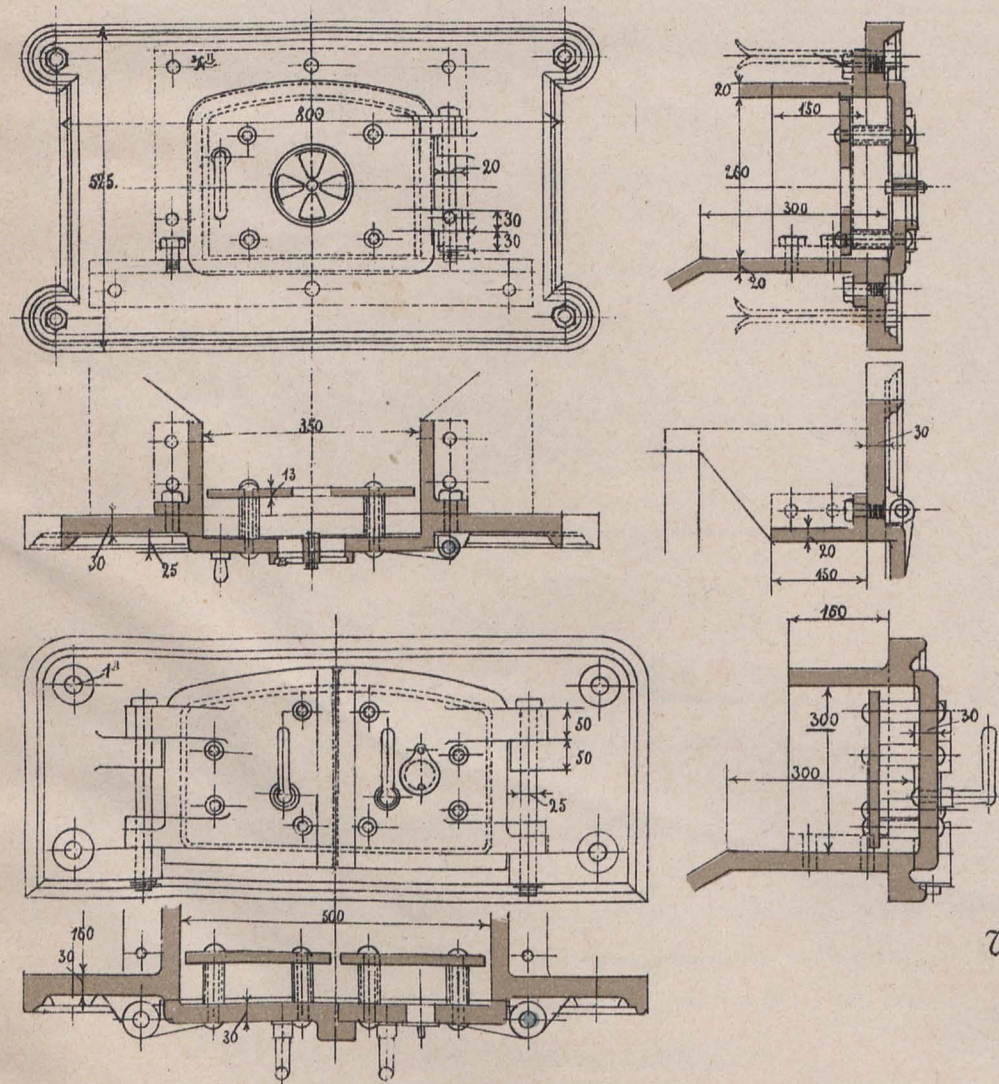
Фиг. 2  $\frac{1}{40}$ . Передняя топка В. Фицнеръ.



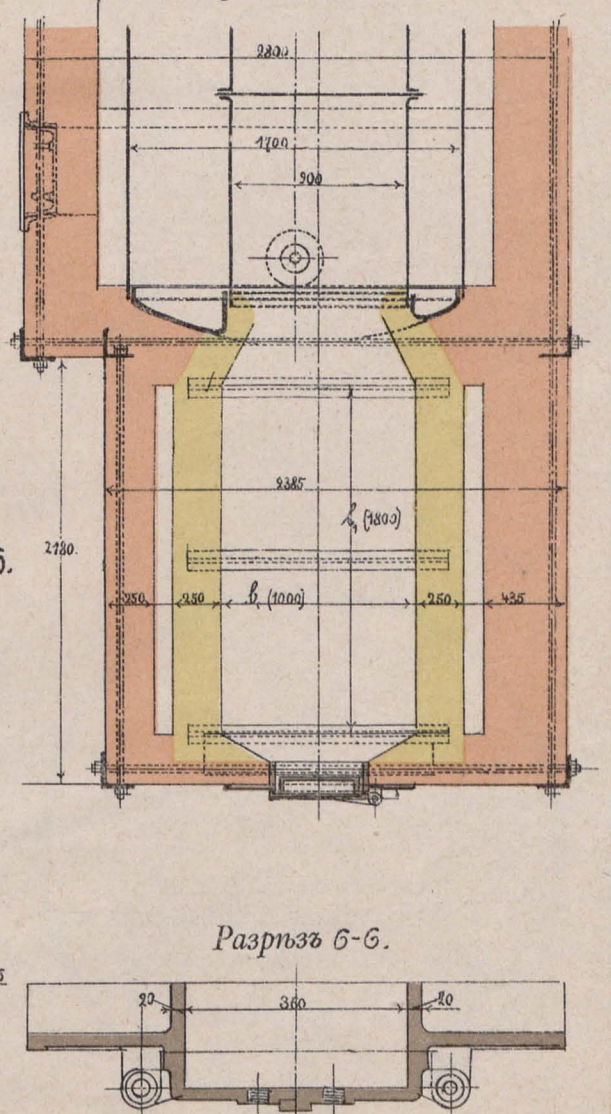
Фиг. 3 и 4.  $\frac{1}{12,5}$  Топочные дверцы  
Н. и Ф. Меллеръ въ Бракбедъ, Вестфалія.

Фиг. 5.  $\frac{1}{12,5}$  Чугунная топочная рама  
бр. Ритцъ и Швейцерь.

Фиг. 6.  $\frac{1}{12,5}$  Чугунная топочная рама



Разрѣзъ 3-3-3.



Разрѣзъ 4-4. Шуровочная плита.

Разрѣзъ 5-5.

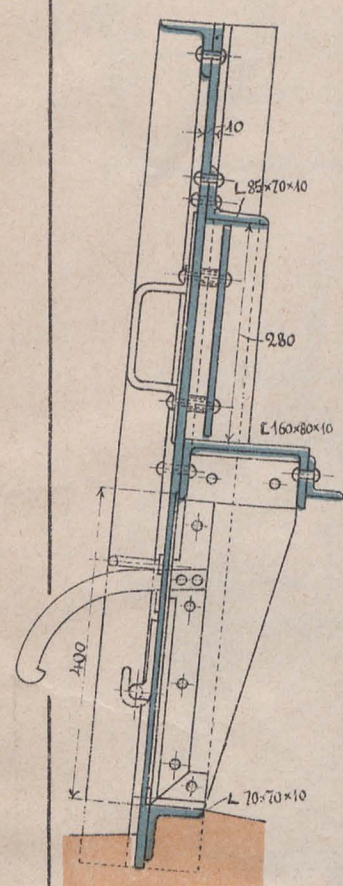
Разрѣзъ 6-6.



