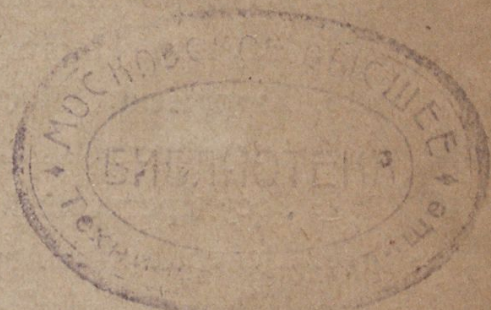


Труды Центрального Аэро-Гидродинамического
Института. Выпуск 5.

К. А. УШАКОВ.



НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ
ПРИ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ.
ЭТАЛОННЫЕ ВЕСЫ.

211998

МОСКВА — 1924.

4466

Научно-Технический Отдел В. С. Н. Х. имеет в своем составе
нижеследующие исследовательские научно-технические институты
и учреждения, работу которых он объединяет:

1. Институт Прикладной Химии.
2. Институт Чистых Химических Реактивов.
3. Научный Химико-Фармацевтический Институт.
4. Научный Институт по Удобрениям.
5. Химический Институт имени Л. Я. Карпова.
6. Государственный Экспериментальный Институт Силикатов.
7. Государственный Экспериментальный Электротехнический Институт.
8. Центральный Аэро-Гидродинамический Институт.
9. Научный Автомоторный Институт.
10. Институт Прикладной Минералогии и Петрографии (Lithogaea).
11. Северная Научно-Промысловая Экспедиция.

Научно-Технический Отдел издает труды перечисленных институ-
тов в виде отдельных выпусков, из которых каждый содержит труды
только одного института.

Каждый выпуск имеет два номера: верхний—общий порядковый,
нижний—по институту.

2.11998

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2.11998

Ушаков К.А. Новый метод изг

МЕНЕРТ. Москва, Советская (Б. Полянка), 9.

Тираж 1000 экз.

Труды Центрального Аэро-Гидродинамического
Института. Выпуск 5.



К. А. УШАКОВ.

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ
ПРИ
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ.
ЭТАЛОННЫЕ ВЕСЫ.

Ц 466

Презерв 1935

211998



ПРОВЕРЕНО
1952

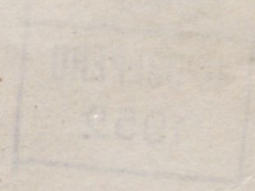
Труды Центрального Аппарата-Технического
Института В.С.Н.Х.

К. А. УШАКОВ

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СКО-
РОСТИ
РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
СТАЛОННЫЕ ВЕЩА



В.И.И.С.



Настоящая работа по разработке теории эталонного метода измерений аэродинамических сил послужила основой для проектирования эталонных весов, выстроенных в виде опытной модели в 1921 г.

Целью применения эталонного метода является упрощение аэродинамического эксперимента, механизация отсчетов и вычислительных операций.

При испытании серий крыльев, заключающих большее количество различных профилей, этот метод дает весьма большую экономию во времени.

В настоящее время выполняется новая опытная модель таких же весов уже в соединении с пишущим прибором, могущих давать непосредственно диаграммы аэродинамических испытаний и позволяющих получать непрерывную характеристику данного профиля со всеми ее критическими точками и т. д. Эта последняя модель должна облегчить серийные и сравнительные опыты во много раз и сделать их надежными даже при неопытных экспериментаторах.

сится и Техническая Термодинамика, для своего отчетового усвоения безусловно требует от изучающего умения решать частные задачи различной трудности и объема. "Мера, вес и число" являются неизбежными искомыми величинами, теми иксами, отыскание которых должно завершать всякую практическую задачу. Поэтому доведение задачи до окончательных числовых результатов является особенно важным и ценным в прикладных вопросах: под мешкотной и зачастую скудной вычислительной работой скрывается глубокое практическое и воспитательное значение. Лишь путем методичных упражнений в решении задач, с доведением их до конца, приобретается тот ценный навык и развивается чувство инициативы и самостоятельности, без которых трудно сделаться ответственным работником в определенной области инженерного созидательного дела.

В русской научно-учебной технической литературе имеется очень немного пособий - систематизированных сборников задач по Технической Термодинамике. В этом отношении западная литература значительно богаче отечественной, особенно литература немецкая и английская. Существующие сборники задач по Термодинамике затрагивают большую часть вопросов несколько отвлеченного характера и редко применяют в качестве объектов для заданий чисто технические практические вопросы.

Нам думается, что выпуск в свет настоящего сборника, снабженного числовыми решениями типовых задач и важнейшими вспомогательными таблицами и диаграммами, должен оказать посильную помощь всем изучающим Прикладную Термодинамику, в особенности студентам Высших Технических учебных заведений. Подбор задач в сборнике приурочен в основных чертах к курсам Термодинамики, читаемым в Московском Высшем Техническом Училище на Механическом и Электротехническом Факультетах. Большинство задач сборника носит практический характер как по содержанию, а равно и по числовым заданиям, что должно иметь для изучающего существенное значение, не умаляя основной цели.

Автор задачника в начале каждого отдела помещает сводку важнейших формул и экспериментальных данных; мы полагаем, что подобное введение принесет существенную пользу для упражняющихся в решении задач, напоминая в систематизированном виде основной материал по каждому отделу. В сборник вошел ряд задач, решаемых помощью различных диаграмм (в частности TS - диаграмма), что

О силах, возникающих при аэродинамических испытаниях и их измерении.

Целью большинства испытаний в аэродинамических лабораториях является, как известно, получение характеристик различных деталей летательных аппаратов, как то—крыльев, рулей, фюзеляжей и пр. Характеристики эти дают нам обычно соотношение между силами реакции воздуха на движущуюся в нем деталь, с одной стороны, и скоростью и направлением этого движения относительно некоторой, находящейся на детали прямой, с другой стороны. Обычно аргументом является одна из двух последних величин, другая же представляет из себя параметр.

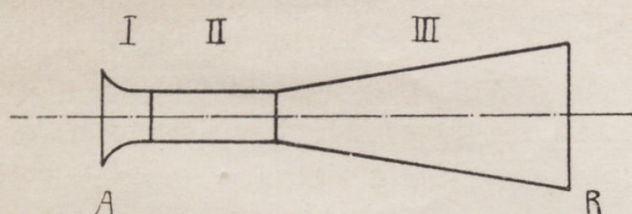
Примером более сложных зависимостей является определение влияния на упомянутые силы реакции положения других деталей, находящихся вблизи испытываемой, и вызывающих изменение характера обтекания ее воздухом. Различные относительно испытываемой положения этих деталей являются обычно параметрами, меняющимися от одной серии испытаний к другой.

В виду того, что почти все вопросы летания связаны с преобразованием при помощи крыла силы тяги, действующей на него в направлении полета или близком к нему, в подъемную силу, то выгодность крыла в значительной мере измеряется его качеством, т.-е. числом, выражающим отношение второй из названных сил к первой. Это число указывает нам, сколько единиц веса может поднять данное крыло, если сила, заставляющая его двигаться в воздухе, равна одной единице.

Наиболее распространенным и удобным способом получения характеристик крыльев самолетов является их испытание в аэродинамических трубах, дающее возможность подвергать укрепленную на измерительном приборе того или иного вида модель действию потока воздуха, вызываемого вентилятором и набегающего на нее с определенной скоростью. Чтобы не отдаляться от темы, которой посвящается настоящая статья, т.-е. от описания принципа и действия эталонных весов, мы ограничимся кратким описанием одной из труб Аэродинамической Лаборатории Высшего Технического Училища, а именно плоской, на которой эти весы и установлены.

Подобно большинству установок, плоская труба состоит из трех основных частей, непосредственно связанных между собою. Передний

отсек I (фиг. 1) или всасывающий насадок, длиной около метра, имеет своей целью дать струям воздуха засасываемого из окружающего



Фиг. 1.

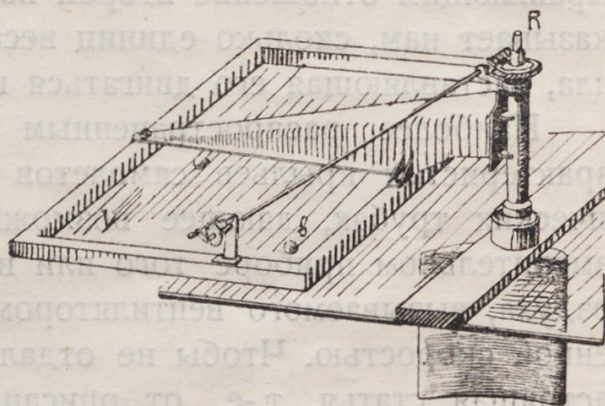
трубу пространства направление параллельное оси трубы, а также уравнивать скорости по поперечному ее сечению. Средняя или рабочая часть трубы (II) длиной около 1,5 метра имеет сечение 1,5 на 0,3 и осуществляет плоско-

параллельный поток, в котором и помещается испытуемая модель. Боковые стенки и верх этой части стеклянные, нижняя же стенка деревянная. Непосредственно за рабочей частью следует диффузор (III). Назначением его является, во первых, осуществление перехода с прямоугольного сечения на круглое диаметром в 1,5 метра, а также преобразование большого скоростного напора в части (II) в давление, что позволяет сильно повысить рабочую скорость, не увеличивая чрезмерно мощности мотора. В выходном сечении трубы помещается 8-ми лопастный вентилятор типа „НЕЖ“, дающий при полной нагрузке мотора в 23 силы скорость в рабочей части в 42—45 метров/сек. Для испытания в этой трубе все модели делаются обычно одного и того же нормального размера 300 на 295 мм и укрепляются в вертикальном положении так, что боковые грани, представляющие как раз профили сечения крыла, почти вплотную подходят к верхней и нижней стенкам; остающийся зазор в 2 мм необходим для обеспечения свободного перемещения модели, в горизонтальной плоскости.

Не входя в подробности теоретических рассуждений, а также и описания поставленных с целью их проверки опытов, считаем необходимым указать, что как влияние зазора, так и ограниченность потока в горизонтальном направлении (0,75 метра в каждую сторону) имеют своим следствием то, что результаты испытаний нормальных моделей в этой трубе соответствуют крылу с отношением размаха к глубине около 5,5.

Перейдем теперь к описанию приспособлений, удерживающих модель и осуществляющих ее подвижность в горизонтальной плоскости.

Звеном, соединяющим находящуюся внутри трубы модель с прибором для измерения сил, является стержень R (фиг. 2), оканчивающийся трехзубой вилкой, врезанной в тело модели. Этот стержень проходит через отверстие верхней стенки трубы и закрепляется в угломерном приборе, дающем возможность отсчитывать углы атаки модели по отношению к потоку.



Фиг. 2.

Кронштейн угломерного прибора покоится на массивной раме со вставленным в ней зеркальным стеклом.

Как было уже сказано, верхняя стенка трубы является также стеклянной, по ней и перекачивается стекло V на трех стальных шарах. При отсутствии пыли на стеклах и хорошем качестве шаров эта система движения модели достаточно чувствительна; силы в 2—3 грамма уже достаточно, чтобы сдвинуть раму с места.

Следующим интересующим нас вопросом является способ разложения равнодействующей силы сопротивления воздуха на подъемную силу и лобовое сопротивление. У описываемой трубы это достигается следующим образом: для измерения подъемной силы рама F (фиг. 3)

соединяется шарнирно с корпусом трубы при помощи двух стержней H_1 равной длины и параллельных направлению потока, а к горизонтальной нити T, идущей от кронштейна угломерного прибора перпендикулярно оси трубы и перекинутой через блок, подвешена чашка для гирь.

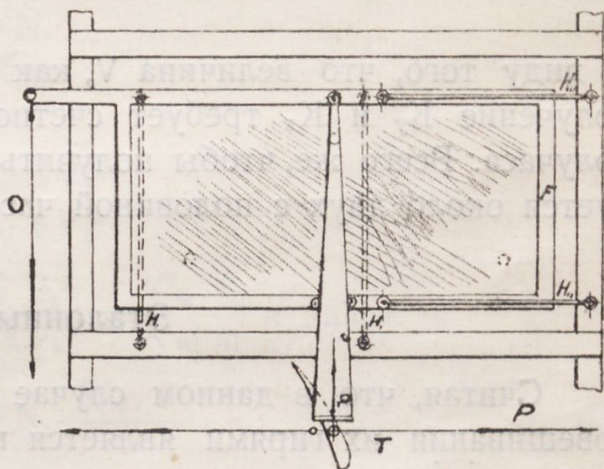
При такой схеме стержни H_1 воспринимают силу лобового сопротивления, подъемная же сила может быть измерена грузами на чашке; для определения лобового сопротивления употребляются стержни H_2 и нить O.

При помощи описанных выше приспособлений мы получаем силы P и Q (подъемную и лобовое сопротивление) при некоторой скорости потока V. Теоретически эта скорость зависит только от числа оборотов вентилятора и, при его постоянстве, по времени меняться не должна. На деле же из-за непостоянства вольтажа в сети, а главным образом вихрей в окружающем трубу помещении, скорость эта колеблется на 5—7%, при чем колебания эти аperiодичны. В некоторых случаях скорость остается неизменной в течение 3—5 секунд, в других же она успевает за это время сделать несколько колебаний.

Следствием этого является особый способ работы, заключающийся в том, что на чашке ставится нагрузка, отвечающая некоторому среднему значению скорости и это значение определяется путем повторного наблюдения положения равновесия одним из экспериментаторов и сигнализирования им другому наблюдающему за изменением скорости.

Этим путем при работе двух опытных экспериментаторов в течение 45—50 мин. можно получить достаточно точно величину для сил P и Q на 12—15 различных углах атаки.

Как известно, для удобства применения их при расчетах, эти величины нуждаются в дальнейшей обработке, а именно в приведении сил к единице площади крыла и единице скорости.



Фиг. 3.

Основные формулы аэродинамики

$$P = K_y S V^2$$

$$Q = K_x S V^2$$

дают нам зависимость интересующих нас коэффициентов K_x и K_y от полученных нами величин P и Q и площади модели S

$$K_y = \frac{P}{S V^2}$$

$$K_x = \frac{Q}{S V^2}$$

В виду того, что величина V , как было указано, все время меняется, получение K_y и K_x требует счетной работы одного лица в течение получаса. Всего же, чтобы получить эти коэффициенты для модели, требуется около двух с половиной часов достаточно напряженного труда.

Эталонный метод.

Считая, что в данном случае способ измерения сил путем уравновешивания их гирями является не вполне отвечающим требованиям удобства работы и экономии времени, автор этой статьи разработал иной метод определения величины сил, базируясь на принципе, указанном еще в 1916 году сотрудником лаборатории И. А. Рубинским, повидимому, не получившим применения в аэродинамических лабораториях за границей¹⁾. Автором же была разработана и конструкция прибора, так называемых эталонных весов, которые позволяют с удобством применять этот новый способ измерения. В настоящее время опытная модель этих весов построена мастерской Аэродинамической Лаборатории В. Т. У. и установлена на описанной уже плоской трубе. Результаты ее испытания мы дадим далее, а пока перейдем к схеме этих весов и некоторым теоретическим соображениям, положенным в основу их работы.

Основной чертой схемы является то, что сила давления потока на находящийся в нем профиль измеряется не при помощи гирь или пружины, а путем сравнения ее с силой давления того же потока на некоторую пластинку, эталон, сопротивление которой точно известно.

Ясно, что если при определенной скорости потока между указанными силами существует некоторое соотношение, то оно сохраняется или, вернее, изменяется неощутительно и при некоторых относительно небольших изменениях этой скорости, изменениях, наблюдающихся обычно в аэродинамических трубах.

¹⁾ Когда эта статья была готова к печати, в американской литературе появилось описание весов (трубы Mc Cook Field), принцип действия которых сходен с здесь описанным. Примечание автора.

Если же мы будем изменять скорость в более значительных пределах, то это отношение может и изменяться, так как характер обтекания некоторых контуров находится в зависимости от скорости, и величина силы сопротивления воздуха не вполне точно следует закону квадратов.

Рассмотрим, какова будет величина этого изменения.

Обозначим соответственно для модели и эталона:

P и p сила сопротивления

S и s площади

K_m и $K_{эт}$ коэффициенты сопротивления

$$\frac{P}{p} = N.$$

Тогда для скорости V_1 :

$$P_1 = K'_m S V_1^2$$

$$p_1 = K'_{эт} s V_1^2$$

$$N_1 = \frac{P_1}{p_1} = \frac{K'_m S V_1^2}{K'_{эт} s V_1^2} = \frac{K'_m S}{K'_{эт} s} \text{ и далее:}$$

$$K'_m = \frac{N_1 K'_{эт} s}{S} = N_1 \frac{K'_{эт} s}{S} \dots \dots \dots (a)$$

Для скорости V_2 можем написать:

$$K''_m = N_{II} \cdot \frac{K''_{эт} s}{S} \dots \dots \dots (b)$$

Если $K_{эт}$ остается постоянным в пределах взятых скоростей, или если изменение его известно и может быть компенсировано механизмом прибора, то второй множитель в выражениях (a) и (b) оказывается постоянным, и величина N как раз и дает изменение K_m со скоростью. Если мы применим указанное рассуждение к пульсациям скорости в трубах, то их величина настолько не велика, что, как показывает опыт, изменением $K_{эт}$ при этих пульсациях можно пренебречь, ибо величина его редко доходит до 0,5—0,8%.

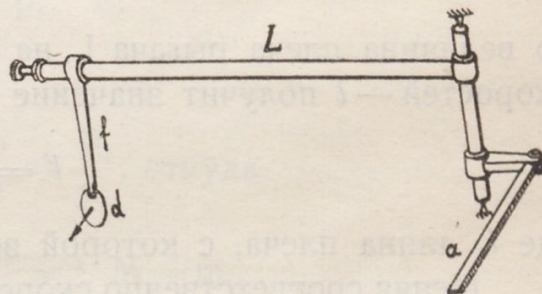
Из всего сказанного можно заключить следующее: эталонный метод измерения сил дает возможность устранить неудобства, связанные с наличием неравномерности потока по времени, и допускает возможность определения коэффициента сопротивления со скоростью, а при неизменной величине площади модели позволяет разградуировать шкалу так, что отсчет дает величину коэффициента сопротивления непосредственно, и таким образом отпадает счетная работа.

Схема эталонных весов.

Убедившись в принципиальной пригодности указанного метода, разберем схему прибора для его применения.

Выражение A принимается нами за постоянное из тех соображений, что площадь s эталона неизменна, площадь S модели для описанной плоской трубы также постоянна, а изменения коэффициента сопротивления эталона $K_{\text{эт}}$ со скоростью могут быть компенсированы механизмом прибора, схема которого крайне проста.

Вокруг вертикальной оси вращается неравноплечий рычаг L (фиг 5). На большем его плече укреплен стержень, несущий на своем конце эталон в виде диска d . Стержень этот может двигаться вдоль рычага L , меняя таким образом плечо приложения силы сопротивления эталона. К другому, меньшему плечу рычага L прикрепляется шарнирно стержень a в схеме эквибратора, связывающий этот последний с эталоном.



Фиг. 5.

Чтобы не возвращаться еще раз к этому вопросу, скажем несколько слов о том, каким образом выбирается величина площади эталона и определяется положение его по длине рычага L . Исходя из максимальной величины, которую имеет коэффициент подъемной силы K_y , и равной 0,1, а также из соображения точности отсчетов величин $\text{tg } \alpha$, быстро увеличивающихся по мере возрастания углов α , мы принимаем, что при $K_y = 0,1 \text{ tg } \alpha$ не должен быть более 2,5. Остановившись на этой величине, из пропорциональности между K_y и $\text{tg } \alpha$ пишем:

$$\text{при } K_y = 0,1 \text{ — } \text{tg } \alpha = 2,5$$

$$\text{при } \text{tg } \alpha = 1 \text{ — } K_y = 0,04$$

$$K_y = \text{tg } \alpha \frac{K_{\text{эт}} s \cdot n}{S}$$

$$0,04 = 1 \frac{K_{\text{эт}} s \cdot n}{S},$$

где n отношение плеч рычага, несущего эталон, равно 20, а $S = 0,0885 \text{ m}^2$ для плоской трубы. $K_{\text{эт}}$, как коэффициент сопротивления плоской пластинки, принимаем равным 0,08; отсюда

$$s = \frac{0,04 \cdot S}{K_{\text{эт}} \cdot n} = \frac{0,04 \cdot 0,0885}{0,08 \cdot 20} = 0,00221 \text{ m}^2.$$

Весьма возможно, что коэффициент 0,08 окажется не вполне правильным для такой небольшой площади и что помимо этого он может изменяться со скоростью; тогда, чтобы не изменять площади для различных скоростей, мы пойдем следующим путем. Тарировку эталона будем производить, измеряя силы не на стержне f , а в конце малого плеча, в точке прикрепления стержня a эквибратора. На основании предыдущего можем написать:

$$K_y S = \text{tg } \alpha K_{\text{эт}} s \cdot n = \text{tg } \alpha \frac{P}{V^2},$$

где P сила по стержню a при скорости V .