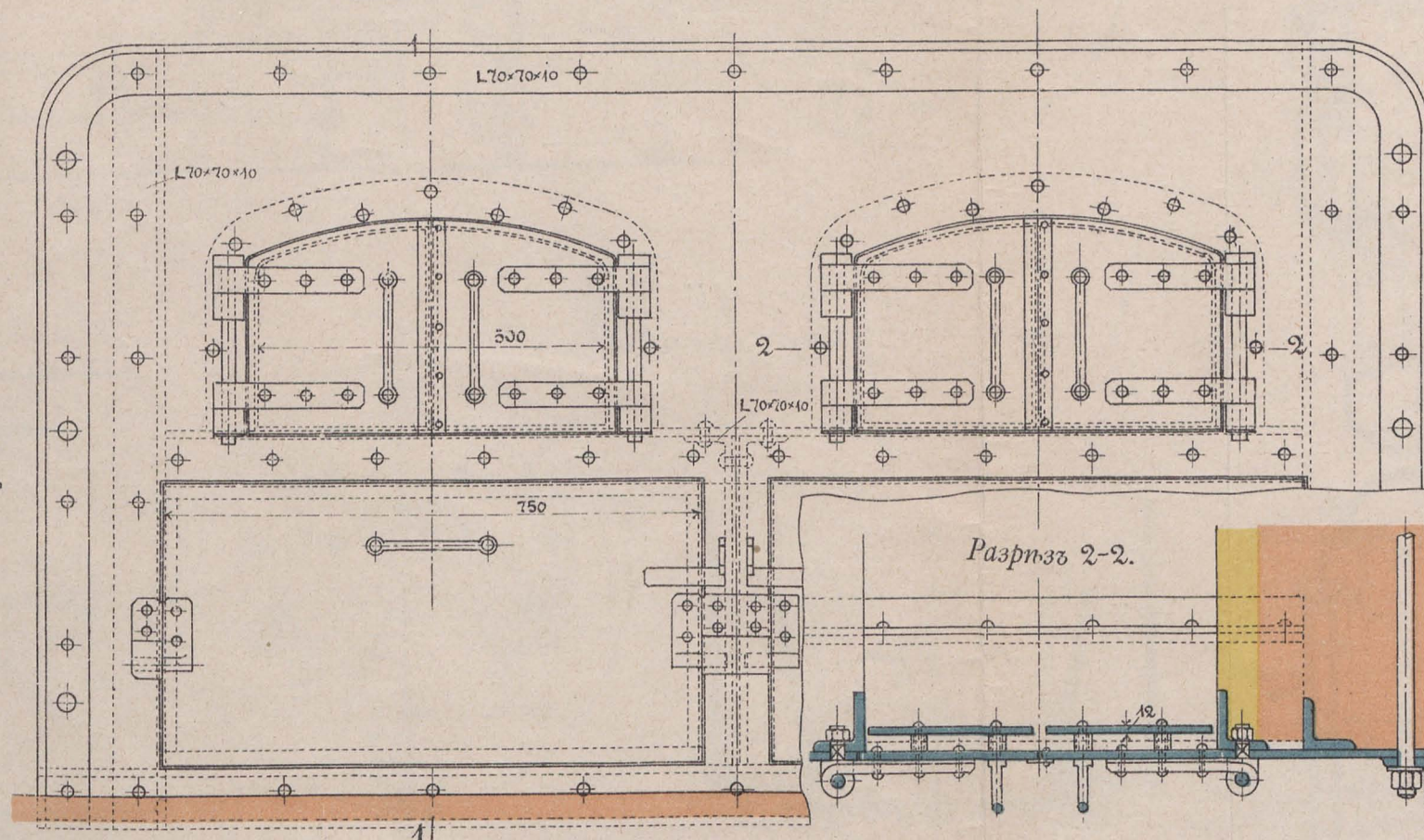




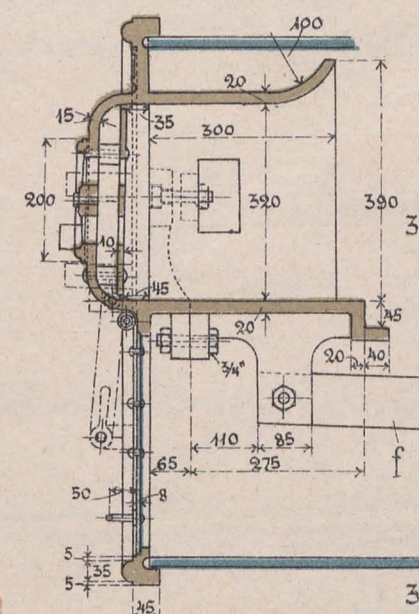
Разрѣзъ 1-1.



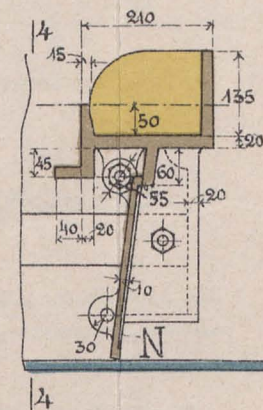
Фиг. 1. 1/10. Железная топочная рама



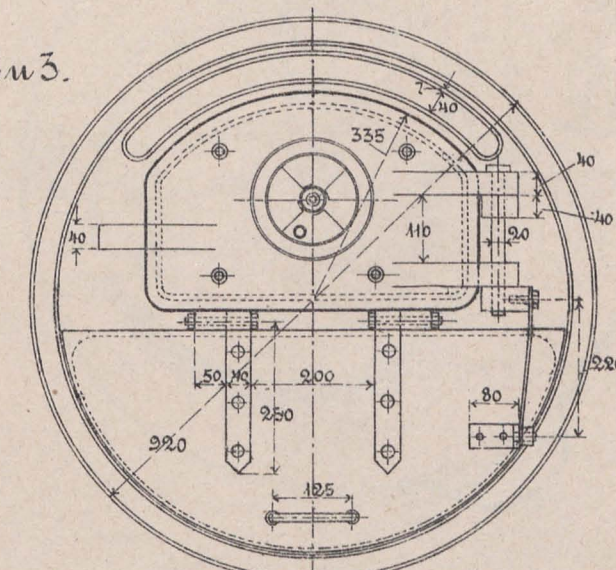
Разрѣзъ 2-2.



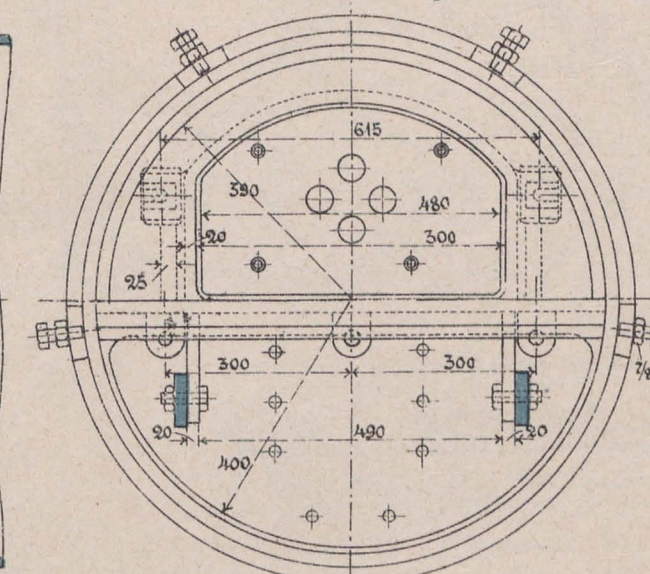
Фиг. 4.  $\frac{1}{2,5}$ .  
Детали къ фиг. 2 и 3.