При $\operatorname{tg} \alpha = 1$ выгодно взять $K = 0,04$, откуда потребная сила по а, отнесенная к единице скорости

$$\frac{P}{V^2} = 0,04 S.$$

Если из тарифовки окажется, что при различных скоростях величина $\frac{P}{V^2}$ будет изменяться и последовательно принимать значения $f^1_T, f^2_T \dots$, то величина плеча рычага L , на которую надо ставить эталон для этих скоростей — l получит значение

$$l = \frac{0,04 \cdot S \cdot L_T}{f^1_T},$$

где L_T длина плеча, с которой велась тарифовка.

Меняя соответственно скорости этих плечей, мы добьемся того, что при любом изменении $K_{\text{эт}}$ мы все же будем иметь $P/V^2 = \text{const}$ или же силу p , в точности следующей закону квадратов, т.-е. как раз то, что требовалось для возможности применения эталонного метода.

Некоторые теоретические соображения относительно устойчивости и чувствительности весов.

Покончив со схемой прибора, рассмотрим некоторые его свойства, касающиеся устойчивости, колебаний и степени чувствительности.

Вопрос об устойчивости при внезапных изменениях скорости является чрезвычайно важным. Разберем его подробнее. Пусть при некоторой величине скорости V_1 прибор находится в равновесии и пусть скорость эта изменяется до величины V_2 .

В этом случае как модель, так и эталон придут в ускоренное движение с ускорениями, зависящими от масс связанных с ними частей прибора. Попробуем определить, какова должна быть величина этих масс, чтобы вся система осталась в покое. Понятно, что при этом ось шарнира O должна остаться в прежнем положении, а так как она получает ускорение как от тяги a , так и от b , то для этого требуется, чтобы равнодействующее этих ускорений было направлено по звену C (фиг. 4) При отсутствии этого, несмотря на сохранение отношения сил по a и b звено C отклонится, и возникнут колебания всей системы.

Из предыдущего мы имеем:

$$\frac{P_1}{p_1} = \operatorname{tg} \alpha_1;$$

считая, что при небольших изменениях скорости коэффициенты K_m и $K_{\text{эт}}$ остаются неизменными, имеем приращения сил P_1 и p_1 равными ΔP и Δp и пропорциональными этим силам

$$\frac{\Delta P}{\Delta p} = \frac{P_1}{p_1}.$$

С другой стороны, эти приращения и вызывают ускорения концов тяг а и б. Приняв приведенную массу на тяге а = m и на тяге б = M, можем написать:

$$j_a = \frac{\Delta P}{m}; j_b = \frac{\Delta P}{M}.$$

$$\frac{j_b}{j_a} = \frac{\Delta P}{\Delta p} \cdot \frac{m}{M} = \frac{P_1}{p_1} \cdot \frac{m}{M}.$$

Для равновесия требуется, чтобы

$$\frac{j_b}{j_a} = \operatorname{tg} \alpha; \frac{j_b}{j_a} = \frac{P_1}{p_1}, \text{ откуда}$$

$$\frac{P_1}{p_1} = \frac{P_1}{p_1} \cdot \frac{m}{M} \text{ или } \frac{m}{M} = 1, M = m,$$

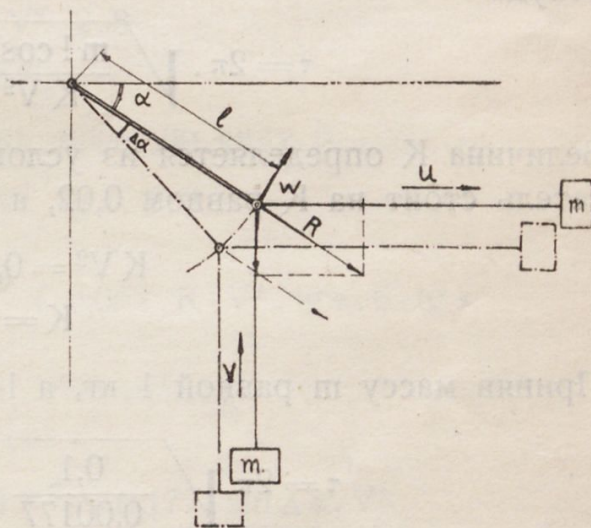
т.е. приведенные массы на тягах а и б должны быть равны между собою, чтобы обеспечить звену С постоянство устойчивого положения при переменах скорости.

Однако, достигнув такого соотношения упомянутых приведенных масс, мы все же не можем быть уверены, что звено С будет совершенно неподвижно. Дело в том, что, кроме общего изменения скоростей всего потока, имеют место местные изменения их, и может легко случиться, что они произойдут только либо в области эталона, либо в области модели. Понятно, что в этих случаях не только динамическое, но и статическое равновесие будут нарушены. По миновании причины, вызвавшей это нарушение, звено С, стремясь занять свое прежнее положение, неизбежно вызовет колебание масс во всей системе. Определением величины периода этих колебаний мы сейчас и займемся.

Предположим, что прибор, находящийся в положении равновесия, под действием силы по звену С, равной R, был выведен из него и занял положение, обозначенное пунктиром; затем причина передвижения его была устранена и под действием силы R звено С возвращается обратно. Восстанавливающий момент этой силы будет:

$$M = Rl \sin \Delta \alpha; \frac{dM}{d\alpha} = Rl.$$

Далее определяем величину момента инерции звена С относительно его оси вращения. Считая этот момент следствием лишь масс m и пренебрегая массами тяг и самого звена, пишем:



Фиг. 6.

$J = \mu l^2$, где μ приведенная масса звена в точке А. Связь между μ и m получаем из уравнения равенства живых сил

$$\frac{m \cdot u^2}{2} + \frac{m v^2}{2} = \frac{\mu w^2}{2};$$

$$u = w \sin \alpha; \quad v = w \cos \alpha;$$

откуда

$$w^2 (\cos^2 \alpha m + \sin^2 \alpha m) = w^2 m \cdot 1 = \mu w^2$$

$$\text{или } \mu = m,$$

т.-е. при равенстве масс m приведенная масса μ равна одной из них, и момент инерции

$$J = m l^2.$$

Далее, период колебания прибора

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{J}{\frac{d_m}{d\alpha}}} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{Rl}} = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{R}}.$$

Постараемся получить связь величины τ со скоростью потока V и углом α положения звена С. Сила P ввиду постоянства положения эталона зависит лишь от скорости.

$$P = K V^2; \quad R = \frac{P}{\cos \alpha} = \frac{K V^2}{\cos \alpha},$$

откуда

$$\tau = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m l \cos \alpha}{K V^2}} = \frac{2\pi}{V} \sqrt{\frac{m l \cos \alpha}{K}}.$$

Величина K определяется из условия, что при $\alpha = 45^\circ$ т.-е. $P = Q$ указатель стоит на K равном 0,02, а площадь модели $= 0,0885 \text{ м}^2$

$$K V^2 = 0,02 \cdot 0,0885 V^2;$$

$$K = 0,00177.$$

Приняв массу m равной 1 кг, а $l = 0,1$ метр., получаем

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{0,1}{0,00177}} \cdot \frac{\sqrt{\cos \alpha}}{V} = 47,2 \frac{\sqrt{\cos \alpha}}{V};$$

при обычной для работ скорости $V = 30$ мет./сек. период колебаний прибора изменяется от 0,75 до 1,5 сек. в зависимости от величины K_y .

Определение степени чувствительности всего прибора достаточно просто, но ввиду большого количества шарниров в системе состоит из повторения одних и тех же рассуждений по отношению к различным его деталям. Ограничимся определением ошибки, зависящей от сил трения в центральном шарнире а эквilibратора и во внешнем шарнире звена С. Эта ошибка представляет собой величину угла смещения звена С от положения равновесия, при котором восстанавливающий момент

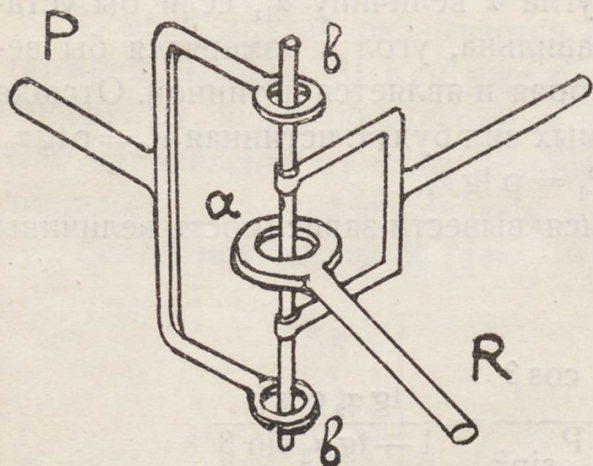
от сил, действующих на него, становится равным моменту трения шарнира. Восстанавливающий момент от силы R при отклонении на $\Delta \alpha$ будет:

$$M_s = \sin R \Delta \alpha \cdot l = \frac{K V^2 \sin \Delta \alpha r}{\cos \alpha},$$

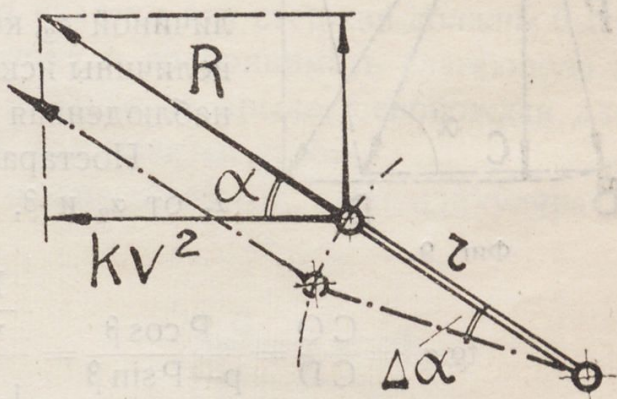
момент трения в подшипнике

$$M_t = \Sigma m = \Sigma p \cdot r \cdot 2.$$

Полагая подшипники шариковыми, на диам. 6 мм распределенными



Фиг. 7.



Фиг. 8.

по схеме фиг. 7 и с коэффициентом μ , равным 0,002, получим: для двух подшипников а звена С (фиг. 8)

$$m_1 = \frac{0,002 \cdot K V^2 \cdot 2 \cdot 3}{\cos \alpha}.$$

Для подшипников б, воспринимающих искомую силу p ,

$$m_2 = 0,002 \cdot K V^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot 2 \cdot 3$$

$$\text{или } M_f = \frac{0,002 \cdot V^2 \cdot K \cdot 2 \cdot 3}{\cos \alpha} + 0,002 \cdot K \cdot V^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot 6 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$M_f = \frac{0,000021 \cdot V^2 (1 + \sin \alpha)}{\cos \alpha};$$

$$M_s = \frac{0,00177 \sin \Delta \alpha \cdot 100 V^2}{\cos \alpha} = \frac{0,177 \cdot \sin \Delta \alpha \cdot V^2}{\cos \alpha};$$

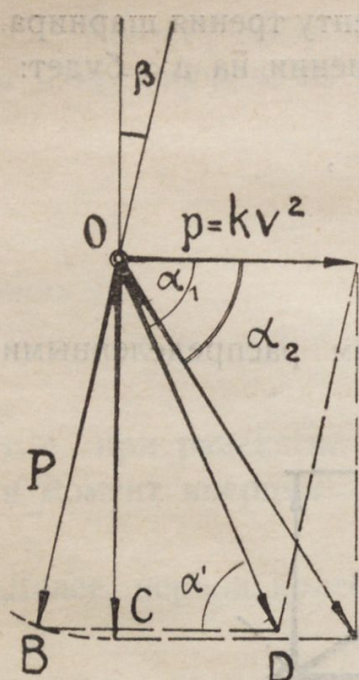
$$M_f = M_s$$

$$0,000021 V^2 (1 + \sin \alpha) = 0,177 \cdot \sin \Delta \alpha \cdot V^2$$

$$\text{или } \sin \Delta \alpha = \Delta \alpha = \frac{0,000021 (1 + \sin \alpha)}{0,177} = 0,000113 (1 + \sin \alpha).$$

Или $\Delta \alpha = 1'$, т.-е. величина, для целей практики неощутительная.

Другим источником ошибок при измерении является неточность в направлении осей тяг и стержней прибора. Остановимся на двух слу-



Фиг. 9.

чаях, а именно 1) отклонение от вертикали тяги искомой силы b при горизонтальности тяги эталона, 2) отклонение от перпендикулярности к направлению потока стержней H_2 (фиг. 3) при измерении K_x , при правильности установки всех прочих элементов прибора.

1) Пусть тяга b (фиг. 9) отклонена от вертикали на угол β . Тогда эквilibратор даст нам для величины угла α величину α_1 , если бы установка была правильна, угол α измерялся бы величиной α_2 , которая и является истинной. Отсюда величины искомых сил будут: истинная $P_2 = p \operatorname{tg} \alpha_2$, наблюдаемая $P_1 = p \operatorname{tg} \alpha_1$.

Постараемся вывести зависимость величины α_1 от α_2 и β ,

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{CO}{CD} = \frac{P \cos \beta}{p - P \sin \beta} = \frac{\frac{P}{v} \cos \beta}{1 - \frac{P}{p} \sin \beta} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \cos \beta}{1 - \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \beta}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 \cdot \sin \beta = \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \beta;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \beta + \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2 \sin \beta;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_2 (\cos \beta + \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \beta);$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\cos \beta + \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \beta}.$$

Для β , не превосходящих $3-4^\circ$, можно принять $\cos \beta = 1$, и тогда

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \beta} = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha_1 + \sin \beta}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \operatorname{ctg} \alpha_1 + \sin \beta.$$

Выясним теперь величину ошибки в измерении силы P :

$$P = p \operatorname{tg} \alpha = \frac{p}{\operatorname{ctg} \alpha},$$

$$P_1 = \frac{p}{\operatorname{ctg} \alpha},$$

$$P_2 = \frac{p}{\operatorname{ctg} \alpha_1 + \sin \beta};$$

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_2} = \frac{P_1}{P_2} - 1 = \frac{p \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_1 + \sin \beta)}{p \cdot \operatorname{ctg} \alpha} - 1 =$$

$$= 1 + \frac{\sin \beta}{\operatorname{ctg} \alpha_1} - 1 = \frac{\sin \beta}{\operatorname{ctg} \alpha_1} = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \beta$$

заставляет определять направление оси потока в трубе с большой тщательностью. Для этого мы воспользуемся тем обстоятельством, что при обращении крыла выпуклой поверхностью в другую сторону величина Q_γ выразится:

$$Q^1_\gamma = R \sin(\beta + \gamma).$$

Ясно, что, изменяя длину тяги L (фиг. 10) или иначе говоря направление стержней H_2 , мы можем привести величину γ к нулю, о чем мы можем судить по тому, что величины Q_γ и Q^1_γ при испытании дужки прямой и обращенной станут равными для равных углов атаки. При этом, однако, не надо упускать из виду того, что углы атаки должны считаться от истинной оси потока, а не от геометрической, как приходится это делать нам, не зная первой. Указанное обстоятельство заставляет нас прибегать к испытанию крыла при нескольких углах атаки и построению кривой K_x для прямого и обратного положения модели. Истинной длиной тяги будет L , та, при которой указанные кривые вполне налагаются друг на друга при могущих не совпасть, но непременно параллельных осях u .

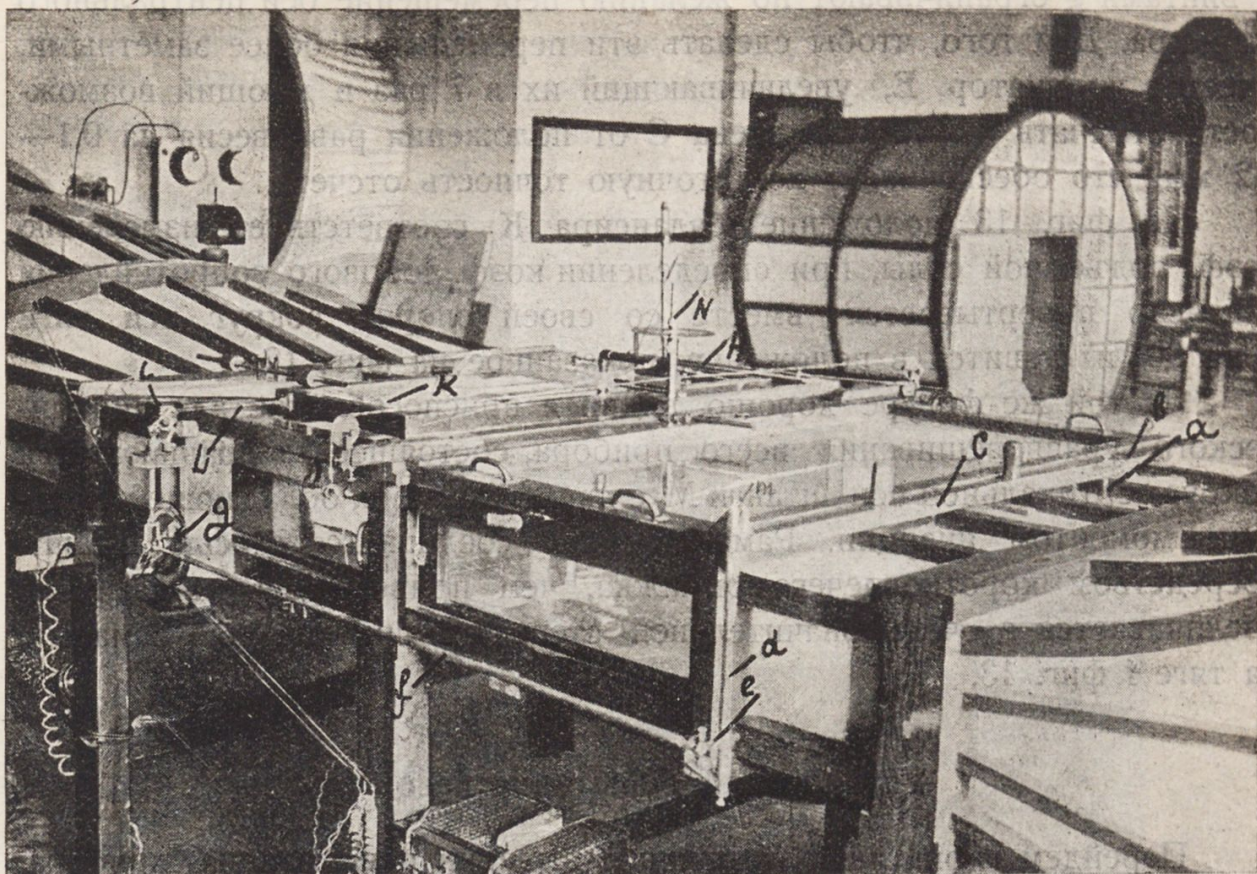
Выполненная конструкция эталонных весов.

На основании вышеприведенных расчетов и соображений в мастерской точных приборов при аэродинамической лаборатории В. Т. У. и Ц. А. Г. И. были выполнены по проекту автора эталонные весы и установлены в начале 1921 г. на плоской трубе названной лабораторией.

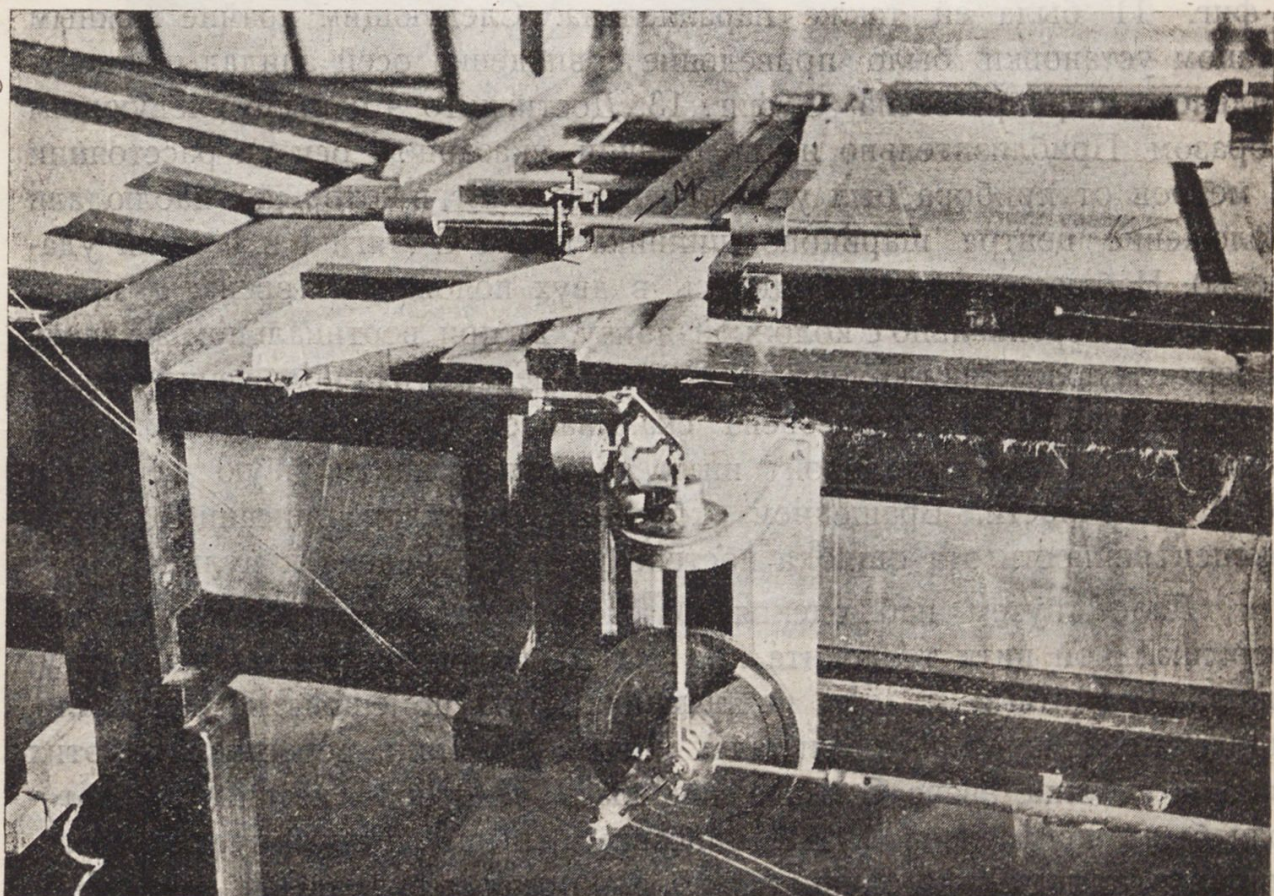
Общий вид всей установки представлен на фиг. 11. Здесь a — стержень, проходящий сквозь стенку трубы и несущий эталон в виде круглой пластинки. Стержень a скреплен с муфтой,двигающейся по трубе C при помощи винта b . Труба C вместе с колонкой d и рычагом e составляет неравноплечий рычаг, качающийся на остриях m вокруг оси колонки d . Увеличенная при помощи этого рычага сила от эталона передается тягой f на эквилибратор g .

Передача силы от модели идет следующим образом: стержень модели N закреплен в рукаве угломерного прибора, покоящегося на раме K . При помощи стержней H рама двигается в направлении, перпендикулярном потоку. Подъемная сила модели, посредством тяги L , могущей менять свою длину, и балансира i передается на эквилибратор. Этот последний в более крупном масштабе дает нам фиг. 13. Здесь A — диск, в центре которого помещается ось вращения алидады B . На одном из концов последней находится колонка i служащая осью вращения звена C , к другому концу которого прикреплены шарнирно тяги f и h .

Так как ось вращения звена C несколько снесена относительно оси колонки, то, вращая последнюю, мы можем установить центральный шарнир как раз на оси вращения алидады. Упорные кронштейны



Фиг. 11.



Фиг. 12.

с винтами g ограничивают по желанию перемещение оси центрального шарнира. Для того, чтобы сделать эти перемещения более заметными, имеется индикатор E , увеличивающий их в 7 раз и дающий возможность отмечать отклонения звена C от положения равновесия на $0,1—0,2$ мм, что обеспечивает достаточную точность отсчета.

На фиг. 13 положение балансира K соответствует измерению коэф. подъемной силы, при определении коэф. лобового сопротивления балансир поворачивается вместе со своей опорой вокруг оси тяги h на 90° и ставится в положение, показанное на фиг. 12.

На той же фигуре хорошо видно и приспособление для динамического уравнивания всего прибора, состоящее из вращающейся вокруг вертикальной оси штанги M с двумя грузами, обладающей большим моментом инерции. Рама прибора соединяется с осью штанги посредством короткоплечего рычажка, чем приведенная масса рамы увеличивается в очень значительной степени и сравнивается с массой на тяге f фиг. 13.

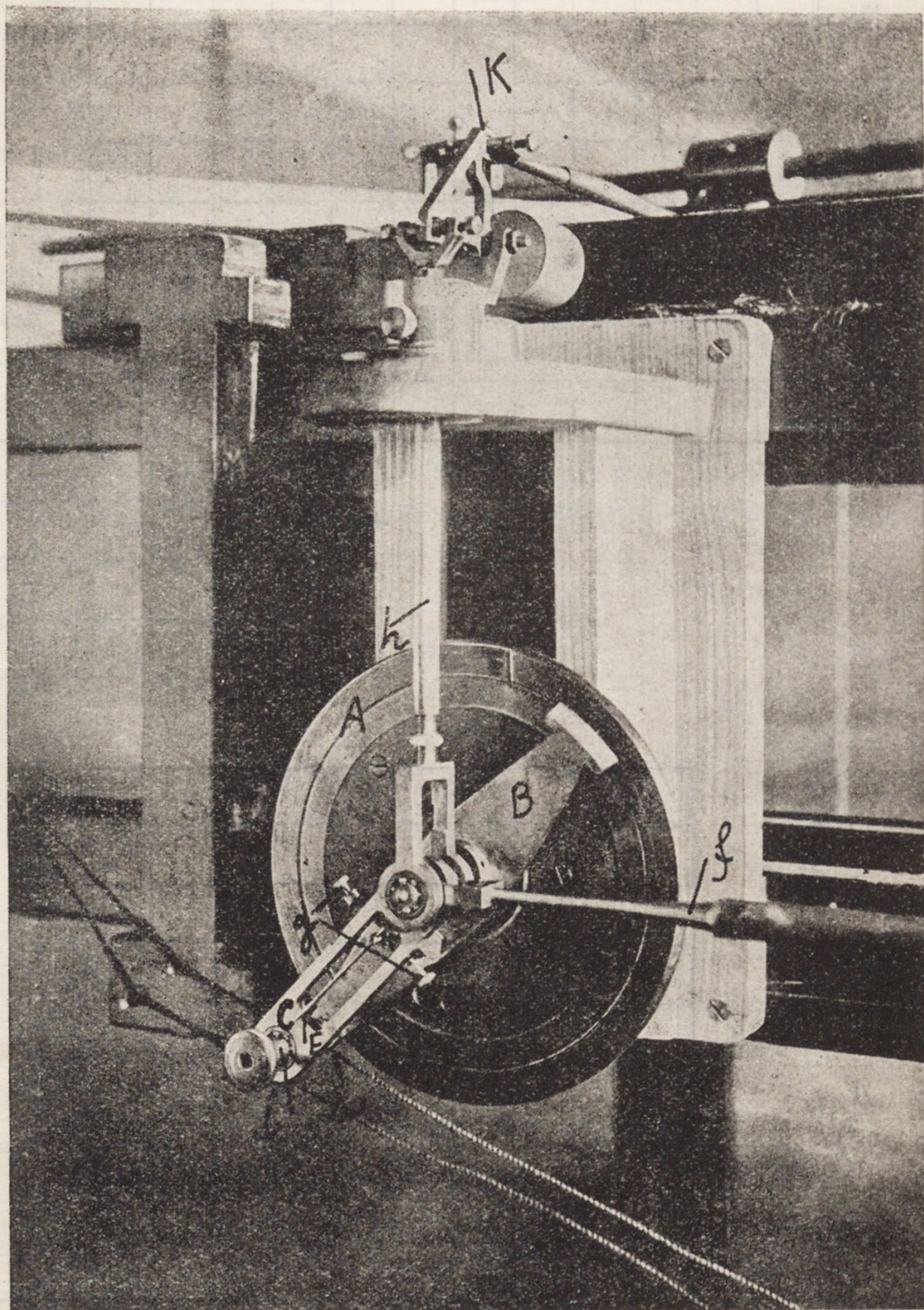
Установка и испытание весов.

Перейдем к описанию установки, выверки и испытания прибора, как они были произведены в аэродинамической лаборатории В. Т. У.

Лимб эквилибратора был установлен в вертикальной плоскости, параллельной оси трубы и на таком от нее расстоянии, чтобы тяга f фиг. 11 была ей также параллельна. Следующим крайне важным этапом установки было приведение совпадения осей алидады и центрального шарнира звена C фиг. 13. Достигнуто это было следующим образом. Приблизительно на положении указанной оси на расстоянии 3 метров от прибора был установлен теодолит, в который и наблюдали положение центра шарикоподшипника звена C (тяги f и h были удалены). Наблюдения производились в двух положениях звена: 1) когда оно было вертикально с колонкой внизу, 2) при вертикальном же звене и верхнем положении колонки. При перемене этих положений всякая неправильность в длине звена сказывалась смещением центра подшипника с горизонтальной нити теодолита на двойную величину этой неточности. Вращением колонки благодаря описанной выше эксцентricности эта ошибка постепенно была сведена к нулю.

Далее, путем наблюдения положения подшипника относительно вертикальной нити теодолита при тех же положениях алидады и регулировки винтами g , ось подшипника была помещена на вертикали, проходящей через ось алидады. Ясно, что при перестановке этих винтов в длине звена C снова появилась некоторая неточность, которая была исправлена путем, описанным выше. Дополнительная регулировка винтов дала окончательно, для практических целей, совпадение осей. Это обстоятельство дало возможность произвести две другие установки: во первых отрегулировать положение опоры стрелки инди-

катора, во вторых, нанести на алидаде нулевой индекс против нуля разградуированного заранее лимба. Для этой цели ось звена С была сделана горизонтальной, в такое же положение была приведена и тяга f передвижением по колонке фиг. 11 плеча е.

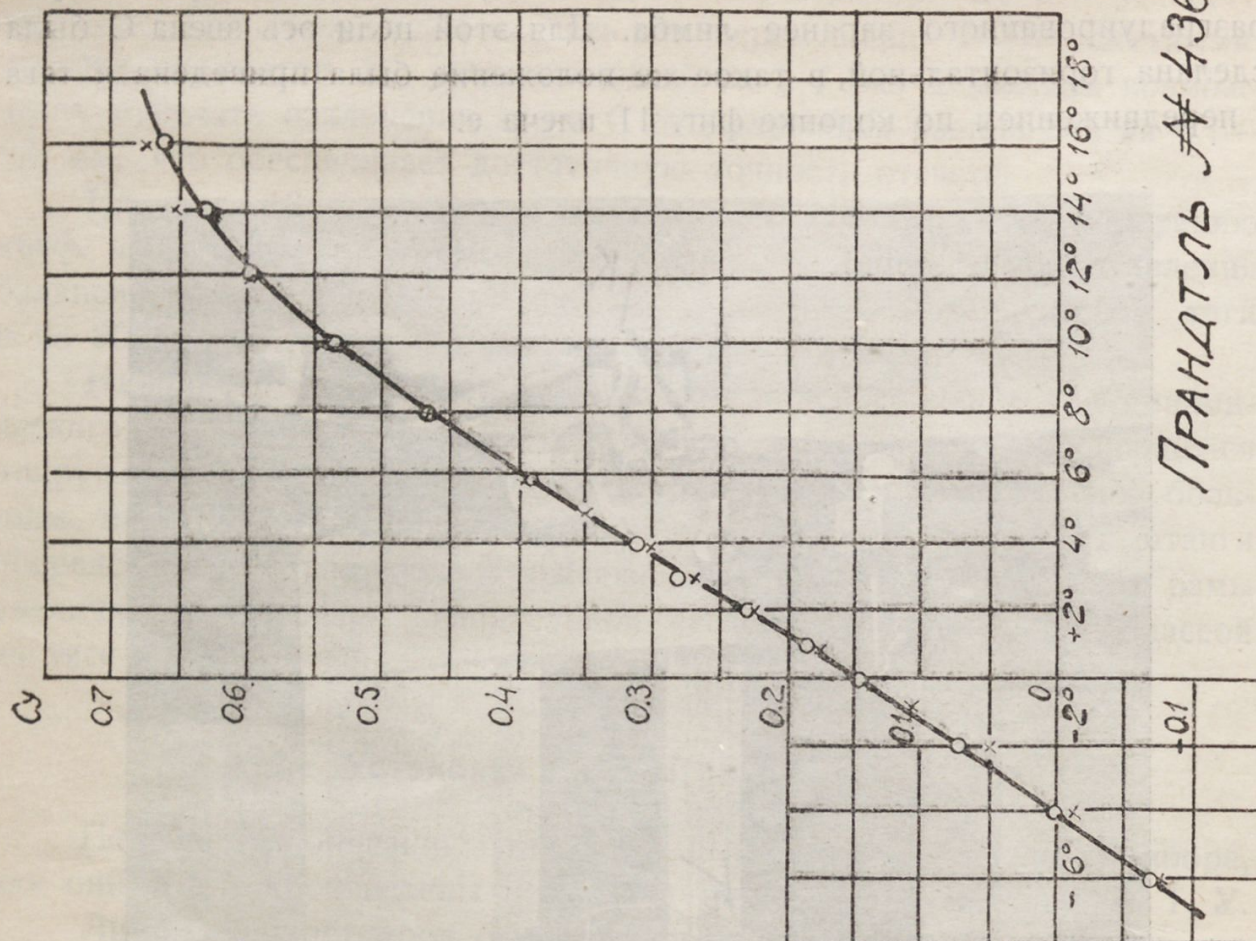


Фиг. 13.

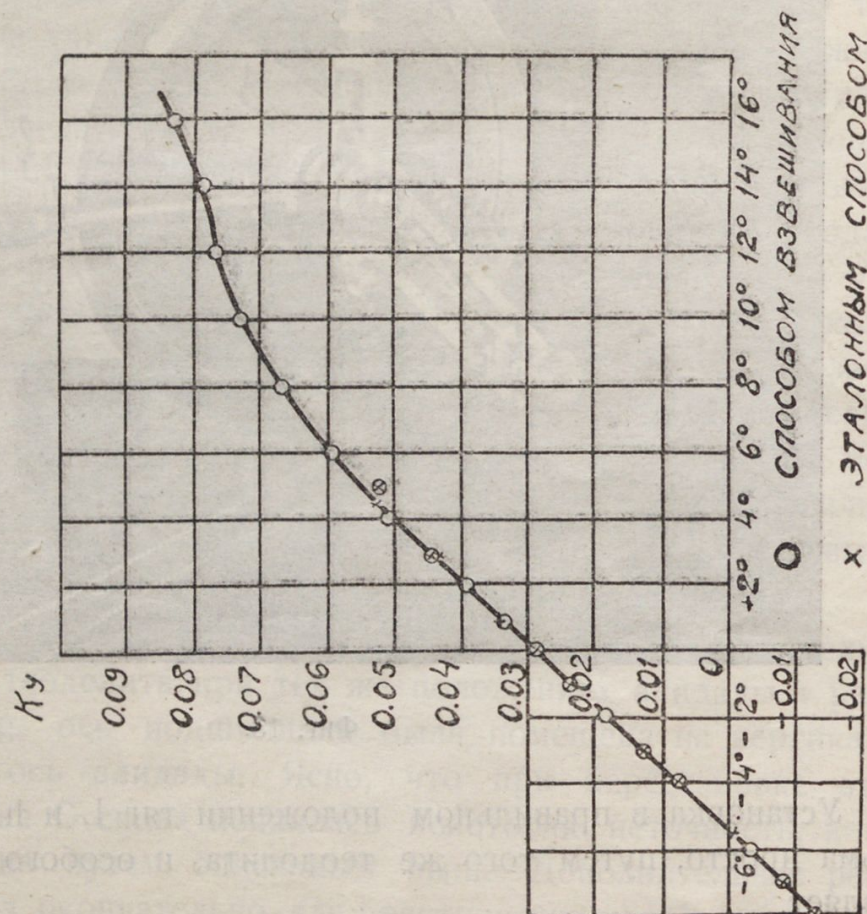
Установка в правильном положении тяг L и h была произведена весьма просто, путем того же теодолита, и особого интереса не представляет.

По окончательной установке прибора была начата тарировка эталонов, имевших форму дисков разных диаметров толщиной в 1 мм.

ПРАНДТЛЬ №436



ЭЙФЕЛЬ №37



СПОСОБОМ ВЗВЕШИВАНИЯ

О ЭТАЛОННЫМ СПОСОБОМ

Фиг. 14.

При вертикальном положении алидады сила бралась непосредственно в конце тяги f и уравнивалась чашкой с грузом и нитью, представлявшей продолжение тяги, перекинутой через блок, укрепленный на бруске Р фиг. 11.

С протарированными таким путем эталонами были произведены испытания нескольких моделей, испытанных прежде обычным способом. Сравнительные диаграммы для двух из них мы здесь приводим. Надо добавить, что приспособления для динамического уравнивания еще не имелось.

Сравнение результатов испытания двумя способами на основании этих диаграмм показывает, что метод эталонный дает точность вполне удовлетворительную, если же принять, что испытание по этому методу занимает времени вчетверо меньше, можно отдать ему и предпочтение, тем более, что он освобождает от вычислений хотя и простых, но все же требующих времени. Заканчивая настоящую статью, мы выражаем надежду, что описанный способ измерения получит применение в других лабораториях и найдутся желающие его улучшить и построить новые приборы, более точные и совершенные, чем описанная опытная модель.

Aerodynamical balance of the „etalon“ type.

Present paper deals with a rather unusual method of measuring aerodynamical forces. It consists in comparing said forces with a force produced on a body with known drift coefficient by the same air flow which acts on the model tested. It will be shown that in spite of speed fluctuations, occurring in air-channels we can obtain by this method a steady balance reading, giving us the lift, drift and any other coefficient directly, without any calculations.

The change of these coefficients with the air speed is also easily found.

The readings are obtained on an apparatus, that we call „equilibrator“ containing three rods connected together in the point O_1 (fig. 4).

The rod b receives the force on the model and the rod a the force on the standard body (etalon), the third rod c has its fulcrum attached to the rule which rotates about the point O .

It is evident that the rod c tends to take the direction of the resultant of the said two forces. By moving the fulcrum along the circumference we find the point of equilibrium, that is the position of the rule when its axis and the axis of the rod c coincide. The pointer shows us the tangent of the angle, or the ratio of two forces. The drift coefficient of the „etalon“ being known, it is quite easy to find the coefficient for the model. This method of measuring forces was tested in 1921 in Aerodynamical Laboratory of the High Technical School of Moscow and proved to be quite successfull.

Transactions of the Central Aero-Hydrodynamical
Institute. № 5.

K. A. USHAKOFF.

AERODYNAMICAL BALANCE
OF THE „ETALON“ TYPE.

ТРУДЫ

ЦЕНТРАЛЬНОГО АЭРО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА.

МОСКВА, Вознесенская, 21.

1. *Н. Е. Жуковский.* — О скачке воды в открытом канале и о движении газа в трубке. М. 1923.
 2. *Н. В. Красовский и Г. Х. Сабинин.* — Проблема использования энергии ветра. *Н. В. Красовский.* — Русское ветряное хозяйство, его современное состояние и перспективы. *Его же.* — О быстроходных ветряных двигателях (ст. 1-я и 2-я). *Его же.* — Метод расчета ветряных силовых станций. *Его же.* — О работе ветряных двигателей при различных средних скоростях ветра. *Г. Сабинин.* — Основные величины, характеризующие свойства ветряных двигателей. *Его же.* — Ветряной двигатель с самоустанавливающимися лопастями. М. 1923.
 3. *В. П. Ветчинкин и Н. Г. Ченцов.* — Плоский маятник о двух степенях свободы и определение при помощи его высоты центра тяжести и момента инерции твердого тела. М. 1923.
 4. *Н. В. Красовский.* — Новое крыло для русской ветряной мельницы. *В. В. Уткин-Егоров.* — Инструкция для сборки крыльев. М. 1923.
 5. *К. А. Ушаков.* — Новый метод измерения сил при аэродинамических испытаниях. Эталонные весы. М. 1924.
-

В течение 5-ти часового опыта израсходовано 7300 kg воды. Сколько % освобождающегося тепла уносится водой?

95. При торможении машины канатом, надетым на ее маховик, развивается столько тепла, что чугунный маховик в 500 kg нагревается за 20 минут до температуры $90^{\circ}C$.

Начальная температура его была $10^{\circ}C$. Как велика мощность машины (в л.с.) на валу, если считать, что при нагревании маховика теряется в окружающее пространство 10 % развивающегося тепла, а остальное его количество нагревает маховик.

(Теплоемкость чугуна $= 0,13$).

96. Какое количество тепла пойдет на внутреннюю энергию и на внешнюю работу, если мы за рабочее тело возьмем железный стержень длиной 1 m (фиг. 12) площадь поперечного сечения $F = 100 \text{ см}^2$ и будем нагревать его до температуры от 0 до $100^{\circ}C$. На стержень положен груз $P = 1 \text{ tn}$, удельный вес железа $\gamma = 7,8$.

α коэффициент линейного расширения $= 0,00001$, теплоемкость железа $C = 0,11 \frac{\text{скал}}{\text{кг}}$

ПОЛИТРОПИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ

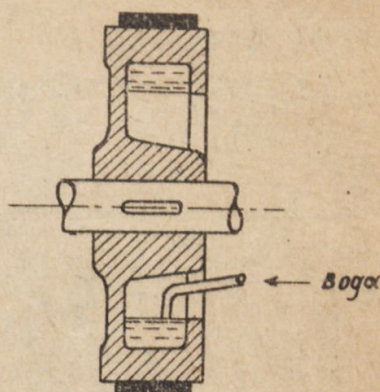
СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ.