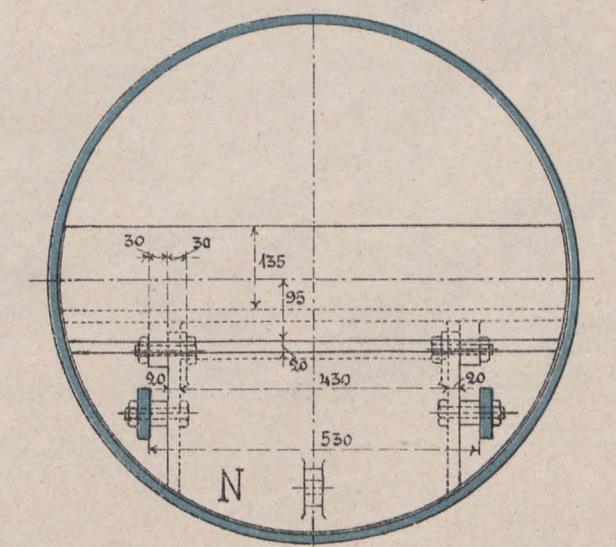
Видъ топочной рамы.



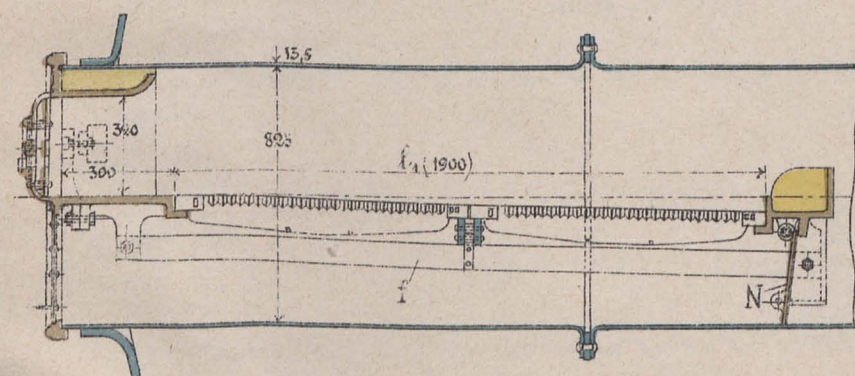
Разрѣзь 3-3.  
съ видомъ топочной рамы.



Разрѣзъ. 4-4  
съ видомъ пламеннаго порога.

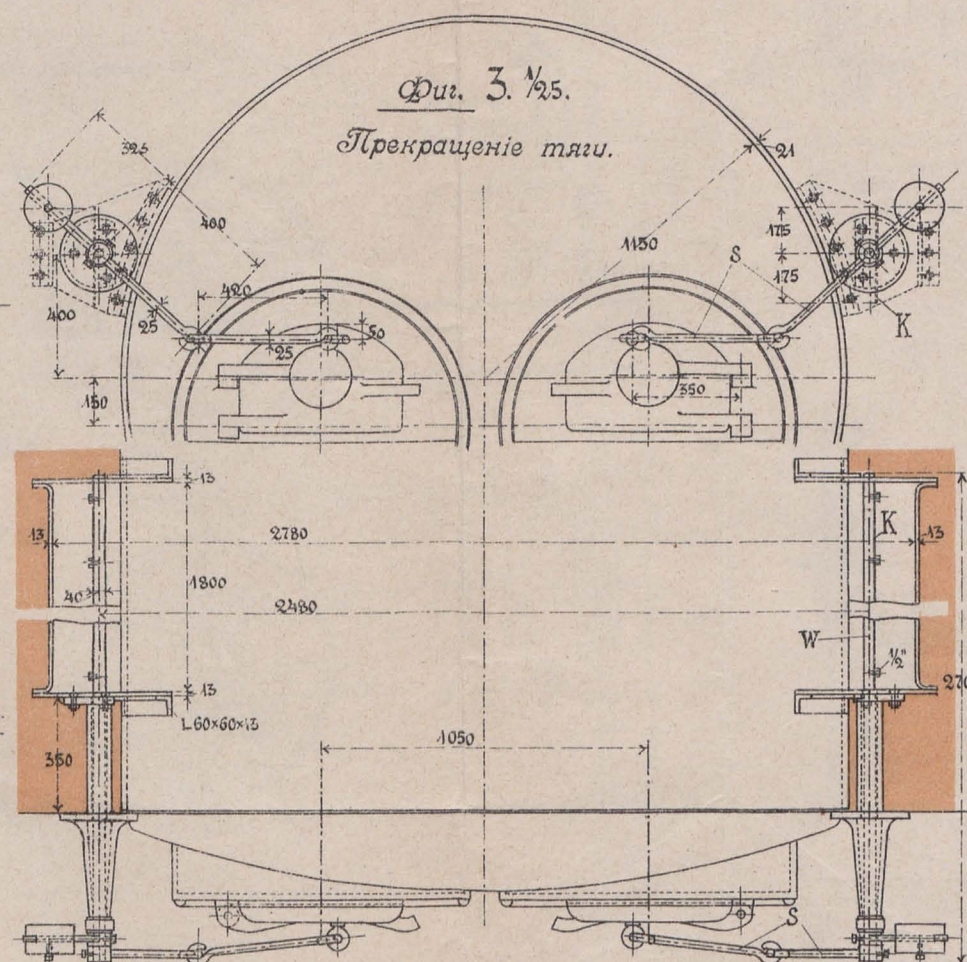


Фиг. 2.  $\frac{1}{25}$ . Внутренняя топка.



Qu. 3. 1/25.

Прекращеніе тяги.



Qu. 2, 3 w4.

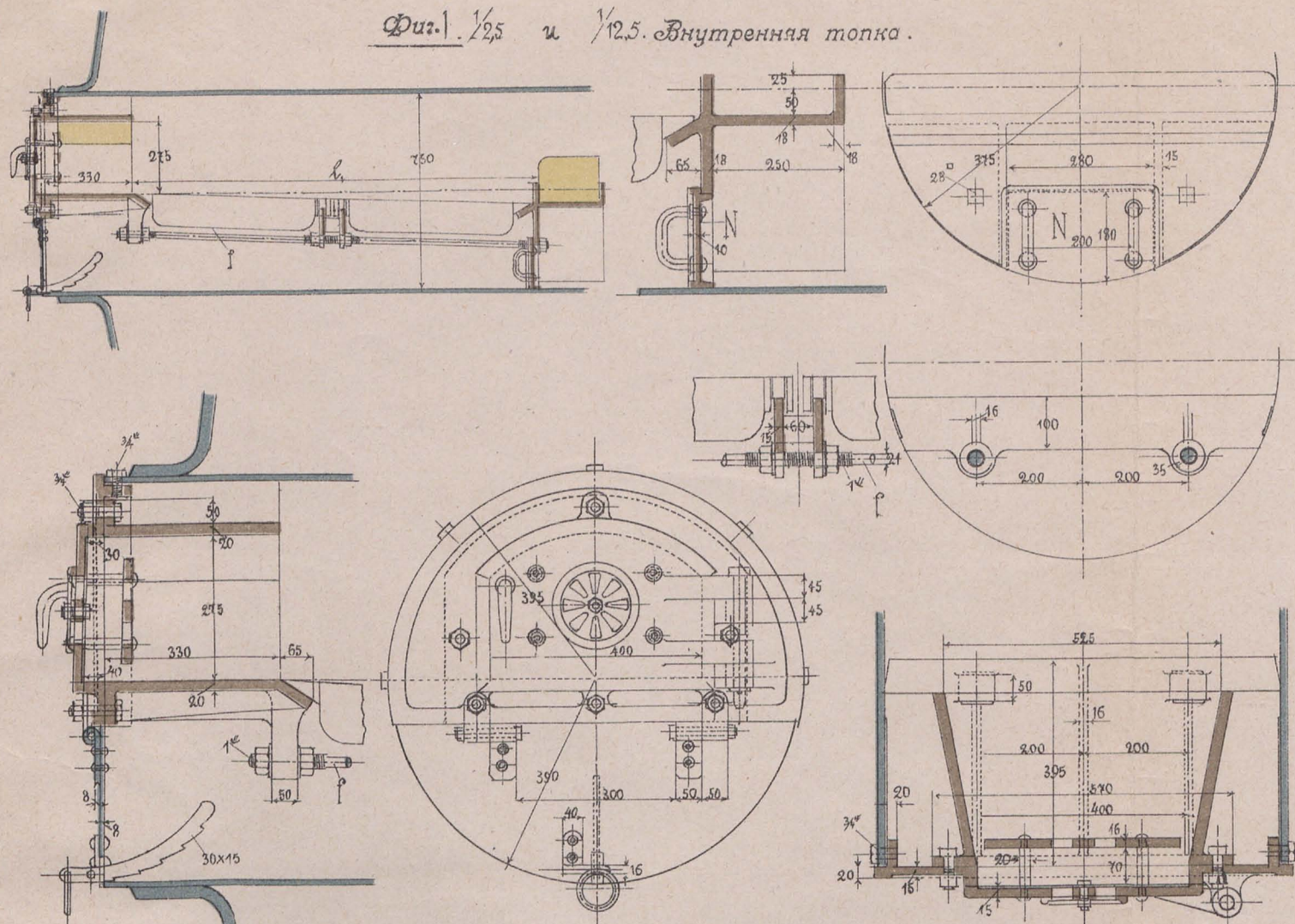
по Меллеру въ Бракбедѣ, Вестфалія.