При работе машин (тепловых двигателей, компрессоров и проч.) процессы никогда не протекают точно адиабатически или изотермически, но за то часто с достаточной для предварительных вычислений точностью можно заменить действительную линию давлений ПОЛИТРОПИЧЕСКОЙ кривой, где показатель политропы $m \neq k$

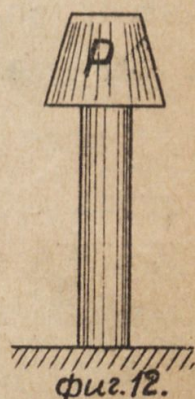
Политропические кривые получаются в том случае, когда тепло сообщается или отводится так, что на увеличение внутренней энергии, т.е. на повышение температуры всегда идет пропорциональная часть αQ , тогда остаток $/(1 - \alpha) Q/$ превращается в работу, т.е. $\alpha Q = C_v (T_2 - T_1)$

или $Q = \frac{C_v}{\alpha} (T_2 - T_1)$

Величина $\frac{C_v}{\alpha} = C$ есть некоторая теплоемкость, вообще гово-



фиг. 11.



ря, зависящая от температуры.

Абсолютная работа расширения (фиг. 13) при политропическом процессе для 1 кг выражается $\mathcal{L} = \frac{C_p - C_v}{C_p - C_v} (P_1 v_1 - P_2 v_2)$

с другой стороны

$$\mathcal{L} = \frac{1}{m-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2)$$

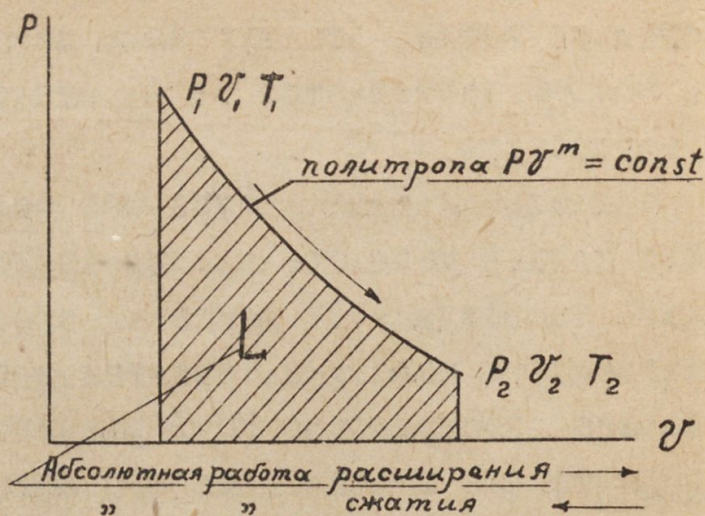
откуда

$$m = \frac{C_p - C}{C_v - C} \quad \text{и} \quad C = C_v \frac{m - \kappa}{m - 1}$$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{m-1} R (T_1 - T_2)$$

$$\mathcal{L} = \frac{P_1 v_1}{m-1} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{m-1} \right]$$

$$\mathcal{L} = \frac{P_1 v_1}{m-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right]$$

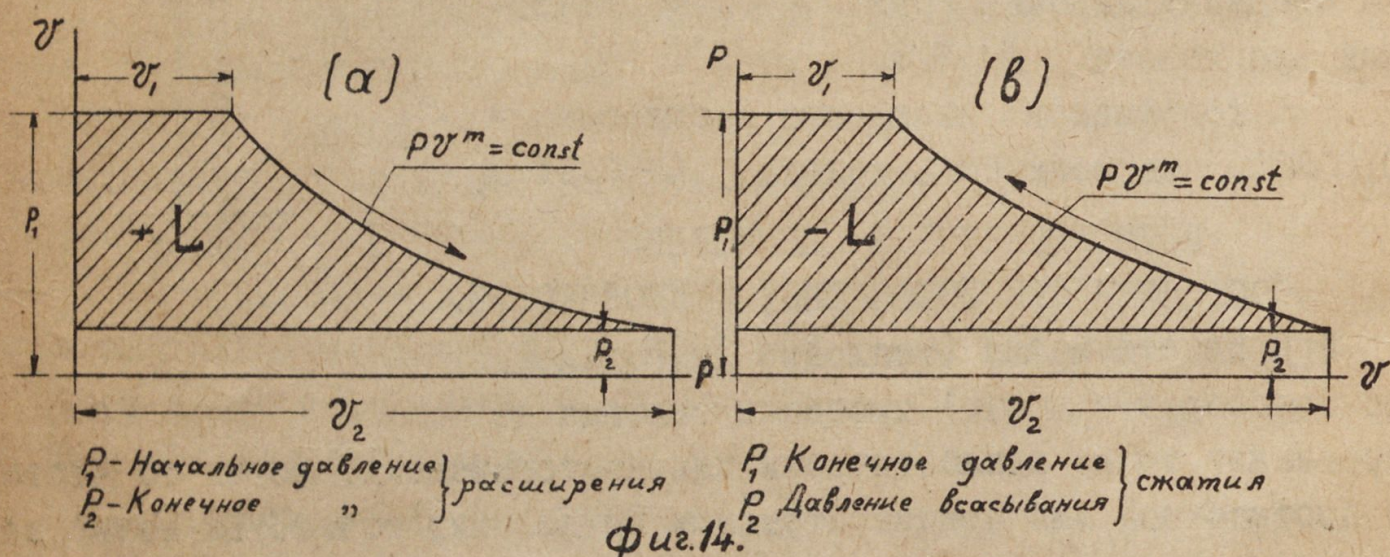


Фиг. 13.

При вычислении абсолютной работы политропического сжатия сохраняет

силу примечание о взаимной перестановке начальных и конечных параметров.

Рабочие циклы (круговые) в машинах - двигателях при наличии постоянного конечного давления (при расширении или сжатии) имеют вообще вид близкий к изображенному на фиг. 14 (а) и (в).



Фиг. 14.

Известно, что площадь, соответствующая работе такого кругового цикла в "m" раз больше площади соответств. абсолютной работе, где "m" показатель политропы. (Фиг. 15).

Для изотермы вышеозначенные площади равны, а потому формула в рабочих циклах компрессора (работающего по изотерме) сохраняют свое значение, каковое они имеют для абсолютной работы расширения.

Формулы, выражающие работу при политропическом сжатии будут иметь вид: (смотри. фиг. 14 в)

$$\mathcal{L} = \frac{m}{m-1} (P_2 v_2 - P_1 v_1)$$

или $\mathcal{L} = \frac{m}{m-1} R (T_2 - T_1)$

$$\mathcal{L} = \frac{m}{m-1} \left[\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{m-1} - 1 \right]$$

$$\mathcal{L} = \frac{m}{m-1} \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]$$

аналогично эти формулы сохраняются для адиабатического сжатия по замене "m" на "K".

ЗАДАЧИ.

97. Определить индикаторн.

мощность компрессора в лощ. сил. (без учета вредного пространства) дающего в час $50 m^3$ сжатого воздуха при $4 At$. Температура наружного воздуха $20^\circ C$, давление $760 mm Hg$ при:

- изотермическом
- адиабатическом и
- политропическом ($m=1,22$)

сжатии.

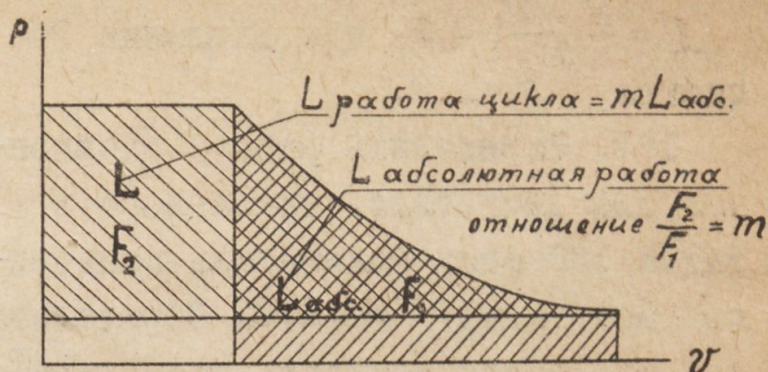
Определить также часовое количество охлаждающей воды, если она при прохождении через компрессор нагревается на $10^\circ C$

98. Компрессор должен давать в час $200 kg$ сжатого воздуха, при чем он накачивает его при одной атмосфере давления и $15^\circ C$.

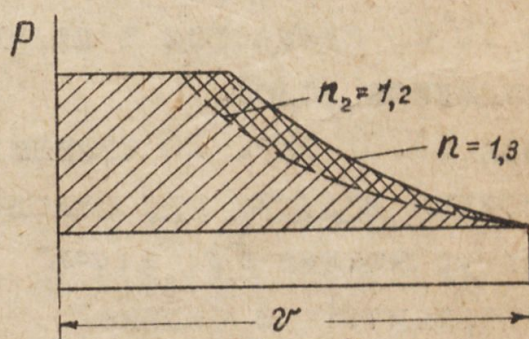
Сначала он работал с показателем политропы $m=1,3$, (фиг. 16), потом усилили отвод тепла (охлаждение) и он стал работать с показателем $m_2=1,2$. Определить годовую экономию от этого в рублях, если в году он работал 280 дней по 20 часов в сутки. Стоимость нефти 300 рублей за пуд η_z двигателя = 0,08, теплотворная способность нефти $10000 \frac{cal}{kg}$

99. Определить на указанной диаграмме (фиг. 17) показатель политропы расширения и сжатия графически.

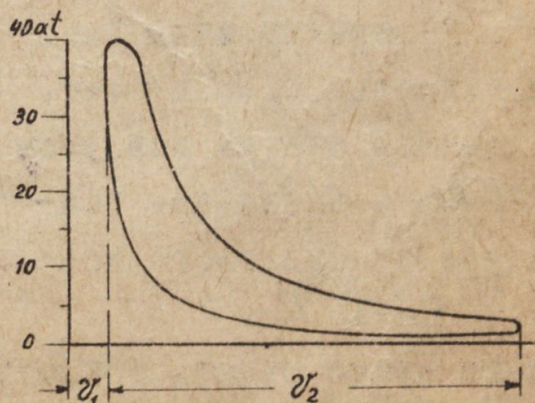
100. Определить показателя политропы сжатия, указанной на фиг. 17 диаграммы, аналитически, если степень сжатия $\xi = \frac{v_2 - v_1}{v_1} = 15$.



фиг. 15.



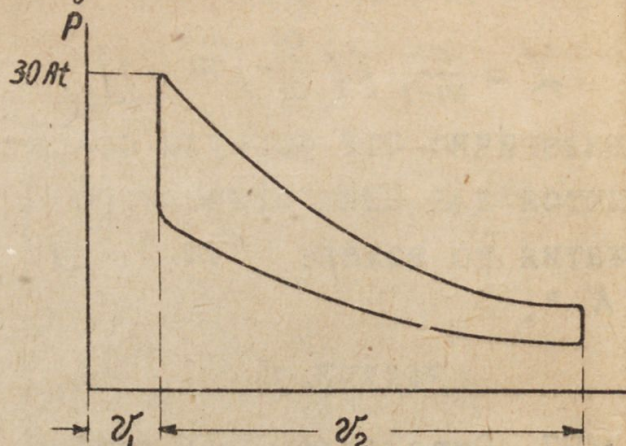
фиг. 16.



фиг. 17.

101. Определить работу сжатия (фиг. 18) автомобильного двигателя d цилиндра = 100 mm ход поршня 120 mm и степень сжатия $\xi = \frac{V_1 + V_2}{V_1} = 5$ при давлении 760 mm Hg и показатель политропы сжатия $m=1,3$.

102. Определить работу расширения для двигателя, указанного в зад. № 100. если показатель политропы расширения $m=1,3$. Определить теоретическую мощность этого двигателя, если он делает 1500 оборотов в минуту.



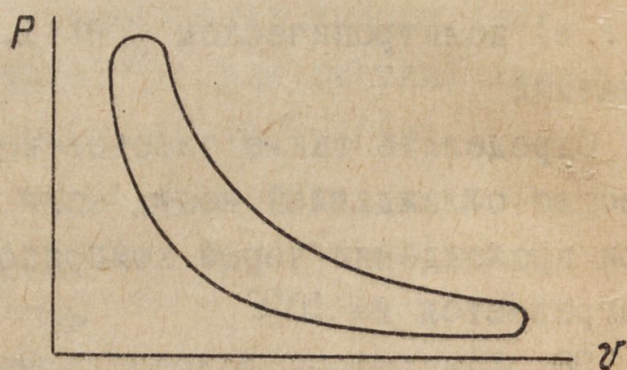
фиг. 18.

103. Дана кривая в координатах PV (фиг. 19), определить для каждого участка этой кривой где сообщается и где отдается тепло.

104. 1 m³ воздуха, при давлении 0,95 At и начальной температуре 10°C сжимается в цилиндре компрессора, стенки которого охлаждаются водой.

Кривая (1.2) фиг. 20 изменения состояния воздуха при сжатии имеет уравнение $PV^m = const$ (политропическое сжатие).

Требуется определить по диаграмме:



фиг. 19.

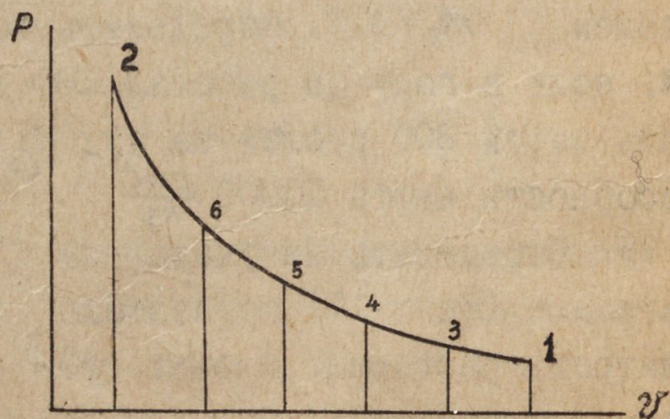
а) Масштабы объемов, давлений, работ.

б) Величину (m) для точек кривой 3, 4, 5, 6 и среднее значение (m) для всей кривой.

в) Работу сжатия.

г) Температуру в различных точках.

105. Резервуар мини Уайтхеда емкостью 0,25 куб. мт. наполняется сжатым воздухом до 100 At. Начальная температура всасываемого воздуха $t_1 = 15^\circ C$.



фиг. 20.

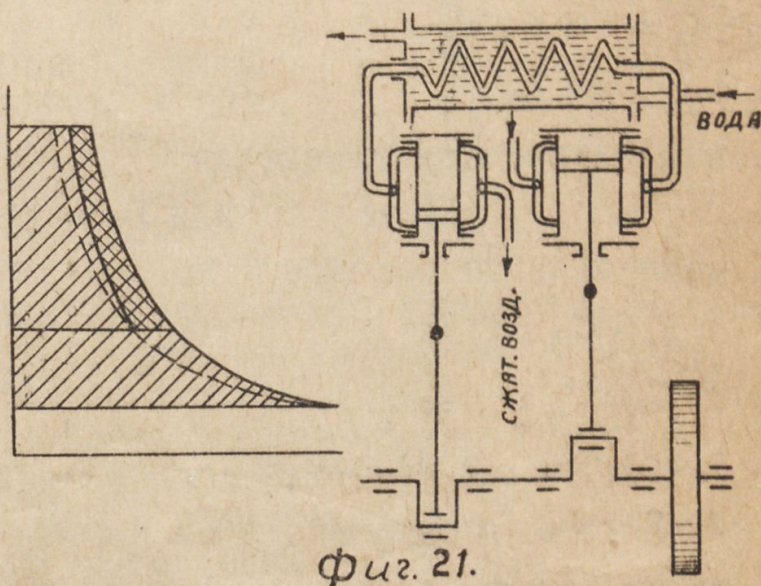
Сколько нужно отнять теплоты при процессе накачивания, чтобы воздух в mine сохранил ту же температуру.

106. Показать, что в уравнении политропы PV^m при $m = \pm \infty$

мы получаем процесс $V = \text{const}$ (по изоплере).

107. Определить экономию в %, получающуюся от введения промежуточного охлаждения (до первоначальной температуры) в двух ступенчатой компрессорной установке, (фиг. 21), если дано первоначальное давление воздуха $0,95 \text{ At}$, макс. давление после 1 ступени 4 At после 2-й - 12 At температура засасываемого воздуха 18°C и показатель политропы сжатия в обеих ступенях - $m = 1,18$.

108. На воздушный катарракт (фиг. 22) падает груз весом $1,5 \text{ кг}$ с высоты 500 mm . Определить температуру воздуха после падения груза, считая, что процесс происходит адиабатически.



ЭНТРОПИЯ ГАЗОВ И ТЕПЛОВАЯ ДИАГРАММА.

При решении задач термодинамики, связанных с определением тепла в практике оказалось весьма полезным введение особой функции " S ", называемой ЭНТРОПИЕЙ.

Помимо важности введения этой функции с точки зрения молекулярной термодинамики и математического истолкования 2-го принципа термодинамики энтропия " S " в технических вопросах нашла себе самое широкое применение в качестве одной из удобнейших координат при графо-аналитическом решении вышеупомянутых вопросов количественного определения тепла.

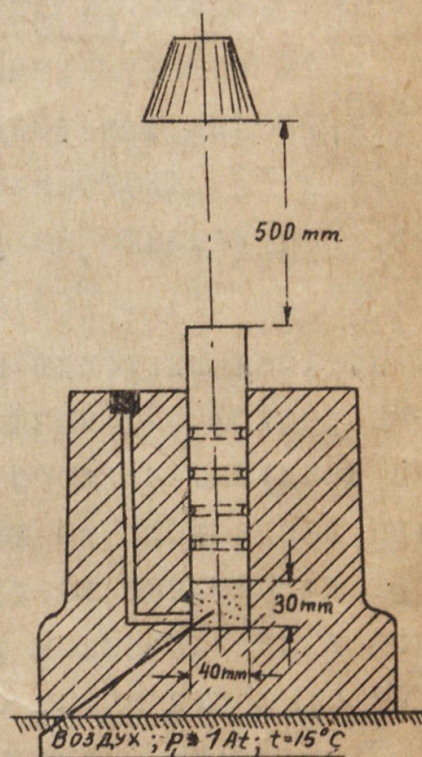
По основному определению

$$S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$$

где S есть всегда функция состояния, но не протекания процесса (функция потенциальная, а потому дифференциал ее представляет собою полный дифференциал).

Размерность Энтропии аналогична размерности теплоемкости, т.е.

$$\frac{\text{cal}}{\text{kg} \times 1^\circ\text{C}}$$



Формулы для определения разности энтропии для различных процессов суть: $\frac{dQ}{T} = dS$

При постоянной теплоемкости

$$S - S_0 = C_v \ln \frac{T}{T_0} + AR \ln \frac{v}{v_0}$$

иначе $S - S_0 = 2,303 \left[C_v \lg \frac{P}{P_0} + C_p \lg \frac{v}{v_0} \right]$

При изотермическом изменении

$$S - S_0 = AR \ln \frac{v}{v_0}$$

или $S - S_0 = AR \ln \frac{P_0}{P}$

При адиабатическом изменении

$$dS = 0 \quad \text{или} \quad S = \text{const}$$

При изменении по изобаре

$$S - S_0 = C_p \ln \frac{v}{v_0}$$

или $S - S_0 = C_p \ln \frac{T}{T_0}$

При изменении по изоплере

$$S - S_0 = C_v \ln \frac{P}{P_0}$$

$$S - S_0 = C_v \ln \frac{T}{T_0}$$

Если принять для газов $\mu C_v = 4,625 - 0,00106 T$ (исключая газы при их сгорании) и при $\mu C_v = \mu C_p - 1,99$

то выражение энтропии при переменной теплоемкости

$$\mu(S - S_0) = 6,615 \ln \frac{T}{T_0} + 1,99 \ln \frac{P_0}{P} + 0,00106 (T - T_0)$$

здесь μ есть молекулярный вес. Таким образом составлена диаграмма II и пригодна для всех двухатомных газов, исключая газы при их сгорании. В TS диаграмме тепло " Q " определяется заштрихованной площадью, как указано на фиг. 23.

ЗАДАЧИ.

109. Полагая энтропию воздуха при 0°C и начальном давлении 760 mm Hg равной 0, вычислить, чему будет равняться приращение энтропии воздуха, взятого в количестве 3 kg :

а) при нагревании по изобаре до 400°C

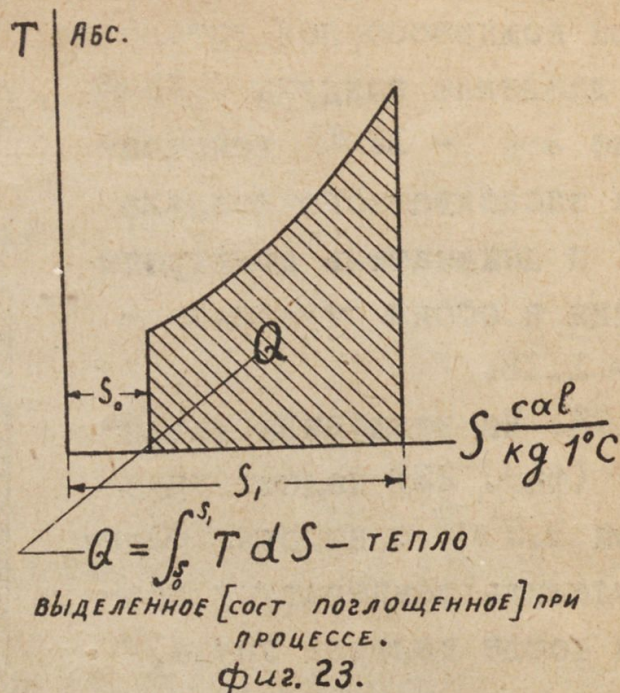
б) при нагревании воздуха по изоплере до 880°C

в) при изотермическом расширении с увеличением объема в 16 раз.

г) при адиабатическом сжатии при степени сжатия $(\xi = \frac{v_0 + v_f}{v_f} = 15)$

110. Определить энтропию в условиях предыдущей задачи при переменной теплоемкости воздуха.

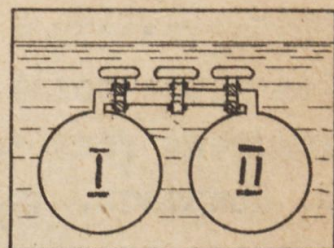
111. 1 Моль идеального газа при любой начальной температуре рас-



ширится изотермически, увеличивая свой об"ем в 1,654 раза. Определить приращение энтропии. (Вывести представление об единице энтропии).

112. Показать, что в опыте Гей Люссака (фиг. 24) при перепускании газа в абсолютно пустой сосуд энтропия возрасла.

ПРИМЕЧАНИЕ. Гей-Люссак брал два металлических сосуда I и II (фиг. 24) одинаковой емкости, соединенных между собой трубкой с кранами. В сосуд I нагнетался газ под давлением 22 Ат , а в сосуд II производилось разрежение. Затем оба сосуда помещались в калориметр и открытием кранов сообщались между собой. Газ из сосуда I, расширяясь, переходил в сосуд II, не встречая сопротивления, а следовательно, не производя никакой внешней работы. Температура сосудов и калориметра в конце опыта оказалась равна начальной температуре, т.е. не произошло ни выделения ни поглощение тепла. Хотя об"ем газа увеличился вдвое. Из этого опыта Мейер заключил, что для своего расширения газ не требует тепла, следовательно, не требует и работы, т.е. работа диссипации газов равна нулю. После этого Мейер нашел числовую зависимость между единицей тепла и единицей работы. (См. зад. N 61).



Фиг. 24.

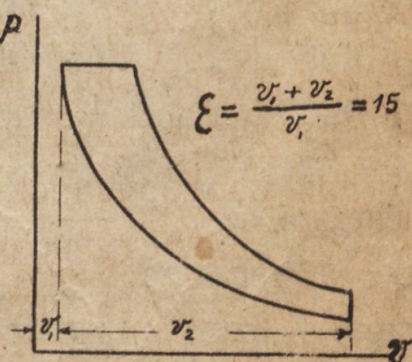
113. Показать, что при смешивании двух количеств воды разных температур в изолированной системе энтропия возрастает.

✓ 114. В дизеле воздух при 100°C и $0,9 \text{ Ат}$ сжимается адиабатически до об"ема, который в 15,73 раза меньше первоначального. Как велико конечное давление и температура, считая теплоемкость переменной? Решить задачу по TS диаграмме.

✓ 115. В двигателе, работающем на светильном газе, продукты сгорания увеличивают свой об"ем в 3,5 раза. На сколько повызятся температура и давление? Задачу решить по TS диаграмме.

116. Перевести диаграмму цикла Дизеля (фиг. 25) из PV диаграммы в тепловую диаграмму TS . Определить количество тепла, затрачиваемого на процесс Дизеля и термический коэффициент полезного действия, предполагая, что кривые расширения и сжатия суть адиабаты. (Цикл предполагается замкнутый).

117. Перевести рабочий процесс Отто (фиг. 26) из диаграммы PV в тепловую диаграмму TS и определить количество тепла, затрачиваемого на процессе Отто и термич. коэффициент полезного действия, предполагая, что кривые расширения и сжатия - адиабаты.



фиг. 25.

118. Перестроить в тепловую диаграмму из Pv процесс по циклу Сабате, (фиг. 27), предполагая, что кривые расширения и сжатия адиабаты.

119. На указанной диаграмме (фиг. 28) найти количество тепла и величину соответствующей работы.

120. На указанной (фиг. 29) диаграмме найти термический коэффициент полезного действия тепловой установки.

121. Показать, что при одном и том же максимальном давлении процесс Дизеля экономичнее в смысле затраты тепла, чем процесс Отто, пользуясь TS диаграммой.

ПАРЫ.

Полная теплота фиг. 30 (а) сухого насыщенного пара $\lambda = q + r$

где q — теплота жидкости,

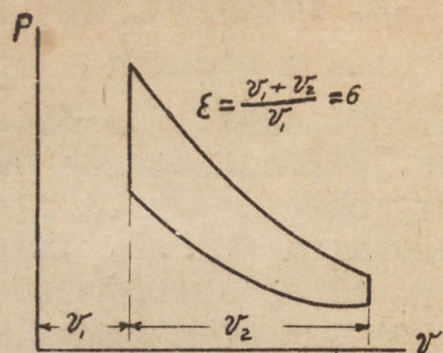
r — полная теплота парообразования

при чем $r = \rho + \psi$

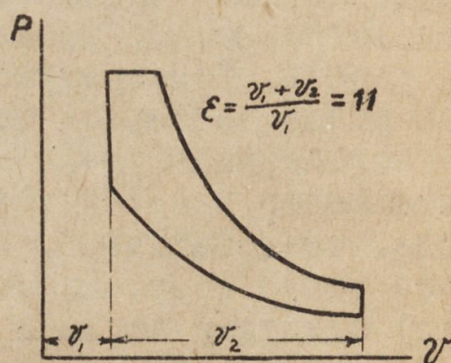
где ρ — внутренняя теплота парообразования, т.е. количество тепла, затраченного при парообразовании на преодоление внутреннего (молекулярного) сцепления жидкости, а $\psi = \frac{1}{427} (v_s - b) P$ —

внешняя теплота парообразования, т.е. количество теплоты эквивалентное работе, затраченной на преодоление давления при увеличении объема b до v_s где P — давление, v_s — объем 1 кг пара, а $[b \approx 0,001] \frac{m^3}{kg}$ — объем одного kg воды.

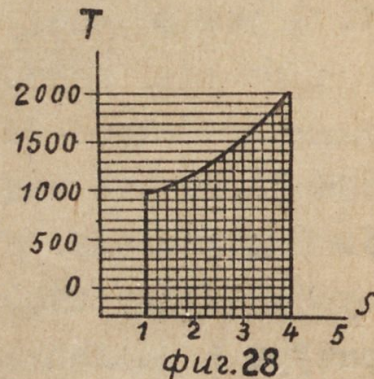
Работа $P(v_s - b)$ отдается наружу, а теплота $q + \rho$ остается в паре в виде скрытой теплоты (потенциальной энергии), а потому сумма $q + \rho = u$ — называется энергией пара.



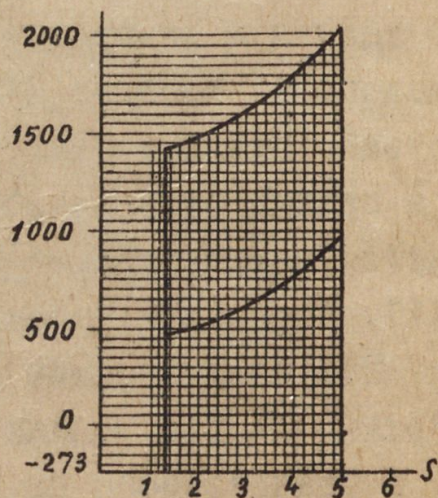
фиг. 26.



фиг. 27.



фиг. 28



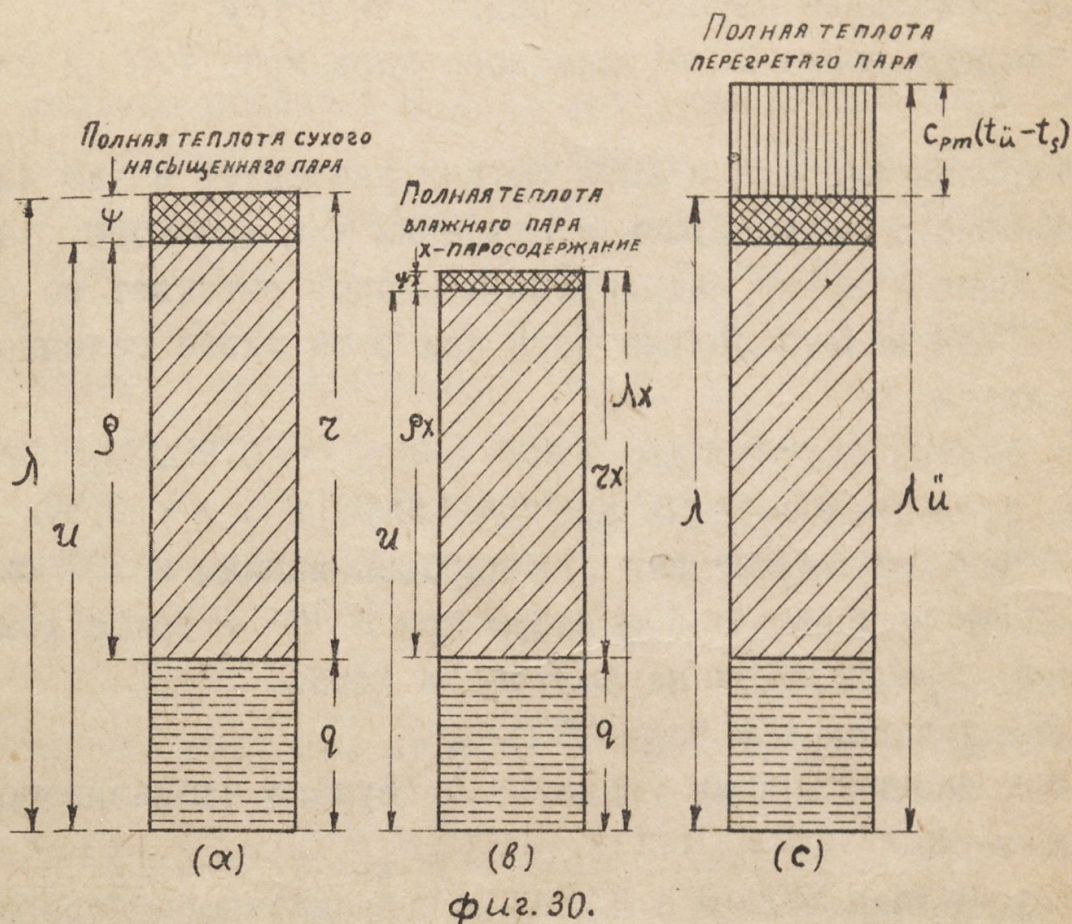
фиг. 29.

Полная теплота (фиг. 30) (в) влажного пара равна

$$\lambda = q + r x$$

где x — количество сухого пара в 1 кг влажного пара (ПАРСОДЕРЖАНИЕ) дается часто в %, при чем $r x = x (r + \psi)$

$(1 - x)$ — количество воды в 1 кг влажного пара.



фиг. 30.

Полная теплота (фиг. 30) (с) перегретого пара

$$\lambda_u = q + r + C_{p(m)} [t_u - t_s]$$

где $(C_p)_m$ — средняя теплоемкость, зависящая от температуры и давления, находится по диаграмме " III " Кнобляуха и Якоба.

t_u — температура перегретого пара.

t_s — температура насыщенного пара.

$q + r$ и t_s — находится по таблицам Молье (табл. II, III, IV и V).

Приближенное уравнение для перегретого пара, которое пригодно для вычисления удельного объема или веса по давлению и температуре в большинстве технических расчетов суть $PV = 47,1T - 0,016P$

откуда $V = \frac{47,1T}{P} - 0,016$ (смот., также $\mathcal{I}P$ диаграмму)

$$\text{и } \gamma = \frac{1}{\frac{47,1T}{P} - 0,016}$$

где P — давление в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$

ПРИМЕЧАНИЕ: Последние уравнения совершенно теряют силу, как только пар при изменении состояния перейдет в область насыщения, что имеет место, когда P и v или P и T или v и T принимают значения, соответствующие значениям таблиц для насыщенного пара.

ЗАДАЧИ.

- ✓ 122. Манометр котла показывает $7,5 \text{ ат}$. Определить температуру пара, если показание барометра равно 740 мм Нг
- ✓ 123. Сколько весит 10 м^3 влажного пара при 7 Ат и влажности 12 %.
124. Паровая турбина в 1000 эф. сил расходует в час на 1 силу 7 кг насыщенного пара. Пусть в ступенях как высокого, так и низкого давления, пар из направляющих венцов вытекает со скоростью $300 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Как велико должно быть при этом живое сечение направляющего аппарата:
- а) для первой ступени при 7 Ат и $x = 0,95$,
 - б) для последней ступени при $0,08 \text{ Ат}$ и $x = 0,85$.
- ✓ 125. Котел доставляет пар для паровой машины в 100 сил, которая расходует на силочас 9 кг пара при 8 Ат . Какое количество тепла в час должно пойти на получение пара. Температура питательной воды 15°C .
- ✓ 126. Как велика полная теплота h сухого насыщенного пара в 15 Ат давления.
- ✓ 127. Как велика полная теплота h насыщенного пара в 20 Ат давления при 3 % влаж.
128. При впуске в цилиндр паровой машины, сухой насыщенный пар, 10 Ат становится влажным с 5 % влаги. Сколько % тепла пара передается стенкам.
- ✓ 129. Для обогрева некоторого помещения паром низкого давления нужно в час 100000 ккал . Сколько потребуется в час пара при $1,2 \text{ Ат}$ если конденсат. возвращается в котел при 80°C ?
- ✓ 130. Какое количество тепла идет на перегрев 1 кг насыщенного пара при 10 Ат до 350° . На сколько % полная теплота этого перегретого пара больше теплоты насыщенного пара при 10 Ат ?
- ✓ 131. Пар в паровых машинах обыкновенно не перегревают выше 350° . Во сколько раз об'ем такого перегретого пара больше об'ема насыщенного пара того же давления для: $1, 4, 8, 13 \text{ Ат}$.
- ✓ 132. В резервуаре, об'емом $1,5 \text{ куб. м.}$ имеется 3 кг насыщенного пара при давлении $3,5 \text{ Ат}$. Определить паросодержание (степень сухости пара).

✓ 133. Найти степень сухости одного килограмма насыщенного пара при об"еме 0,35 куб.м. и давлении 4,5 Ат .

✓ 134. Об"ем парового котла равен 4,5 куб.м. Вес воды с паром 15 кг. Давление 8 Ат . Определить вес насыщенного пара и воды в котле и степень влажности пара.

135. Найти об"ем, теплосодержание, энтропию и внутреннюю энергию 0,6 кг насыщенного пара при степени сухости 0,7 и давлении 4 Ат .

136. На сколько понижается давление перегретого пара 13 Ат и 380°, если он охлаждается при неизменном об"еме на 150°

137. Какое количество тепла отдает 1 м³ сухого насыщенного пара в 10 Ат при охлаждении его до 60°C в резервуаре постоянного об"ема? Какое давление будет в конце процесса в паровом пространстве и как велико паросодержание?

ЭНТРОПИЯ ВОДЫ, НАСЫЩЕННОГО ПАРА И ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА.

TS , TS и TP ДИАГРАММЫ ДЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА.

Увеличение энтропии жидкости от 0° до температуры T_s (полагая энтропию при 0°C = 0) выражается:

$$S_w = 2,303 \lg \frac{T_s}{273}$$

Приращение энтропии при переходе жидкости при 0° в сухой пар температуры :- $T_s = 273 + t_s$

$$S = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} + \frac{r}{T_s}$$

Полное приращение энтропии влажного пара считая от жидкости при 0° $S_x = 2,303 \lg \frac{T_s}{273} + \frac{x r}{T_s}$

Энтропия перегретого пара, принимая энтропию сухого насыщенного пара S_s за начальную величину - $S - S_s = \left(\frac{C_p}{T}\right)_m (T_u - T_s)$

где $\left(\frac{C_p}{T}\right)_m$ - средняя теплоемкость, T_u - температура перегретого пара, T_s - температура сухого насыщенного пара.

В TS диаграмме (диаграмма № IV) построены кривые постоянного давления, при учете переменной теплоемкости C_p .

Нахождение параметров пара при различных изменениях состояния чрезвычайно облегчается при пользовании TS , TS и TP диаграмм.

Особенно широкое применение нашла TS диаграмма в области решения практических задач при расчетах тепловых процессов паровых машин и паровых турбин.

Для определения требуемого количества теплоты, энтропии и об"е-

ма, отнесенных к 1 кг пара служат следующие уравнения (Molliez)

Полная теплота сухого насыщенного λ_s или перегретого λ_u пара

$$\lambda_s \text{ или } \lambda_u = 494,7 + 0,477t - X P \text{ cal};$$

объем v_s насыщенного или v_u перегретого пара v_s или

$$v_u = 47 \frac{T}{P} - Y \quad \text{— куб. метров.}$$

Энтропия насыщенного или перегретого пара

$$S = 0,477 \ln T - 0,11 \ln P - Z P - 1,0544$$

В этих уравнениях:

$$Y = 0,075 \left(\frac{273}{T} \right)^{\frac{10}{3}}; \quad X = \frac{10000}{427} \left[\frac{13}{3} Y - 0,001 \right]$$

$$\text{и } Z = \frac{10000}{427} \cdot \frac{10}{3} \cdot \frac{Y}{T}$$

Вычисления значения X, Y и Z для различных абсолютных температур даны в таблице (У).

ЗАДАЧИ.

138. Как велико теплопадение, если 20000 кил. пара, при абсол. давлении $P = 16 \text{ At}$ и температуре 280° расширяется адиабатически до абсолютного давления в $0,08 \text{ At}$.

139. Каково будет состояние пара, имеющего начальное абс. давление в 18 At при 2 % влажности, если он будет приведен мятием (дресселированием) к абс. давлению в 5 At .

✓ 140. Какое располагаемое количество теплоты заключается в 1 кил. пара /теплопадение); если он расширяется адиабатически от абсолютного давления в 16 At до давления в $0,07 \text{ At}$.

✓ 141. Определить теплопадение при адиабатическом расширении до $0,1 \text{ At}$ для:

а) сухого насыщенного пара при 12, 8, 5 At .

в) перегретого до 350° пара при тех же давлениях.

142. Определить термические коэффициенты идеальной паровой турбины при температурах и давлениях задачи N 141.

✓ 143. Имеем два процесса: в первом насыщ. пар от давления в 8 At расширяется до $0,1 \text{ At}$, во втором то же количество пара сначала мнется до 6 At , а потом также расширяется до $0,1 \text{ At}$. На сколько % теплоотдача второго случая будет меньше первого.

144. 1 кг пара ($X = 95\%$) расширяется адиабатически от давления $P_1 = 8 \text{ At}$ до давления 1 At . Найти вес сконденсировавшегося пара.

✓ 145. 1 кг пара при влажности $(1 - X) = 12\%$ сжимается адиабатически так, что весь превращается в воду. Найти температуру и давление в конце сжатия, если начальное давление было 1 At .

146. 16 кг пара при давлении 8 At расширяются от объема 6 куб.

метр. до об"ема 16 куб.метр.

Определить количество сообщенной пару теплоты, работу пара и паросодержание в начале и конце процесса.

✓ 147. 1,5 кг насыщенного пара при 8 Ат давления и паросодержании 75 % расширяются изотермически до давления одной атмосферы. Найти паросодержание в конце процесса, количество подведенной теплоты и совершенную работу.

✓ 148. Пар при давлении 5 Ат и паросодержании 90 % расширяется адиабатически до давления 1,5 Ат. Найти конечный удельный об"ем, температуру, конечное паросодержание, количество сообщенной теплоты, изменение внутренней энергии и произведенную работу.

149. В котле находится 60 кг воды и 30 кг пара при давлении 3 ат по манометру. Найти теплоотдачу, если давление в нем упадет до 1 Ат, найти конечную температуру и паросодержание.

150. В сосуде об"ема 1 м³ находится пар при давлении 3 Ат и степени влажности $(1-x) = 70\%$. Сколько теплоты нужно сообщить, чтобы повысить давление до 9 Ат /при $\gamma = const$ /. Каково будет при этом паросодержание.

✓ 151. Один кг угля дает в котле 6 кг пара при давлении в 7,5 Ат и температуре питательной воды 40°. Сколько кг воды будет обращено в пар одним кг угля при давлении 1 Ат и температуре питательной воды 15°C.

152. 1 кг пара с паросодержанием 95 % и 9 Ат давления нагревается до $t = 320^\circ$. Определить совершенную паром внешнюю работу, количество сообщенной теплоты, изменение внутренней энергии и конечный об"ем.

✓ 153. В резервуаре емкостью 1,5 м³ имеется насыщенный пар при давлении 2 Ат и паросодержании $x = 80\%$. Сколько единиц теплоты необходимо, чтобы высушить весь пар, каково будет давление после подсушивания.