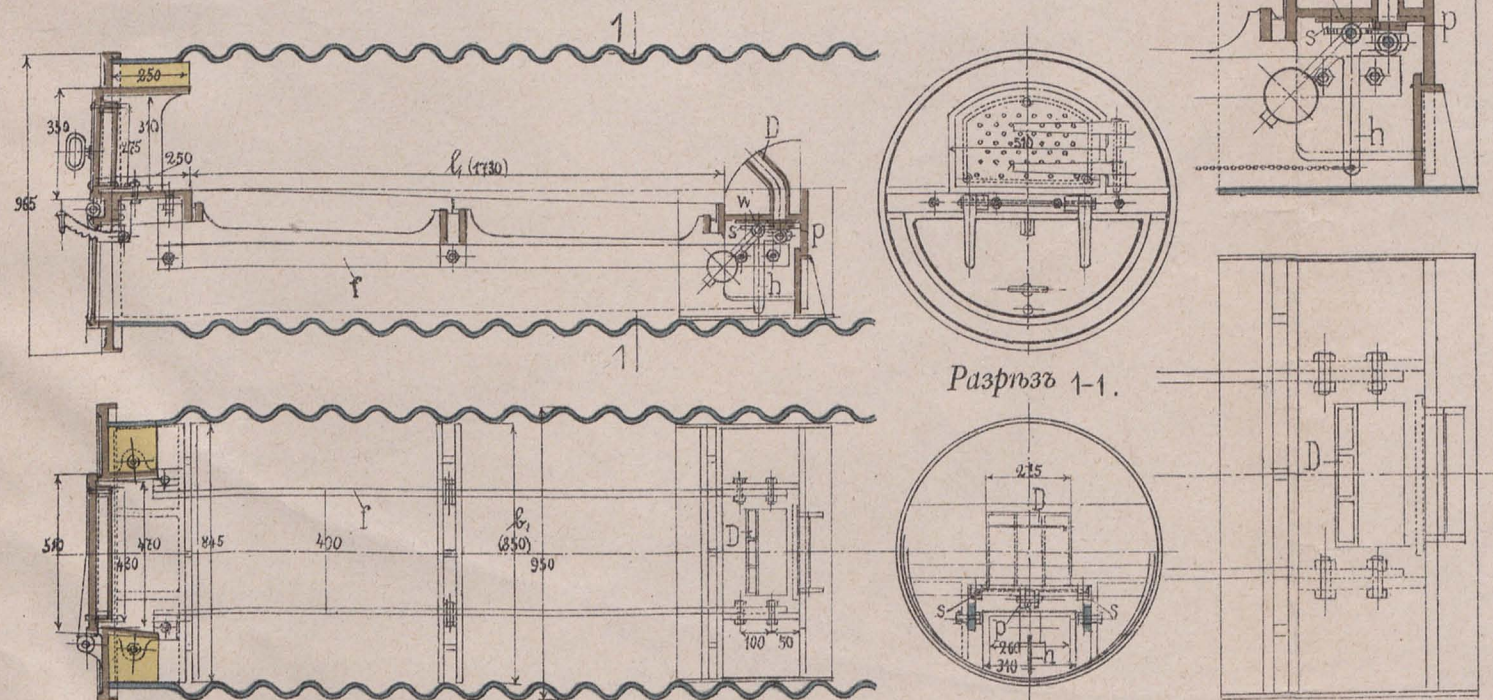




Фиг. 1.  $\frac{1}{25}$  и  $\frac{1}{12.5}$ . Внутренняя топка.

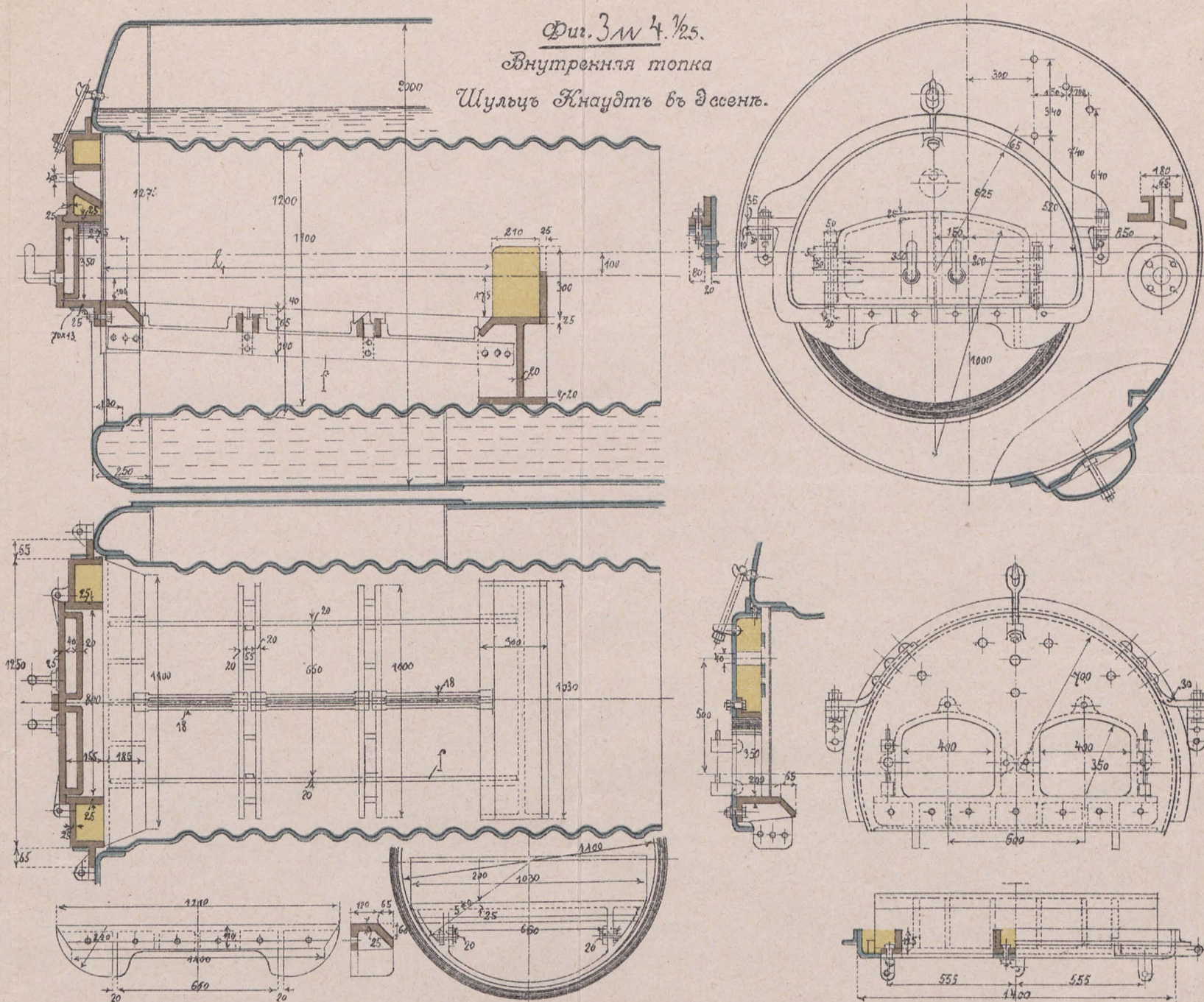


2.  $\frac{1}{25}$  и  $\frac{1}{15}$ . Внутренняя топка с воздушнымъ пламеннымъ порокомъ  
В. Фицнеръ.

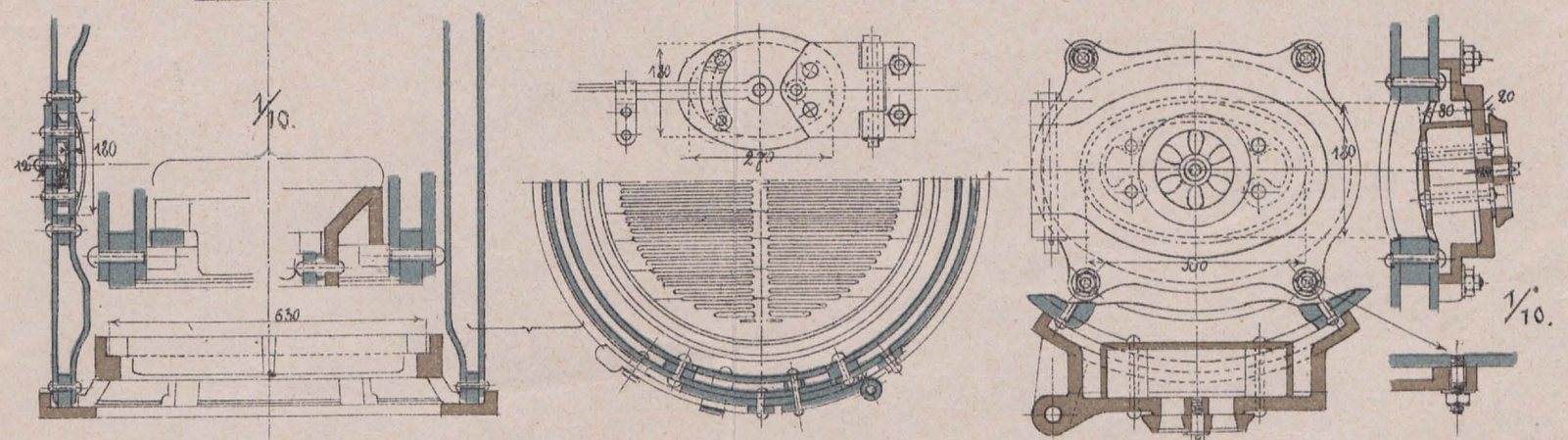


Разрѣзъ 1-1.

Фиг. 3.  $\frac{1}{4}$  и  $\frac{1}{25}$ .  
Внутренняя топка  
Шульцъ Кнаудтъ въ Дессель.



Фиг. 5.  $\frac{1}{15}$ . Внутренняя топка вертикальныхъ котловъ съ огнебой коробкой.





V12943



**Дунге, Е.** Техно-химический анализ. Перев. съ нѣм. А. Лейхманъ. 66 стр. съ 16 рис. 1905. 80 к.

**Мейусъ, А. Ф.** Астрономія. Перев. съ 8-го нѣм. изд. Л. Г. Малисъ. 172 стр. съ 38 фиг. и картой сѣвернаго звѣзднаго неба, рѣзанными на деревѣ. 80 к.

**Мерчингъ, Г.** О движеніи жидкостей воды, керосина и нефти въ трубахъ. Изд. 3-е. 54 стр. съ 2 лист. черт. 1901. 1 р. 50 к.

**Моржовъ, А. П.** Новыя таблицы для разбивки желѣзнодорожныхъ и шоссе-ныхъ кривыхъ взаи́мъ Кренке. Съ общедоступными объясненіями Инж. А. П. Моржова. Составлены по Гангарту и Вальднеру, Саррацину и Обербеку и по таблицамъ изъ инструкцій по изысканіямъ дорогъ: Сибирской и Московско-Виндаво-Рыбинской. Въ перепл. 1 р. 25 к.

**Нагль, А.** Краткій общедоступный курсъ физики для самообученія. Перев. съ нѣм. 54 стр. съ 51 рис. 60 к.

**Нусбаумъ, Г.** профессоръ. Нѣтъ больше смости въ домахъ. Причины сырости и средства для ея устраненія. Съ рис. 1905. 40 к.

**Перри, Проф. Дж.** Курсъ высшей математики для инженеро́въ. (Calculus for engineers). Перев. съ англ. Инженеро́въ П. С. К. Акулова и В. Вашинокаго. 3 р.

**Плѣхановъ, В. инж.** Экономическое отопленіе сторожевыхъ домовъ и однокомнатныхъ квартиръ и гигиеническія плиты. Съ 3 табл. черт. 80 к.

**Побѣдимовъ, В. И.** Курсъ технологии дерева. Составленъ по программамъ ремесленныхъ училищъ Министерства Народнаго Просвѣщенія, утвержденъ. 19 Дек. 1890 г. 106 стр. текста съ 196 рис. въ текстѣ. 1 р.

**Польгаузенъ, А.** Краткій общедоступный курсъ по деталямъ машинъ для самообученія. Перев. съ нѣм. Съ 112 рис. и 62 табл. въ краскахъ. 8 р.

**Польгаузенъ, А.** Краткій общедоступ-

ный курсъ по подъемнымъ машинамъ для самообученія. Перев. съ нѣм. Съ 50 рис. и 4 табл. въ краскахъ. 1 р. 50 к.

**Польгаузенъ, А.** Краткій общедоступный курсъ по паровымъ котламъ для самообученія. Перев. съ нѣм. 87 стр. и 6 табл. въ краскахъ. 1 р. 50 к.

**Польгаузенъ, А.** Паровые котлы, ихъ дѣйствіе, расчетъ, конструкція, сборка и установка. Перев. съ 3-го нѣм. изданія Л. А. Боровичъ. Больше 200 страницъ текста большаго формата съ рисунками въ текстѣ и 34 отдѣльн. таблицами въ краскахъ. Изданіе выйдетъ въ 15 выпускахъ. Цѣна кажд. вып. отдѣльно 50 к. Подп. цѣна на все изданіе 7 р.

**Польгаузенъ, А.** Паровыя машины, ихъ дѣйствіе, расчетъ, конструкція, сборка и установка. Перев. съ нѣм. М. М. Шиллинга и Инж.-Техн. Л. А. Боровича. 12 р. Высылающіе деньги впередъ въ Книж. Магаз. Г. В. Гольстена, С.-Петербургъ, Литейный пр., 28, за пересылку не платятъ. Можно пріобрѣсти изданіе въ разсрочку въ 6-ти вып. по 2 р. каждый.