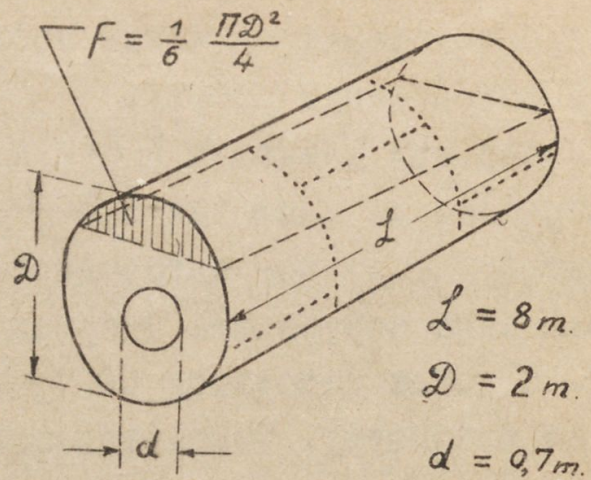
✓ 154. Котел имеет диаметр 2 м. и толщину стенки 10 мм. содержит 8.000 кг пара и воды при давлении 5 Ат, паросодержание 90 %.

После прекращения отвода пара из него, к нему продолжали подводить 5.000 тепловых единиц в минуту, через сколько времени последует взрыв котла, если у него во время подвода тепла были закрыты все предохранительные клапаны. Разрушающее напряжение стенок - $4.000 \frac{кг}{см^2}$

✓ 155. Определить время поднятия давления в Корнвалийском котле

(фиг. 31) до 12 атмосфер, если при равномерном нагреве всего котла подводится 6.000 тепловых единиц в час, а начальное давление в котле было 4 атмосферы.

156. Сколько кг угля в час теплотворной способности в 4.500. cal . необходимо сжечь под котлом, чтобы получить 6.000 кг насыщенного пара в час, при давлении 9,3 At , степень влажности которого 2 %, если коэффициент полезного действия котла 72 %, а температура питательной воды 15°C .



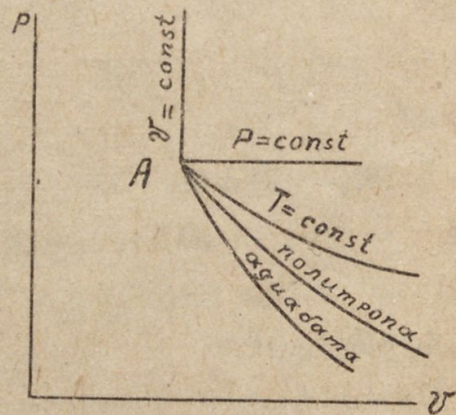
фиг. 31.

157. Дана нижняя и верхняя пограничная кривая

/для воды и насыщенного пара/ в диаграмме Pv , перестроить их в TS и TS диаграммы.

158. Дана некоторая точка А в Pv диаграмме, от нее проведены, как указано на фиг. 32, изобара, изоплера, адиабата и изотерма, перевести эти линии в TS , TS и TP диаграммы.

159. Часовой расход пара для турбины крейсера 65.000. кг , начальное абсолютное давление 17 At вакуум 92 %, влажность пара 3%, эффективная мощность турбины 10.800 л.с. Определить эффективный коэффициент полезного действия.



фиг. 32.

160. Как велика полная теплота парообразования, энтропия и об"ем 1 кг перегретого

пара при давлении в 18 At и температуре 300°C .

Задачу решить при помощи уравнений и таблиц Молье.

ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗОВ И ПАРОВ ИЗ ОТВЕРСТИЙ.

Изменение состояния у газов и паров во время истечения происходит, как указано на фиг. 33. где от начала ускоренного движения точка А и до момента достижения выходной скорости точка В наблюдается постепенное понижение давления и возрастания объема. Кривая АВ, если выпускной насадок EF не обогревается и не охлаждается и, если не принимать во внимание трения, будет адиабата, в действительности же кривая АВ будет политропа. Если $W_0 = 0$, то выходная скорость будет

$$W = \sqrt{2g\mathcal{L}}$$

где g - ускорение силы тяжести, $\mathcal{L}$ - площадь фиг. ABCD

или

$$W = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} P_i V_i \left[1 - \left(\frac{P_m}{P_i} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}$$

Отношение давлений, при котором расход достигает своего *maximum* называется критическим, т.е. когда

$$\left(\frac{P_m}{P_i} \right)_{кр.} = \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

тогда
$$W_{max.} = \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa+1} P_i V_i}$$

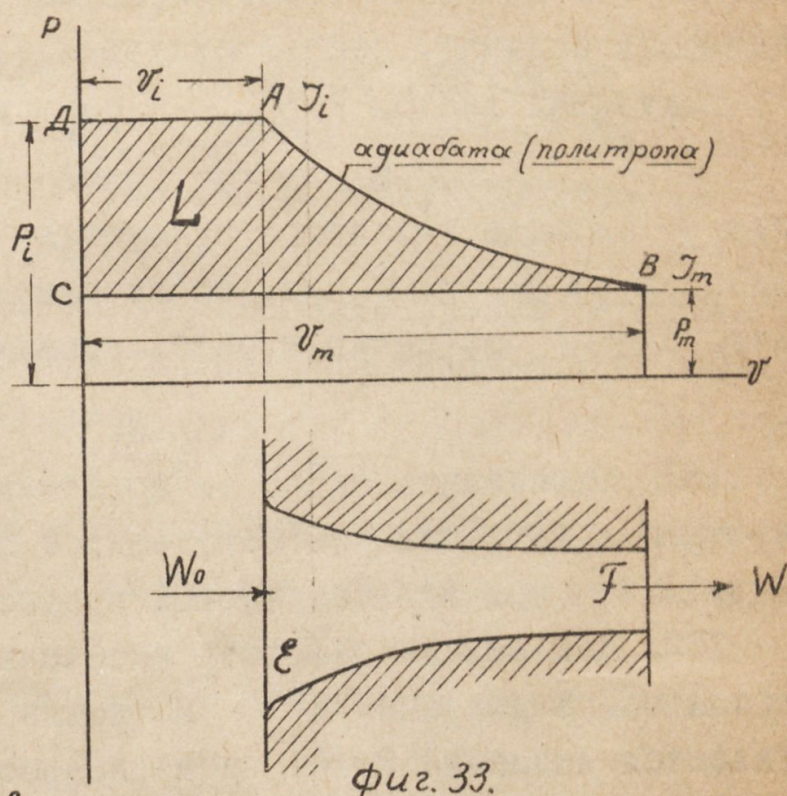
или для газов
$$W_{max.} = 3,38 \sqrt{RT_i}$$

Эти формулы применимы, если истечение происходит из сосуда, в котором скоростью подхода к устью можно пренебречь, если же текущее тело подходит к устью с некоторой значительной скоростью W_0 , то формула принимает вид

$$W = \sqrt{W_0^2 + 2g\mathcal{L}}$$

соответственно изменятся и остальные формулы.

Работа истечения газа или пара $\mathcal{L}$ при переходе от давления P_i до P_m выражается $\mathcal{L} = 427 (T_i - T_m)$



где J_i и J_m теплосодержание газа или пара в начале и конце расширения; откуда скорость истечения пара

$$W = 91,53 \sqrt{J_i - J_m}$$

Определение скорости по этой формуле выполняется особенно просто по JS диаграмме, в которой J_i и J_m отсчитываются как разность ординат, соответствующих заданным параметрам.

Секундный расход / G_{sec} / газа или пара определяется

$$G_{sec} = \frac{f W}{v} \left(\frac{kg}{sec} \right)$$

где f - площадь выходного отверстия, W - скорость истечения через площадь f в $\frac{m}{sec}$ и v уд. об'ем газа или пара $\left(\frac{m^3}{kg} \right)$ соответствующий состоянию в рассматриваемом сечении.

ЗАДАЧИ.

161. Определить скорость истечения перегретого пара при $12 At$ и $350^\circ C$ из сопла соответственной формы при противодавлении в $0,1 At$ при адиабатическом процессе.

162. Как велика скорость истечения сухого насыщенного пара абсолютного давления $18 At$ из котла в сосуд, в котором поддерживается давление $9 At$ при влажности 3% .

163. Определить *max.* расход пара, вытекающего из насадка. Давление перед насадком $15 At$ и вакуум после насадка 90% . Высота барометра $750 mm Hg$.

164. Определить размер выходного сечения сопла турбины Лаваля в 40 л.с. работающего при давлении входа $14 At$ и вакуум 85% . Высота барометра $745 mm Hg$. Расход пара на л.с.ч. $9,5 kg$

165. Определить скорость истечения в атмосферу воздуха и расход его из резервуара, если давление в нем поддерживается $60 At$ и температура $17^\circ C$ если наружное сечение выходного насадка равно $1 cm^2$.

166. Насыщенный пар с паросодержанием 90% , вытекая из котла, где давление равно $11 At$, проходит через дроссельный клапан, где его давление понижается до $2 At$. Определить на сколько пар подсушится или увлажнится.

167. Определить скорость вытекания пара с паросодержанием / $x = 95 \%$ / из котла, где давление равно $9 At$, если пар вытекает в холодильник с давлением $0,4 At$.

168. Пар / $x = 96 \%$ / при давлении $12 At$ течет через сопло, приобретая выходную скорость $65 \frac{m}{sec}$

Определить на сколько пар подсохнет или увлажнится, полагая скорость подхода к соплу $10 \frac{m}{sec}$

169. Пар с паросодержателя / $x = 0,90$ / вытекает из котла, где давление равно $15 At$. Какую влажность имеет пар за дроссельным клапаном, отрегулированным на $10 At$

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.
НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ ГОРЕНИЯ КИСЛОРОД. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ И ПАРЫ И ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ ИХ. ОБЪЕМНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ.

$\eta_z = \frac{632}{C H_u}$ где C - расход топлива в kg на эффективный силочас, H_u - рабочая теплотворная способность топлива отнесенная к $1 kg$
По формуле Союза немецких инженеров

$$H_u = 8100 C + 2900 \left[H - \frac{O}{8} \right] + 2500 S - 600 W$$

где C, H, O, S - весовые части элементов углерода, водорода, кислорода, серы, содержащихся в одном килограмме топлива. W - содержание воды.

Теоретическое количество воздуха L_0 необходимое для сжигания $1 kg$ горючего $L_0 = \frac{1}{k(O)} \frac{kg}{kg}$

где $k(O)$ есть количество кислорода необходимое для сжигания $1 kg$ горючего.

В сожигательных устройствах /топках/ и двигателях вводимое количество воздуха L всегда больше теоретического, так что действительно расход воздуха $L = L_0 \alpha$

Если произведен элементарный анализ топлива, то $k(O)$ определяется из формулы $k(O) = \frac{8}{3} C + 8H - O \frac{kg}{kg}$

где C, H, O - долевые весовые части горючего, отсюда теоретически необходимое количество воздуха для сгорания $1 kg$ топлива будет

$$L_0 = \frac{\frac{8}{3} C + 8H - O}{0,232} \frac{kg}{kg}$$

и действительное количество воздуха $L = \frac{\alpha [\frac{8}{3} C + 8H - O]}{0,232} \frac{kg}{kg}$

Весовые части горючего вообще

1	kg	H_2	с	8	kg	O_2	сгорают в		$9 kg H_2O$
1	"	C	"	$\frac{8}{3}$	"	"	"	"	$\frac{11}{3} kg CO_2$
1	"	CO	"	$\frac{4}{7}$	"	"	"	"	"
1	"	CH_4	"	4	"	"	"	"	$\frac{9}{4} kg H_2O$
1	"	$C_n H_{2n}$	"	$\frac{24}{7}$	"	"	"	"	$\frac{9}{7}$ "

Вес дымового газа на 1 кг горючего равен $1 + \alpha L_0$

Его состав в весовых частях будет

$$g(CO_2) = \frac{\kappa(CO_2)}{1 + \alpha L_0}; \quad g(H_2O) = \frac{\kappa(H_2O)}{1 + \alpha L_0}; \quad g(R) = \frac{\kappa(R)}{1 + \alpha L_0}$$

В смеси до горения имеем:

$$g_g = \frac{1}{1 + \alpha L_0} \quad \dots\dots\dots \text{весовая часть горючего.}$$

$$g_z = \frac{\alpha L_0}{1 + \alpha L_0} \quad \dots\dots\dots \text{весовая часть воздуха.}$$

Газовая постоянная до горения $R_0 = g_g R_g + g_z R_z$;

после горения

$$R_f = g(CO_2) R(CO_2) + g(H_2O) R(H_2O) + g(R) 30$$

где "30" газовая постоянная остаточных газов.

При одинаковых p и T $\frac{R_f}{R_0} = \frac{V_f}{V_0}$ если $R_f < R_0$ то получаем сокращение объема после сгорания, если $R_f > R_0$, то наоборот, увеличение объема.

Объемные соотношения при горении:

$2 CO$	+	O_2	=	$2 CO_2$
2 об"емные		1 об"емная		2 об"емные
части		часть		части
$2 H_2$	+	O_2	=	$2 H_2 O$
$2 C$	+	O_2	=	$2 CO$
C	+	O_2	=	CO_2

ЗАДАЧИ.

170. Паровая машина расходует на 1 э.с.ч. 10 кг пара. Сколько % тепла превращается в механическую работу, если в котле каждому кг пара сообщено 650 ккал

171. Газовый двигатель расходует на э.с.ч. 500 литров газа с теплотворной способностью в 5100 $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$ Определить η ,

172. Локомобиль расход. на э.с.ч. 0,9 кг угля с теплотворной способностью 7000 $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ Какая часть тепловой энергии, заключенной в угле, превращается в полезную работу.

173. Автомобильный двигатель в 40 л.с. расходует в час 10 кг бензина, теплотворная способность которого 11000 $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ Определить экономический коэффициент полезного действия двигателя.

174. Определить количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг нефти, если $\alpha = 1,25$, состав нефти по весу $C = 85\%$; $H = 14\%$; $O_2 = 1\%$.

175. Определить теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг силового газа, состав которого по весовым частям

$$\begin{array}{lll} H_2 = 0,5 & CH_4 = 1,2 & \\ CO = 29,0 & CO_2 = 7,8 & \text{и } N = 61,5 \end{array}$$

176. Определить суточное количество воздуха по объему при 17° и 745 mmHg , которое необходимо для работы дизеля в 800 л.с. при 22 часовой работе в сутки, если он расходует на силучас 200.гг нефти.

Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,7$.

Состав нефти по весу

$$C = 84 \% , \quad H = 15 \% \quad O_2 = 1 \% .$$

177. Определить теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг светильного газа, если он состоит по весу $H_2 = 8,4\%$; $CH_4 = 48,7\%$; $C_n H_{2n} = 10,9\%$; $CO = 17\%$ и $O_2 = 0,7\%$.

Определить также газовую постоянную R и сокращение объема в % после сгорания при $\alpha = 1,25$.

178. В балон с воздухом объема 1 m^3 при $t = 17^\circ C$ и давлении 760 mmHg введен 1 кг бензина и воспламенен, затем охлажден до $t = 17^\circ C$. Не принимая во внимание диссоциацию газов и последующего испарения бензина определить состав газов в балоне, характеристическую постоянную и давление.

*) 179. Дан газ при давлении P и температуре наружного воздуха. Как нужно повести процесс, чтобы получить максимум работы, не имея специального нагревателя и охладителя и предполагая стенки теплопроводными.

*) 180. Имеем газ при давлении окружающего воздуха и температуре T . Как нужно повести процесс, чтобы получить максимум работы. Температура наружного воздуха T_0 ; $T' > T_0$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПАРА ДИАФРАГМОЙ.

Процесс протекания пара через диафрагму является процессом истечения, следов. $\mathcal{I}_1 = \mathcal{I}_2$, а потому W в диафрагме определяется лишь разностью давлений ΔP , $\frac{\pi d^2 \text{см}}{4} W =$ тогда $W = \sqrt{2g \Delta P \mathcal{V}_1}$; $G_{\text{сек}} = \frac{\pi d^2 \text{см}}{4} W =$

$$= \frac{\pi d^2 \text{см}}{4 \cdot 10^4} \sqrt{2g \Delta P \left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right) 10^4 \frac{1}{\mathcal{V}_1}} =$$

теорет. $\frac{\pi}{4} \frac{\sqrt{2,981}}{10^2} \sqrt{\frac{\Delta P}{\mathcal{V}_1}} =$
 $= 0,0348 d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\mathcal{V}_1}}$

Заменяя в последнем выражении ΔP через $\Delta P \approx \frac{h_{\text{см}}}{80 \text{см}}$ (при высокой температуре ртути) получаем

$$G_{\text{сек}} = 0,00389 d^2 \sqrt{\frac{h_{\text{см}}}{\mathcal{V}_1}}$$

В последнюю ф-лу мы должны ввести коэф-ты:

- 1) μ - кажущийся коэфф. расхода $\mu = f$ (d диафраг. в см.)
 - 2) χ - переходный коэфф. $\chi = f\left(\frac{h}{P}\right) \frac{\text{см Hg}}{\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}}$
- тогда окончательно получаем

$$1) G = 0,0348 \chi \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\mathcal{V}_1}} = 0,00389 \chi \mu d^2 \sqrt{\frac{h}{\mathcal{V}_1}}$$

$$2) Q = 125,2 \chi \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\mathcal{V}_1}} = 14 \chi \mu d^2 \sqrt{\frac{h}{\mathcal{V}_1}}$$

G - секундный расход пара

ΔP - разность давлений $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

Q - часовой " "

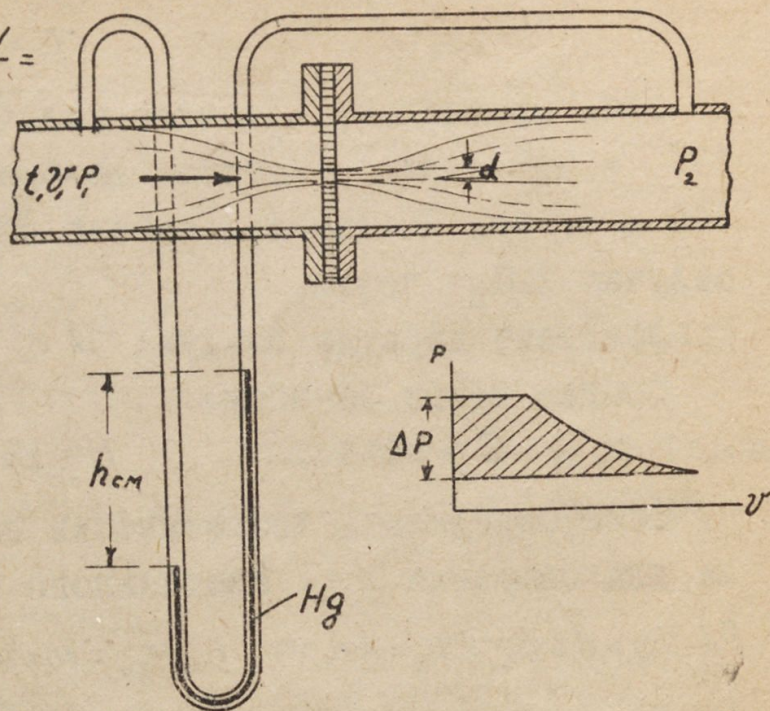
P - давление пара перед диафр. $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ d - диаметр диафрагмы см^2

$\mathcal{V}_1$ - удельный об"ем " " D - диаметр трубы в см.

t - температура " " " $^{\circ}\text{C}$

Таблица значений коэф. μ
при $D : d > 2,5$

Форма диафрагмы	$t^{\circ}\text{C}$	2	4	6	8	10
Закругленные края 	160 - 180	0,88	0,83	0,79	0,76	0,74
	260 - 300	0,84	0,77	0,73	0,71	0,69
Острые края 	160 - 180	0,66	0,63	0,63	0,63	0,63
	260 - 300	0,61	0,58	0,58	0,58	0,58



фиг. 34.

где

Таблица значений перех. коэф. $\chi = f\left(\frac{h}{P_1}\right) \frac{\text{см Hg}}{\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}}$

$\frac{h}{P_1} \rightarrow$	10	20	30	40	50	60	70	80
Перегретый пар.	0,93	0,84	0,76	0,67	0,60	0,55	0,51	0,48
Насыщенный пар.	0,92	0,83	0,73	0,64	0,57	0,52	0,48	0,45

ПОТЕРЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ.

Потеря давления в трубопроводах ближе всего выражается формулой

$$\Delta P = \beta \frac{l}{\alpha} \gamma W^2 \quad \text{где}$$

ΔP - падение давления в $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

l - длина газовой трубы в м.

α - диаметр трубы (световой) в м.