**Пруссакъ, Д-ръ К.** Разборныя, перевозныя, несгораемыя баракъ-дачки системы Д-ра К. Пруссака, премированной на конкурсѣ Росс. О-ва Краснаго Креста и удостоенной почетнаго отзыва на Антверпенской выставкѣ. Съ 6 черт. 60 к.

**Рентгенъ, проф.** Новый родъ лучей. Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. И. И. Борзмана. 30 к.

**Садтлеръ, С.** Руководство къ технической органической химіи. Перев. съ англ. А. П. Лидовъ. Вып. I: Минеральныя и органическіе жиры (нефть, асфальтъ жиры и жирныя масла, мыло, стеарины). Смоли и эфирныя масла (смоли, каучукъ, гуттаперча, эфирныя масла, лаки). 2 р. Вып. II: Углеводы: Сахарное производство, Производство крахмала и продуктовъ его переработки. 1 р. Вып. III: Производства, основанныя на броженіи: Природа и раз-

новидности дрожжей. Содоженіе и другія связанныя съ нимъ производства. Винодѣліе. Винокуренное производство. Хлѣбопеченіе. Уксусное производство. 1 р. 20 к. Вып. IV: Молочная промышленность. Растительныя волокнистыя вещества. Писчебумажное производство. Бездымный порохъ, пироксилинь, коллодионъ, и целлулоидъ. Волокнистыя вещества животнаго происхожденія: Шерсть: Шелкъ. 1 р. 20 к. Вып. V—VI: Животный покровъ и продукты его переработки: Кожевенное производство. Производсто клея и съѣдобной желатины. Производства, основанныя на сухой перегонкѣ: Сухая перегонка каменнаго угля. 1 р. 20 к. Вып. VII—VIII: Искусственныя и естественныя красящія вещества. Бѣленіе, крашеніе, и ситцепечатаніе. 2 р. 50 к. Цѣна 8 вып. выѣстъ 8 р.

**Скриба, Э.** Новый стиль! Современныя столярныя работы. Собраніе образцовыхъ чертежей для внутренней отдѣлки зданій въ новомъ стилѣ. 24 табл. съ объяснительнымъ текстомъ. 1 р. 50 к.

**Собраніе правилъ и программъ для лицъ, желающихъ держатъ испытаніе на званіе инженера-строителя (Моск. Императ. Инженерн. Училищ.), на званіе техника-строителя, на званіе техника путей сообщенія, военно-инженернаго кондуктора или техника морской строительной части.** 135 стр. 1904. 1 р.

**Собраніе правилъ и программъ для лицъ, желающихъ держатъ испытаніе на званіе техника-строителя.** 1904. 25 к.

**Собраніе правилъ и программъ для лицъ, желающихъ держатъ испытаніе на званіе инженера строителя (Моск. Императ. Инж. Училища).** 1904. 50 к.

**Собраніе правилъ и программъ для лицъ, желающихъ держатъ испытаніе на званіе техника путей сообщенія.** 1905. 50 к.

**Собраніе правилъ и программъ для лицъ, желающихъ держатъ испытаніе на званіе военно-инженернаго кондуктора**

## Изданія Книжнаго Магазина Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.

### ШКОЛА

#### СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.

Въ 12 томахъ, составляющихъ по околчанію назаніи одинъ общій томъ.

Перев. съ нѣмецкаго и дополнилъ

**В. И. ВИТТЪ,**

Инженеръ-Механикъ и Электрикъ.

Съ 1500 рис. и 16 раскрашенными таблицами.

Томъ 1. Электрическій токъ, его законы и дѣйствія, химическія, тепловыя и свѣтловыя. 768 стр. съ 65 рис. Ц. 2 р. Томъ 2. Магнетизмъ и индукція. 168 стр. съ 114 рис. и 2 табл. Ц. 2 р. Томъ 3. Абсолютная система единицъ. Измѣрит. приборы и способы электрич. измѣреній. 264 стр. съ 203 рис. Цѣна 3 р. Томъ 4. Динамомашинны и электродвигатели постояннаго тока. 239 стр. съ 142 рис. и 3 раскраш. табл. Ц. 3 р. Томъ 5. Динамомашинны и электродвигатели однофазныхъ и многофазныхъ переменныхъ токовъ. 216 стр. съ 156 рис. и 4 раскраш. табл. Ц. 3 р. Томъ 6. Трансформаторы одно-и многофазныхъ перемен. токовъ. 80 стр. съ 91 рис. и 1 раскраш. табл. Ц. 1 р. Томъ 7. Описаніе выполненныхъ динамомашинъ и электродвигат. постояннаго и перемен. токовъ и трансформаторовъ. 169 стр. съ 3 раскраш. табл. Цѣна 2 р. 25 к. Томъ 8. Аккумуляторы электрич. тока. Около 194 стр. съ 174 рис. Цѣна 3 р. Томъ 9. Системы распред. электрич. тока. 102 стр. съ 89 рис. Цѣна 1 р. 25 к. Томъ 10. Электрич. провода, ихъ производство, расчетъ и прокладка. Около 100 стр. съ 182 рис. Подп. ц. 1 р. 50 к. Томъ 11. Вспомогат. аппараты для электрич. установокъ. Электрич. освѣщ. Лампы накалива. Лампы съ вольт. дугой. Электрич. нагреват. и паяльн. прибо. Электрич. печи. Около 100 стр. съ 148 рис. Подп. ц. 1 р. 20 к. Томъ 12. Электрич. перед. энергіи. Электрич. жел. дор. Электрич. автом. и лодки. Около 100 стр. съ 109 рис. Подп. ц. 1 р. 20 к.

Каждый томъ продается отдѣльно. Подписная цѣна на все изданіе (12 томовъ) 20 р., съ перес. 24 р.

ИЗДАНІЕ ЗАКОНЧИТСЯ ВЪ 1905 г.

### ШКОЛА

#### СОВРЕМЕННОГО МЕХАНИКА.

Въ 15 томахъ, составляющихъ одинъ общій томъ съ отдѣльнымъ атласомъ.

Перевелъ съ нѣмецкаго

**Инженеръ С. Ю. Калещій.**

Съ 947 рис. и 105 табл., изъ кот. 73 въ краскахъ

Томъ 1. Ариѳметика и алгебра. Сост. Г. Фишеръ и А. Бэръ. 256 стр. Ц. 2 р. 50 к. Томъ 2. Планиметрия. Сост. А. Бэръ. 96 стр. съ 188 рис. Ц. 1 р. Томъ 3. Тригонометрія. Сост. П. Кильманъ. 128 стр. съ 61 рис. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 4. Стереометрія. Сост. П. Кильманъ. 108 стр. съ 53 рис. Ц. 1 р. Томъ 5. Геометрическое черченіе и начертательная геометрія. Сост. Ф. Штаде и М. Зейдель. 87 стр. съ 32 рис. и 25 табл. Ц. 2 р. 50 к. Томъ 6. Физика. Сост. А. Нагль. 54 стр. съ 51 рис. Ц. 60 к. Томъ 7. Механика. Сост. Р. Гейгенмиллеръ. 218 стр. съ 160 рис. Ц. 2 р. Томъ 8. Сопровоженіе материаловъ. Сост. Л. Гуммель. 48 стр. съ 66 рис. Ц. 60 к. Томъ 9. Дифференціальное и интегральное исчисленія. Сост. Р. Гейгенмиллеръ. 95 стр. съ 42 рис. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 10. Детали машинъ. Сост. А. Польгаузенъ. 392 стр. съ 84 и 62 табл. Цѣна 8 р. Томъ 11. Графостатика. Сост. П. Кильманъ. 109 стр. съ 88 рис. и 5 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 12. Паровые котлы. Сост. А. Польгаузенъ. 187 стр. съ 27 рис. и 5 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 13. Подъемныя машины. Сост. А. Польгаузенъ. 80 стр. текста съ 50 рис. и 4 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 14. Гидравлическіе двигатели. Сост. К. Декертъ. 76 стр. съ 63 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 20 к. Томъ 15. Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к.

Каждый томъ продается отдѣльно. Цѣна всего изданія (15 томовъ) 20 р., въ переплетѣ 21 р. 50 к. Допускается рассрочка отъ 2 р. Высылающіе сразу всю сумму 20 руб. за пересылку не платятъ.

ИЗДАНІЕ ЗАКОНЧЕНО.

### ШКОЛА СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЯ.

Полный систематическій самоучитель по вѣсѣмъ отраслямъ знаній, необходимымъ строителю.

Переводъ съ нѣмецкаго съ дополненіями для русскихъ техникумовъ подъ редакціей Инженера С. Ю. Калещаго.

Въ 20 томахъ, со множествомъ рисунковъ и раскрашенныхъ таблицъ.

Подписная цѣна на все изданіе 20 р., съ пересылкою 24 р. (Допускается рассрочка).

Томъ 1: Ариѳметика и алгебра. Сост. А. Бэръ. 256 стр. Ц. 2 р. 50 к. Томъ 2: Планиметрия. Сост. А. Бэръ. 96 стр. съ 188 рис. Ц. 1 р. Томъ 3: Тригонометрія. Сост. П. Кильманъ. 128 стр. съ 61 рис. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 4: Стереометрія. Сост. П. Кильманъ. 108 стр. съ 53 рис. Ц. 1 р. Томъ 5: Физика. Сост. А. Бэръ. 54 стр. съ 51 рис. Ц. 60 к. Томъ 6: Механика. Сост. Р. Гейгенмиллеръ. 218 стр. съ 160 рис. Ц. 2 р. Томъ 7: Сопровоженіе материаловъ. Сост. Л. Гуммель. 48 стр. съ 66 рис. Ц. 60 к. Томъ 8: Графостатика. Сост. П. Кильманъ. 109 стр. съ 88 рис. и 5 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 9: Проектионное черченіе и начертательная геометрія. Сост. Ф. Штаде и М. Зейдель. 87 стр. съ 32 рис. и 25 табл. Ц. 2 р. 50 к. Томъ 10: Геометрическое черченіе и начертательная геометрія. Сост. Ф. Штаде и М. Зейдель. 87 стр. съ 32 рис. и 25 табл. Ц. 2 р. 50 к. Томъ 11: Паровые котлы. Сост. А. Польгаузенъ. 187 стр. съ 27 рис. и 5 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 12: Подъемныя машины. Сост. А. Польгаузенъ. 80 стр. текста съ 50 рис. и 4 табл. Цѣна 1 р. 50 к. Томъ 13: Гидравлическіе двигатели. Сост. К. Декертъ. 76 стр. съ 63 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 20 к. Томъ 14: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 15: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 16: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 17: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 18: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 19: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. Томъ 20: Паровыя машины. Сост. Л. Гуммель. 141 стр. съ 71 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к.

Каждый томъ составляетъ изъ себя законченное цѣлое и будетъ продаваться отдѣльно.

Томы 1, 2, 3, 4, 6, 8, 13 вышли въ свѣтъ



или техника морск. стронт. части. 1904. 25 к.

**Тридвелль, Ф. и В. Мейеръ.** Таблицы для качественного анализа. Перев. съ нѣм. К. С. Кожаровскій. 1 р. 25 к.

**Фатеръ, Р.** Теорія и устройство тепловыхъ двигателей въ общедоступномъ изложеніи. Перев. съ нѣм. С. П. Ламанскаго. Съ 32 рис. въ текствѣ. 1 р. 50 к.

**Ферстеръ, Ф.** Электротехническая практика. Практическое общедоступное руководство для гг. инженеровъ, электротехниковъ, заведующихъ станціями, монтажниковъ и машинистовъ. Томъ I. Динамомашинны и аккумуляторы постоянного тока. Пер. съ нѣм. Инж. Пфедера. Съ 60 рис. 1 р.

**Фивегеръ, Г. и А. Вэръ.** Краткій общедост. курсъ ариѳметики и алгебры для самообуч. Перев. съ нѣм. 256 стр. 2 р. 50 к.

**Фоссъ, Ф.** Полученіе стали по способу «Bertrand-Thiel». Составлено по докладу, чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливлендскаго Общ. инженеровъ Percy C. Gilchrist'омъ. Спб. 1897. 60 к.

**Фрейтагъ, Фр.** Профессоръ. Общедоступная справочная книга по всемъ отраслямъ машиностроенія, дающая всѣ необходимыя научно-обоснованныя свѣдѣнія при проектированіи различныхъ ма-

шинъ и ихъ деталей. Пер. съ нѣм. и дополн. Инженеръ-Технологъ и преподаватель Брянскаго технич. училища Л. А. Боровичъ. Съ 867 рис. и 6 табл. 1905. 5 р.

*Справочная книга Фрейтага продается также въ 20 выпускахъ отъ 30—60 к. за выпускъ. Подробн. см. въ Указателѣ Русск. Техн. Литер. Г. В. Гольстена.*

**Шиллингъ, М.** Дешевое топливо. Горючая коксъ и бурый торфяной уголь. Новый способъ коксованія торфа по сист. А. Циглера. 17 стр. съ 3 черт. 1901. 50 к.

**Школа Современнаго Механика.** 15 томовъ. 20 р. Подробн. см. на оборотѣ

**Школа Современнаго Строителя.** 20 томовъ. 20 р. Подробн. см. на оборотѣ

**Школа Современнаго Электротехника.** 20 р. Подробн. см. на оборотѣ

**Шлоттербекъ, В.** Практические, легко усваиваемые приемы къ скорому и облегченному численію. 60 к.

**Штаде, Ф.** Деревянные сооруженія: Введеніе.—Простыя деревянные соединенія.—Укладка балокъ.—Подвѣсныя балки.—Шпренгельныя системы.—Соединенныя подвѣсныя и шпренгельныя системы.—Устройство деревянныхъ стѣнъ.—Заполненія между балками.—Подшивка и

украшеніе деревянныхъ потолковъ.—Устройство деревянныхъ половъ.—Плинтусы, галтели и ламбрисы. Съ 325 черт. и 9 табл. въ краскахъ. 1904. 2 р.

**Штаде, Ф. и М. Зейдель.** Краткій общедоступный курсъ геометрическаго черченія и начертательной геометріи для самообученія. Перев. съ нѣм. 87 стр. съ 27 рис. и 19 табл. 2 р. 50 к.

**Штаркеръ, Е.** Гигиеническая поваренная книга, могущая служить руководствомъ бывшимъ посетителямъ санаторіи Д-ра Ламаца въ Вейссеръ-гиршъ близъ Дрездена и послѣдователямъ вегетарианизма. 178 стр. 1902. 2 р.

**Шульцъ, Ф.** Обработка стекла. Плавленіе и огибаніе стекла на стеклодувной лампѣ, его пробурываніе, шлифованіе, травленіе, распиливаніе, замазываніе. Перев. съ нѣм. 24 стр. съ 7 рис. 1901. 60 к.

**Шульцъ, Э.** Болѣзни электрическихъ машинъ. Краткое описаніе нарушеній и неисправностей въ динамомашинахъ, моторахъ и трансформаторахъ постоянного тока, однофазнаго и многофазнаго переменнаго тока. Практич. руководство для установщиковъ. Съ 42 рис. Перев. съ нѣм. Инж.-Техн. Л. А. Боровичъ. Спб. 1904. 75 к.