γ - удельный вес пара в $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$

W - скорость пара в $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$

$$G_{\text{сек}} = \frac{\pi \alpha^2}{4} W \gamma \quad \text{откуда} \quad \Delta P = P_1 - P_2 = \beta \frac{l}{\alpha} \gamma \left[\frac{G_{\text{сек}}}{\gamma \frac{\pi \alpha^2}{4}} \right]^2$$

где $G_{\text{сек}}$ - расход пара в $\left(\frac{\text{кг}}{\text{сек}}\right)$

Для определения диаметра, по заданной потере давления $\Delta P = P_1 - P_2$ имеем расчетную ф-лу $\alpha^5 = 1,6 \frac{\beta l G_{\text{сек}}^2}{\gamma (P_1 - P_2)}$

$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \frac{\text{м}}{\text{сек}} \quad \text{Таблица значений коэф. } \beta \times 10^5$

$\gamma W \rightarrow$		5	10	20	40	60	80	100	150	200	400	800
Диаметр трубы в м.	0,002	39,4	35,6	32,0	28,8	27,3	26,0	25,2	23,8	23,2	20,6	18,6
	0,005	30,0	27,1	24,4	22,1	20,8	19,9	19,3	18,2	17,4	15,7	14,2
	0,01	25,6	23,1	20,8	18,7	17,7	16,9	16,4	15,5	15,1	13,4	12,1
	0,02	21,2	19,1	17,2	15,5	14,7	14,0	13,6	12,8	12,6	11,1	10,0
	0,05	16,6	14,9	13,5	12,2	11,5	11,0	10,7	10,0	9,84	8,66	7,83
	0,10	13,8	12,4	11,2	10,1	9,55	9,13	8,84	8,34	8,17	7,20	6,50
	0,20	11,4	10,3	9,30	8,38	7,90	7,56	7,34	6,90	6,76	5,96	5,38
	0,40	9,50	8,55	7,72	6,95	6,56	6,28	6,09	5,74	5,62	4,95	4,47
	0,60	8,53	7,68	6,94	6,25	5,90	5,65	5,47	5,15	5,04	4,45	4,02

ЗАДАЧИ.

181. Турбина расходует в час 450 кг перегретого пара в 300° и 10 Ат . Длина паропровода равна 50 м . Определить диаметр паропровода в свету, чтобы падение между машиной и котлом не превысило $0,2 \text{ Ат}$.

182. На сколько больше получится падение давления, если турбина, работая насыщ. паром при $1,5\%$ влажности расходует 600 кг пара в час.

----- 0 -----

Таблица физических величин для газов

Таблица I

Газы	Химич. обозн.	Атомность	Молекулярный вес		Постоянн. газа в кар. ур. в. $R = \frac{848,5}{M}$	Теплоемкость для 1 кг.		Теплоемкость для 1 м ³ при 15°		$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_v}$
			Точно $O_2 = 32$	Прибли- зительно		C_p	C_v	C_p	C_v	
Водород	H ₂	2	2,016	2	420,0	3,410	2,42	0,282	0,200	1,405
Кислород	O ₂	2	32	32	26,5	0,217	0,155	0,285	0,204	1,400
Азот	N ₂	2	28,02	28	30,2	0,247	0,176	0,281	0,200	1,408
Воздух	—	—	28,96	29	29,26	0,238	0,170	0,282	0,200	1,405
Окись углерода	CO	2	28,00	28	30,25	0,242	0,172	0,279	0,197	1,410
Водян. пары	H ₂ O	3	18,02	18	47,00	—	—	—	—	1,300
Углекислота	CO ₂	3	44,00	44	19,25	0,210	0,160	0,370	0,290	1,280
Ацетилен	C ₂ H ₂	4	26,02	26	32,50	0,350	0,270	0,370	0,290	1,280
Сернист. ангидр.	SO ₂	3	64,07	64	13,20	0,150	0,120	0,390	0,310	1,250
Метан	CH ₄	5	16,03	16	52,80	0,590	0,460	0,390	0,310	1,280
Этилен	C ₂ H ₄	6	28,03	28	30,20	0,400	0,330	0,460	0,380	1,250
Аммиак	NH ₃	4	17,03	17	49,60	0,530	0,410	0,370	0,290	1,280

Теплосодержание при постоянном объеме и при постоянном давлении для 1 кг воздуха и продуктов сгорания при 25% избытка воздуха (C_p и C_v — переменны)

Диаграмма II

Таблица энтропий для газов при перемен. теплосм по Шюле

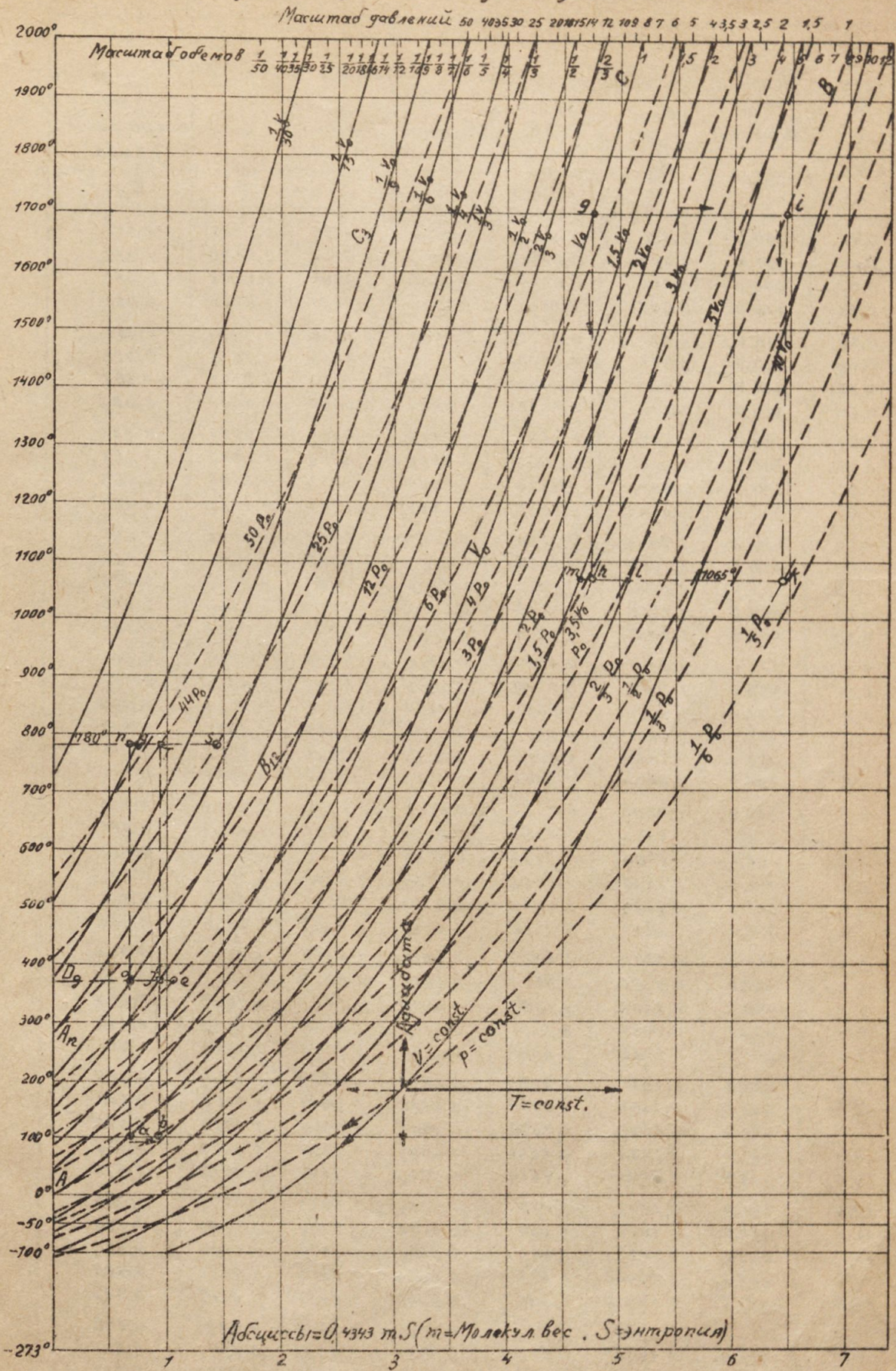


Таблица II
Водяной насыщенный пар

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Давление At $\frac{kg}{cm^2}$ P	Абсолютн. Тем- пература T	Удельный объем $\frac{m^3}{kg}$ V_s	Удельный вес $\frac{kg}{m^3}$ γ	Энтропия		$S'' - S'$ = $\frac{r}{T}$	Теплоемкость на пограничн. кривой C_p
				Жидкост	Пара		
				S'	S''		
0,02	290,3	68,126	0,01468	0,0616	2,0783	2,0167	0,478
0,04	301,8	35,387	0,02826	0,1004	2,0202	1,9198	0,479
0,06	308,0	24,140	0,04142	0,1240	1,9868	1,8628	0,480
0,08	314,3	18,408	0,05432	0,1411	1,9631	1,8220	0,481
0,10	316,6	14,920	0,06703	0,1546	1,9449	1,7903	0,481
0,12	322,2	12,568	0,07956	0,1659	1,9300	1,7641	0,482
0,15	326,7	10,190	0,09814	0,1799	1,9121	1,7322	0,483
0,20	332,8	7,777	0,12858	0,1984	1,8890	1,6906	0,484
0,25	337,6	6,307	0,1586	0,2129	1,8711	1,6582	0,486
0,30	341,7	5,316	0,1881	0,2252	1,8566	1,6314	0,487
0,35	345,3	4,600	0,2174	0,2356	1,8444	1,6088	0,488
0,40	348,5	4,060	0,2463	0,2448	1,8336	1,5888	0,490
0,50	353,9	3,2940	0,3036	0,2604	1,8159	1,5555	0,492
0,60	358,5	2,7770	0,3601	0,2734	1,8015	1,5281	0,494
0,70	362,5	2,4040	0,4160	0,2846	1,7895	1,5049	0,496
0,80	366,0	2,1216	0,4713	0,2944	1,7789	1,4845	0,498
0,90	369,2	1,9003	0,5202	0,3032	1,7698	1,4666	0,499
1,0	372,1	1,7220	0,5807	0,3111	1,7615	1,4504	0,501
1,1	374,8	1,5751	0,6349	0,3183	1,7541	1,4358	0,503
1,2	377,2	1,4521	0,6887	0,3250	1,7473	1,4223	0,504
1,4	381,7	1,2571	0,7955	0,3370	1,7352	1,3982	0,507
1,6	385,7	1,1096	0,9013	0,3475	1,7248	1,3773	0,510
1,8	389,3	0,9939	1,0062	0,3569	1,7156	1,3587	0,513
2,0	392,6	0,9006	1,1104	0,3655	1,7077	1,3420	0,516
2,5	399,7	0,7310	1,3680	0,3839	1,6903	1,3064	0,521
3,0	405,8	0,6163	1,6224	0,3993	1,6760	1,2767	0,526
3,5	411,1	0,5335	1,8743	0,4125	1,6640	1,2515	0,531
4,0	415,8	0,4708	2,1239	0,4242	1,6537	1,2295	0,536
4,5	420,1	0,4217	2,3716	0,4347	1,6445	1,2098	0,541
5,0	424,0	0,3820	2,6177	0,4442	1,6363	1,1921	0,546
5,5	427,6	0,3494	2,8624	0,4529	1,6290	1,1761	0,550
6,0	430,9	0,3220	3,1058	0,4609	1,6227	1,1612	0,554
6,5	434,1	0,2987	3,3481	0,4683	1,6158	1,1475	0,558
7,0	437,0	0,2786	3,5891	0,4753	1,6101	1,1348	0,561
7,5	439,8	0,2611	3,8294	0,4819	1,6048	1,1229	0,565
8,0	442,5	0,2458	4,0683	0,4881	1,5997	1,1116	0,568
8,5	445,0	0,2322	4,3072	0,4939	1,5949	1,1010	0,572
9,0	447,4	0,2200	4,5448	0,4995	1,5905	1,0910	0,575
9,5	449,7	0,2091	4,7819	0,5048	1,5863	1,0815	0,578
10,0	451,9	0,1993	5,018	0,5099	1,5822	1,0723	0,581
11,0	456,1	0,1822	5,489	0,5194	1,5746	1,0554	0,588
12,0	459,9	0,1678	5,960	0,5282	1,5678	1,0396	0,593
13,0	463,6	0,15565	6,425	0,5364	1,5616	1,0252	0,598
14,0	467,0	0,14515	6,889	0,5440	1,5557	1,0117	0,603
15,0	470,2	0,13601	7,352	0,5513	1,5504	0,9991	0,608
16,0	473,3	0,12797	7,814	0,5581	1,5462	0,9871	0,614
18,0	479,1	0,11450	8,734	0,5707	1,5339	0,9652	0,623
20,0	484,3	0,10365	9,648	0,5821	1,5274	0,9453	0,632

Таблица III
Водяной насыщенный пар

1.	2.	3.		4.	5.	6.	7.	8.
Давление	Темпера	Теплота		Энергия	Теплота	Внутрен	Внешняя	
At	тура	Жидкос	Испаре-	пара	испа	теплота	теплота	
$\frac{кг}{см^2}$	°C.	ти	ния		рения	испаре-	испарения	
P	t	q	z	u	z - q	u - q = p	$h_f(z - q) = \psi$	
0,02	17,3	17,3	602,9	571,0	585,5	553,6	31,91	
0,04	28,8	28,8	608,3	575,1	579,4	546,3	33,15	
0,06	36,0	36,0	611,6	577,7	575,6	541,7	33,92	
0,08	41,3	41,4	614,1	579,6	572,7	538,2	34,49	
0,10	45,6	45,7	616,0	581,1	570,4	535,4	34,94	
0,12	49,2	49,3	617,7	582,3	568,4	533,1	35,32	
0,15	53,7	53,8	619,7	583,9	565,9	530,1	35,79	
0,20	59,8	59,9	622,4	586,0	562,6	526,1	36,42	
0,25	64,6	64,8	624,6	587,7	559,8	522,9	36,92	
0,30	68,7	68,9	626,4	589,1	557,5	520,2	37,34	
0,35	72,3	72,5	628,0	590,3	555,5	517,8	37,70	
0,40	75,5	75,7	629,4	591,3	553,7	515,6	38,02	
0,50	80,9	81,2	631,7	593,1	550,5	512,0	38,56	
0,60	85,5	85,8	633,7	594,6	547,8	508,8	39,01	
0,70	89,5	89,9	635,3	595,9	545,5	506,1	39,39	
0,80	93,0	93,5	636,8	597,0	543,3	503,6	39,73	
0,90	96,2	96,7	638,1	598,1	541,4	501,4	40,03	
1,0	99,1	99,6	639,3	599,0	539,7	499,4	40,30	
1,1	101,8	102,3	640,7	599,8	538,1	497,5	40,55	
1,2	104,2	104,8	641,3	600,5	536,5	495,7	40,78	
1,4	108,7	109,4	643,1	601,9	533,7	492,6	41,18	
1,6	112,7	113,4	644,7	603,0	531,2	489,7	41,54	
1,8	116,3	117,1	646,0	604,1	528,9	487,1	41,85	
2,0	119,6	120,4	647,2	605,1	526,8	484,7	42,14	
2,5	126,7	127,7	649,9	607,1	522,2	479,4	42,74	
3,0	132,8	133,9	652,0	608,7	518,1	474,9	43,23	
3,5	138,1	139,4	653,8	610,1	514,5	470,8	43,65	
4,0	142,8	144,2	655,4	611,3	511,2	467,2	44,01	
4,5	147,1	148,6	656,8	612,4	508,2	463,9	44,33	
5,0	151,0	152,6	658,1	613,3	505,5	460,8	44,61	
5,5	154,6	156,3	659,2	614,2	502,9	458,0	44,87	
6,0	157,9	159,8	660,2	615,0	500,4	455,3	45,10	
6,5	161,1	163,0	661,1	615,7	498,1	452,8	45,32	
7,0	164,0	166,1	662,0	616,3	495,9	450,4	45,51	
7,5	166,8	168,9	662,8	616,9	493,9	448,2	45,67	
8,0	169,5	171,7	663,5	617,5	491,8	446,0	45,86	
8,5	172,0	174,3	664,2	618,0	489,9	443,9	46,02	
9,0	174,4	176,8	664,9	618,5	488,1	441,9	46,17	
9,5	176,7	179,2	665,5	619,0	486,3	440,0	46,30	
10,0	178,9	181,5	666,1	619,4	484,6	438,2	46,43	
11,0	183,1	185,8	667,1	620,2	481,3	434,6	46,67	
12,0	186,9	189,9	668,1	620,9	478,2	431,3	46,88	
13,0	190,6	193,7	668,9	621,6	475,3	428,2	47,06	
14,0	194,0	197,3	669,7	622,2	472,5	425,2	47,26	
15,0	197,2	200,7	670,5	622,7	469,8	422,4	47,43	
16,0	200,3	203,9	671,2	623,2	467,3	419,7	47,58	
18,0	206,1	210,0	672,4	624,1	462,4	414,6	47,85	
20,0	211,3	215,5	673,4	624,9	457,9	409,8	48,08	

Таблица IV
Водяной насыщенный пар

1.	2.	3.	4.	5.	6.		7.	8.
Темпера- тура °C	Давление	Давлен.	Объем 1 кг пара	Удельн. вес пара	Энтродия		$s'' - s'$ =	$\frac{r}{T}$
t	$\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ P	в мм Нг	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ V	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ γ	Жидко-	Пара		
					-ти s'	s''		
0	0,0063	4,60	204,97	0,00488	0,0000	2,1783	2,1783	
5	0,0089	6,53	146,93	0,00681	0,0182	2,1479	2,1297	
10	0,0125	9,17	106,62	0,00938	0,0360	2,1188	2,0828	
15	0,0173	12,70	78,23	0,01278	0,0535	2,0909	2,0374	
20	0,0236	17,40	58,15	0,01720	0,0707	2,0643	1,9936	
25	0,0320	23,6	43,667	0,02290	0,0877	2,0389	1,9512	
30	0,0429	31,5	33,132	0,03018	0,1044	2,0146	1,9102	
35	0,0569	41,8	25,393	0,03938	0,1208	1,9912	1,8704	
40	0,0747	54,9	19,650	0,05089	0,1369	1,9688	1,8319	
45	0,0971	71,4	15,346	0,06516	0,1528	1,9474	1,7946	
50	0,125	92,0	12,091	0,08271	0,1685	1,9268	1,7583	
55	0,160	117,5	9,607	0,10409	0,1839	1,9070	1,7231	
60	0,202	148,8	7,695	0,12995	0,1991	1,8880	1,6889	
65	0,254	186,9	6,211	0,16100	0,2141	1,8697	1,6550	
70	0,317	233,1	5,050	0,19800	0,2289	1,8522	1,6233	
75	0,392	288,5	4,1353	0,2418	0,2435	1,8352	1,5917	
80	0,482	354,6	3,4085	0,2934	0,2579	1,8189	1,5610	
85	0,589	433,0	2,8272	0,3537	0,2721	1,8031	1,5310	
90	0,714	525,4	2,3592	0,4239	0,2861	1,7879	1,5018	
95	0,862	633,7	1,9797	0,5051	0,2999	1,7731	1,4732	
100	1,033	760	1,6702	0,5987	0,3136	1,7589	1,4453	
105	1,232	906	1,4166	0,7059	0,3271	1,7452	1,4181	
110	1,462	1075	1,2073	0,8283	0,3404	1,7319	1,3915	
115	1,726	1269	1,0338	0,9673	0,3536	1,7190	1,3654	
120	2,027	1491	0,8894	1,1243	0,3666	1,7064	1,3398	
125	2,371	1744	0,7681	1,3018	0,3795	1,6943	1,3148	
130	2,760	2030	0,6664	1,5005	0,3922	1,6824	1,2902	
135	3,200	2354	0,5800	1,7241	0,4048	1,6710	1,2662	
140	3,695	2718	0,5071	1,9719	0,4173	1,6599	1,2426	
145	4,248	3125	0,4450	2,2471	0,4296	1,6490	1,2194	
150	4,868	3581	0,3917	2,553	0,4418	1,6384	1,1966	
155	5,557	4088	0,3460	2,890	0,4538	1,6280	1,1742	
160	6,323	4651	0,3065	3,262	0,4658	1,6181	1,1523	
165	7,170	5274	0,2724	3,671	0,4776	1,6082	1,1300	
170	8,104	5961	0,2429	4,117	0,4893	1,5986	1,1093	
175	9,13	6717	0,2171	4,607	0,5009	1,5893	1,0884	
180	10,25	7546	0,1945	5,140	0,5124	1,5802	1,0678	
185	11,49	8453	0,1748	5,720	0,5238	1,5713	1,0475	
190	12,835	9442	0,1575	6,348	0,5351	1,5626	1,0275	
195	14,300	10519	0,1423	7,028	0,5463	1,5541	1,0078	
200	15,890	11688	0,1288	7,763	0,5574	1,5458	0,9884	