## НОВОЕ ИЗДАНІЕ Книжнаго Магазина Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.

*Профессоръ Фр. Фрейтагъ.*

Общедоступная справочная книга

ПО ВСЕМЪ ОТРАСЛЯМЪ

# Машиностроенія.

Переведъ съ нѣмецкаго и дополнитъ  
Инженеръ-Технологъ Л. А. БОРОВИЧЪ.

Съ 867 рис. и 6 табл.

Цѣна 5 р.

*Справочная книга Фрейтага продается также въ 20 выпускахъ по отовламъ:*

Вып. 1: Математика для гг. техниковъ и инженеровъ. Съ рисунками. 30 к.

» 2: Упругость и сопротивленіе матеріаловъ. Съ рис. 30 к.

» 3: Детали машинъ. Часть 1: Способы соединенія частей машинъ. Клинныя (чеки и шпонки), винты, заклепки, расчетъ заклепочныхъ швовъ. Съ рис. 40 к.

» 4: Детали машинъ. Часть 2: Зубчатые колеса. Съ рис. 40 к.

» 5: Детали машинъ. Часть 3: Фрикціонныя колеса (колеса тренія), ременный и канатный приводъ, цапфы (шейки), оси и валы. Съ рис. 40 к.

» 6: Детали машинъ. Часть 4: Муфты, подшипники, подшипники. Съ рис. 40 к.

» 7: Детали машинъ. Часть 5: Поршни, сальники, кривошипы, колышчатые валы, эксцентрики и ихъ тяги, шатуны, части для направленія прямолинейнаго движенія. Съ рис. 40 к.

Вып. 8: Детали машинъ. Часть 6: Маховыя колеса для двигателей, центробѣжныя регуляторы. Съ рис. 40 к.

» 9: Детали машинъ. Часть 7: Цилиндры, трубы, вентили, клапаны. Съ рис. 40 к.

» 10: Детали машинъ. Часть 8: Клапаны, блоки и барабаны, цѣпи, крюки, храповики и тормоза. Съ рис. 40 к.

» 11: Машины-орудія. Часть 1: Блоки, тали (полиспасты), колесныя лебедки, барабанныя лебедки, домкраты. Съ рис. 40 к.

» 12: Машины-орудія. Часть 2: Краны. Съ рис. 40 к.

» 13: Машины-орудія. Часть 3: Поршневые и центробѣжныя насосы. Съ рис. 40 к.

» 14: Машины-орудія. Часть 4: Вентиляторы и компрессоры. Съ рис. 40 к.

» 15: Паровыя машины и паровыя турбины. Со мног. рис. 60 к.

» 16: Паровыя котлы. Со мног. рис. 60 к.

» 17: Водяные двигатели (турбины). Съ рис. 60 к.

» 18: Газовые, керосиновые и бензиновые двигатели. Съ рис. 40 к.

» 19: Строительное искусство: Таблицы, каменная кладка, отверстія въ стѣнахъ, деревянные сопряженія, балки, желѣзныя, бетонныя покрытія, колонны, стропила, крыши, кровли, лѣстницы, фундаменты, трубы и пр. Съ рис. 40 к.

» 20: Прибавленіе: Тепловыя свойства различныхъ тѣлъ, коэффициенты тренія, нормальныя профили прокатнаго желѣза, мѣры и вѣсы, правила относит. устр. и содержанія паров. котловъ. Съ рис. 40 к.

Каждый выпускъ продается отдѣльно и представляетъ изъ себя маленькую справочную книжку по данной спеціальности.

Съ заказами просить обращаться исключительно въ

**Книжный Магазинъ Г. В. Гольстена.**

С.-Петербургъ, Литейный пр., 28.





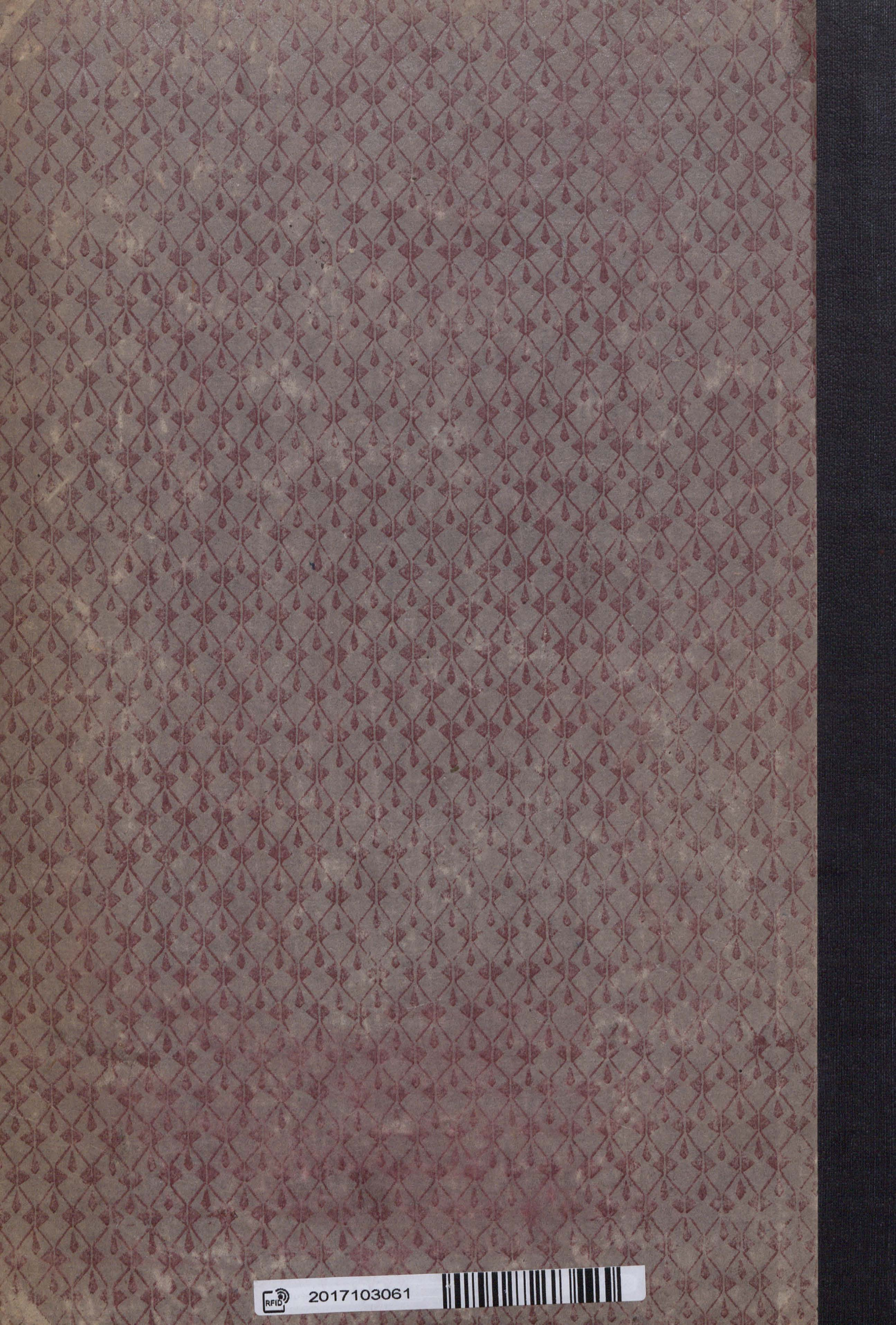






ms  
108





 2017103061 