Водяной насыщенный пар Таблица V

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Темпе- ратура	Теплота		Табличн.	Энергия	Тепло- та	Внутр.	Внешняя
	Испарен.	Пара	разн.	пара	испарен.	теплота испарен.	теплота испарен.
t	q	r		u	$r - q$	$u - q =$ $= r$	$AP(v_2 - v_1) =$ $= \psi$
0	0	594,7		564,7	594,7	564,7	30,02
5	5,0	597,1		566,5	592,1	561,5	30,56
10	10,0	599,4	4,74	568,3	589,4	558,3	31,11
15	15,0	601,8		570,1	586,8	555,1	31,65
20	20,0	604,1	4,71	571,9	584,1	551,9	32,19
25	25,0	606,5		573,7	581,5	548,7	32,74
30	30,0	608,8	4,67	575,5	578,8	545,5	33,28
35	35,0	611,1		577,3	576,1	542,3	33,81
40	40,1	613,5	4,63	579,1	573,4	539,1	34,34
45	45,1	615,8		580,9	570,7	535,8	34,88
50	50,1	618,0	4,58	582,6	567,9	532,5	35,41
55	55,1	620,3		584,4	565,2	529,3	35,99
60	60,1	622,6	4,52	586,1	562,4	526,0	36,45
65	65,2	624,8		587,8	559,6	522,7	36,96
70	70,2	627,0	4,44	589,5	556,8	519,3	37,47
75	75,3	629,2		591,2	553,9	516,0	37,97
80	80,3	631,3	4,34	592,8	551,0	512,6	38,47
85	85,3	633,5		594,5	548,1	509,3	38,96
90	90,4	635,6	4,23	596,1	545,2	505,7	39,45
95	95,5	637,6		597,7	542,2	502,2	39,92
100	100,5	639,7	4,09	599,2	539,1	498,7	40,39
105	105,6	641,7		600,8	536,1	495,2	40,85
110	110,7	643,6	3,95	602,3	532,9	491,6	41,30
115	115,8	645,5		603,8	529,8	488,0	41,74
120	120,9	647,4	3,79	605,2	526,6	484,4	42,17
125	126,0	649,2		606,6	523,3	480,7	42,59
130	131,1	651,0	3,63	608,0	520,0	477,0	43,00
135	136,2	652,8		609,3	516,6	473,2	43,41
140	141,3	654,5	3,45	610,6	513,2	469,4	43,80
145	146,4	656,1		611,9	509,7	465,5	44,18
150	151,6	657,8	3,27	613,1	506,2	461,6	44,55
155	156,7	659,3		614,3	502,6	457,7	44,90
160	161,9	660,8	3,07	615,4	498,9	453,7	45,25
165	167,1	662,3		616,5	495,2	449,6	45,58
170	172,2	663,7	2,86	617,6	491,4	445,5	45,90
175	177,4	665,0		618,6	487,6	441,4	46,20
180	182,6	666,3	2,66	619,6	483,7	437,2	46,49
185	187,9	667,6		620,6	479,8	433,0	46,78
190	193,1	668,8	2,48	621,5	475,7	428,7	47,05
195	198,3	670,0		622,3	471,7	424,4	47,31
200	203,6	671,1	2,27	623,2	467,5	420,0	47,56

Таблица VI

t	χ	Z	ψ	t	χ	Z	ψ
0	0,075	8	0,021	225	0,0101	1,00	0,00159
5	0,071	7	0,020	230	0,0098	0,97	0,00152
10	0,067	7	0,018	235	0,0095	0,94	0,00146
15	0,063	6	0,017	240	0,0092	0,91	0,00139
20	0,059	6	0,016	245	0,0089	0,88	0,00134
25	0,056	6	0,015	250	0,0086	0,85	0,00128
30	0,053	5	0,014	255	0,0083	0,82	0,00123
35	0,050	5	0,013	260	0,0081	0,79	0,00118
40	0,048	5	0,012	265	0,0078	0,77	0,00113
45	0,045	5	0,011	270	0,0076	0,75	0,00109
50	0,043	4,3	0,0103	275	0,0074	0,72	0,00105
55	0,041	4,1	0,0097	280	0,0071	0,70	0,00101
60	0,039	3,9	0,0091	285	0,0069	0,68	0,00097
65	0,037	3,7	0,0085	290	0,0067	0,66	0,00093
70	0,035	3,5	0,0080	295	0,0065	0,64	0,00090
75	0,033	3,4	0,0075	300	0,0063	0,62	0,00086
80	0,032	3,2	0,0070	305	0,0062	0,60	0,00083
85	0,030	3,1	0,0066	310	0,0060	0,58	0,00080
90	0,029	2,9	0,0062	315	0,0058	0,57	0,00077
95	0,028	2,8	0,0059	320	0,0057	0,55	0,00074
100	0,0265	2,66	0,00554	325	0,0055	0,53	0,00072
105	0,0255	2,55	0,00524	330	0,0053	0,52	0,00069
110	0,0243	2,44	0,00494	335	0,0052	0,50	0,00067
115	0,0232	2,35	0,00468	340	0,0051	0,49	0,00064
120	0,0223	2,25	0,00442	345	0,0049	0,48	0,00062
125	0,0214	2,14	0,00418	350	0,0048	0,46	0,00060
130	0,0205	2,06	0,00397	355	0,0047	0,45	0,00058
135	0,0197	1,97	0,00376	360	0,0046	0,44	0,00056
140	0,0189	1,89	0,00357	365	0,0044	0,43	0,00054
145	0,0181	1,82	0,00339	370	0,0043	0,41	0,00052
150	0,0174	1,75	0,00321	375	0,0042	0,40	0,00051
155	0,0168	1,68	0,00306	380	0,0041	0,39	0,00049
160	0,0161	1,61	0,00291	385	0,0040	0,38	0,00047
165	0,0155	1,55	0,00277	390	0,0039	0,37	0,00046
170	0,0149	1,49	0,00263	395	0,0038	0,36	0,00044
175	0,0144	1,44	0,00251	400	0,0037	0,35	0,00043
180	0,0139	1,38	0,00239	405	0,0036	0,34	0,00042
185	0,0134	1,33	0,00228	410	0,0035	0,33	0,00040
190	0,0129	1,29	0,00217	415	0,0034	0,33	0,00039
195	0,0124	1,24	0,00208	420	0,0034	0,32	0,00038
200	0,0120	1,20	0,00198	425	0,0033	0,31	0,00037
205	0,0116	1,15	0,00189	430	0,0032	0,30	0,00036
210	0,0112	1,11	0,00181	435	0,0031	0,29	0,00035
215	0,0108	1,08	0,00173	440	0,0031	0,29	0,00034
220	0,0105	1,04	0,00166	445	0,0030	0,28	0,00033
225	0,0101	1,00	0,00159	450	0,0029	0,27	0,00032

Диаграмма III

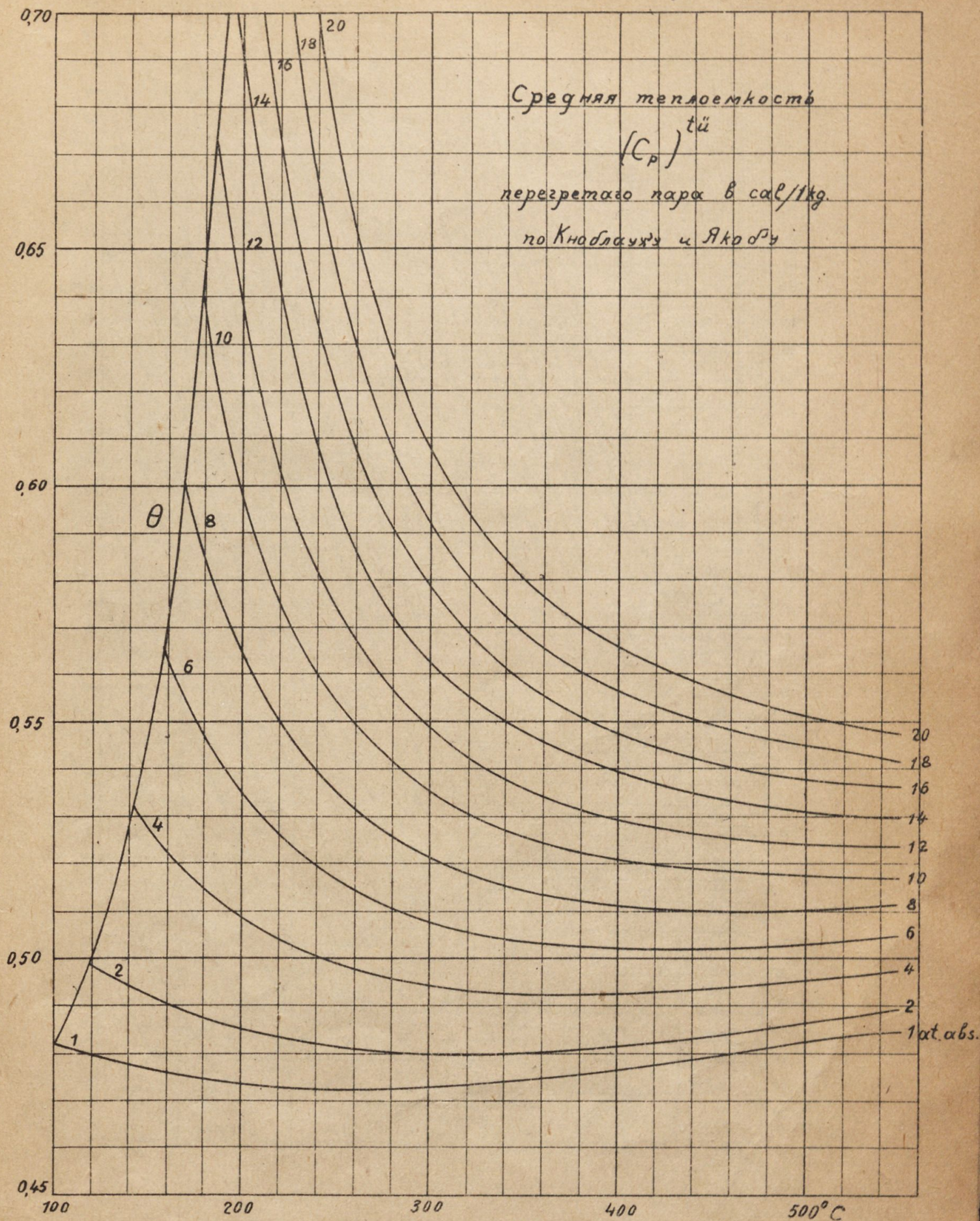


Диаграмма IV

Энтропийная таблица (TS) для насыщенного и перегретого пара по Шюле

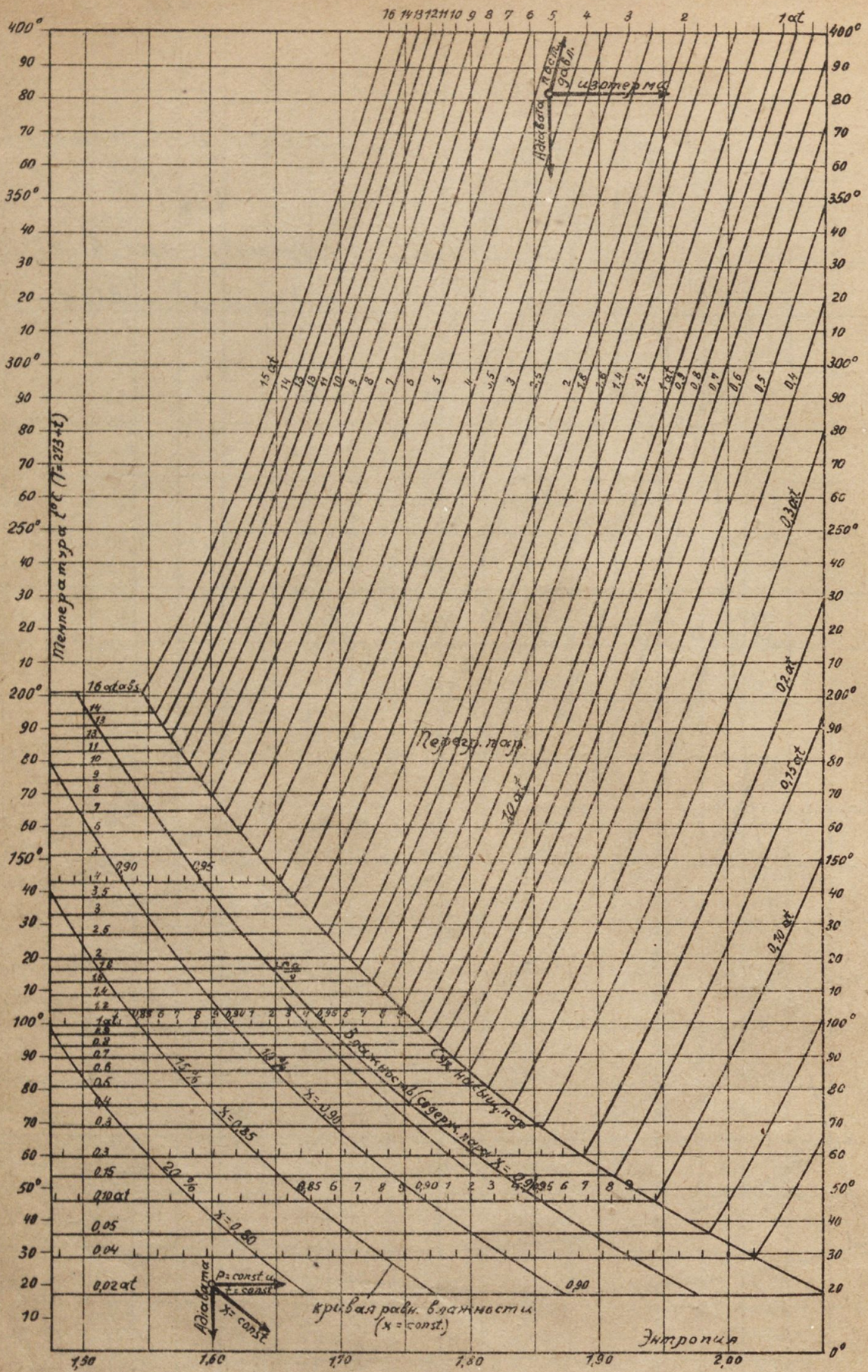


Диаграмма V.

Диаграмма T-S для паров воды по Шюле

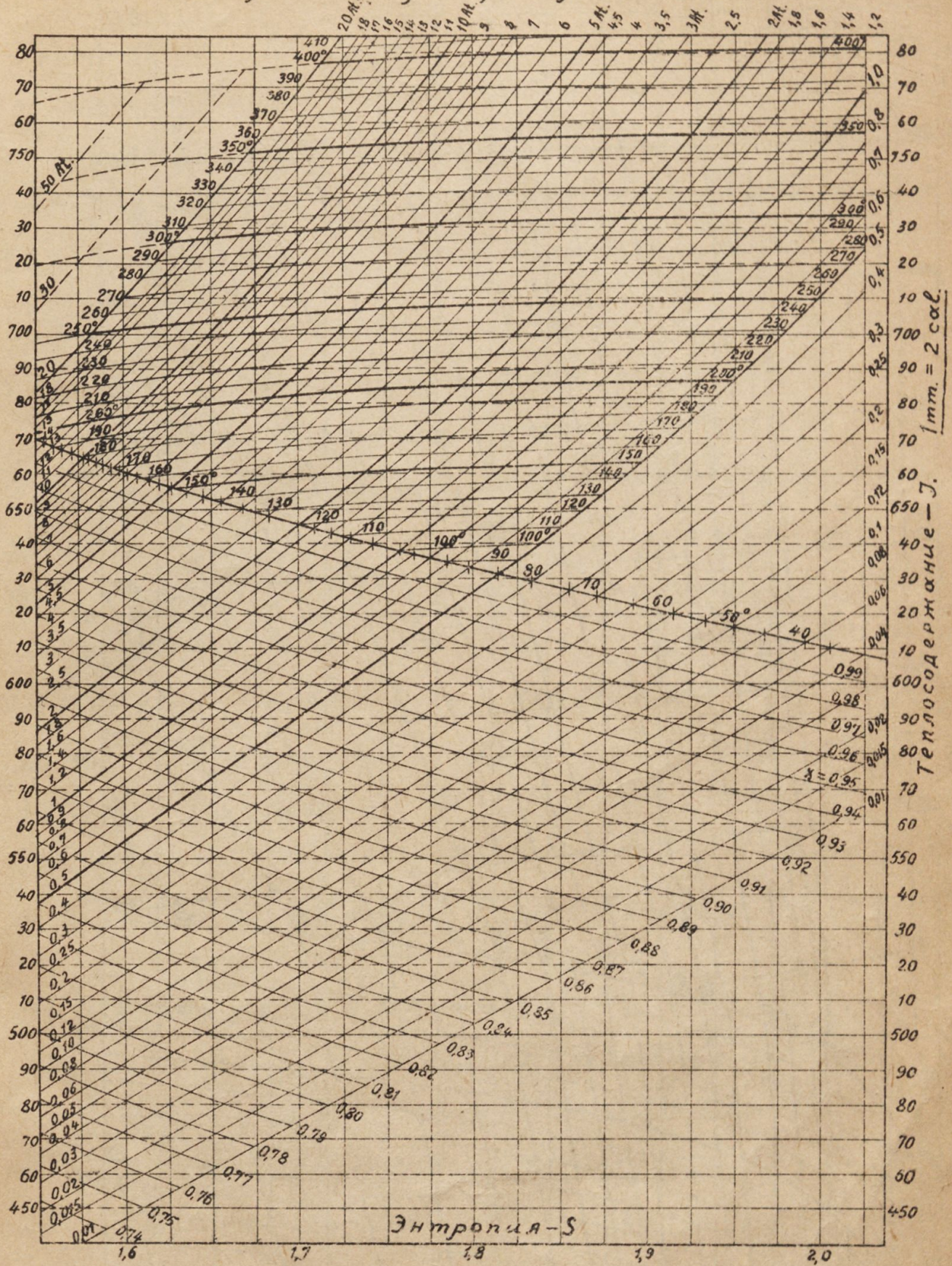
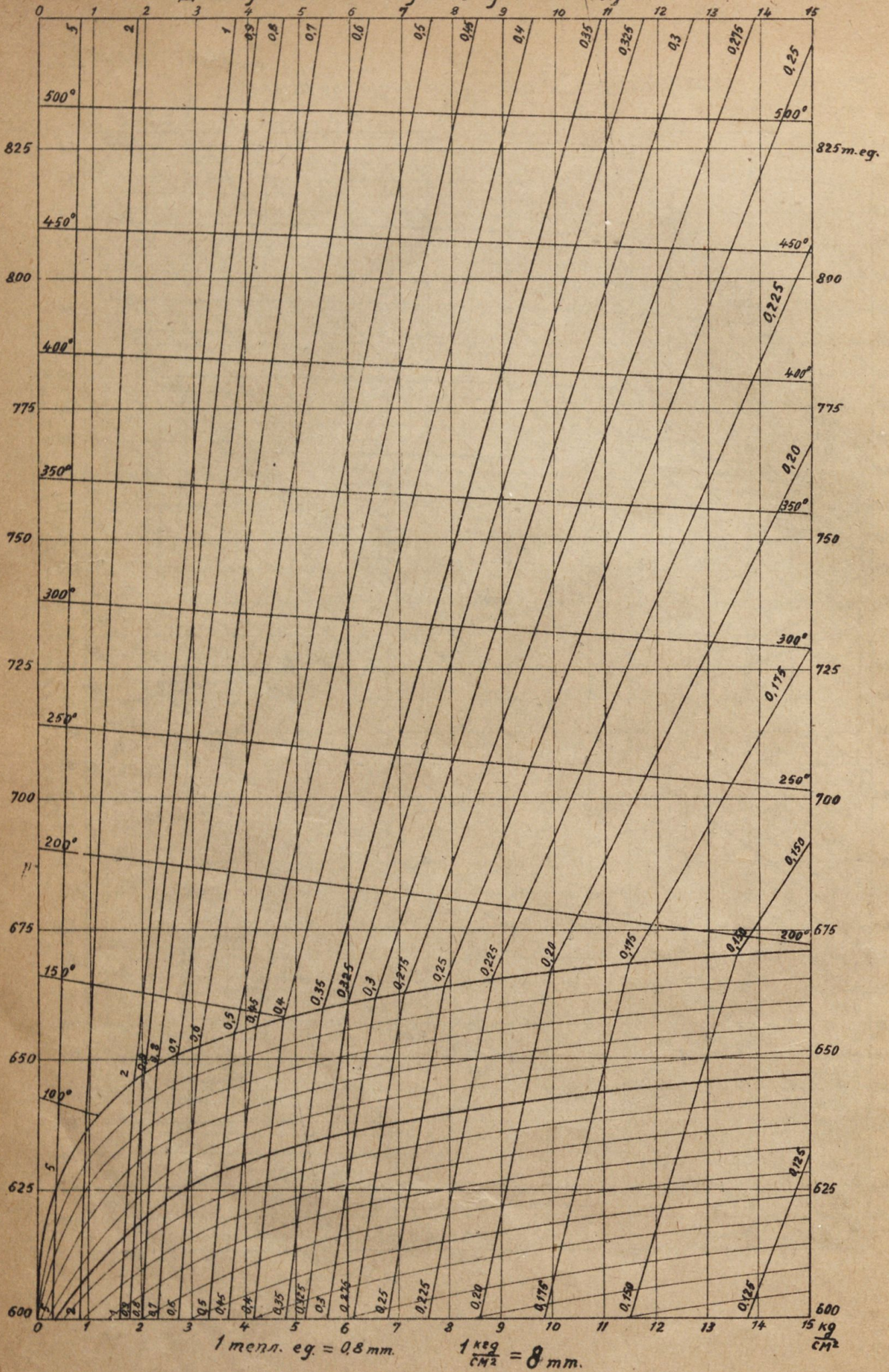


Диаграмма J - P для водяного пара. Диаграмма VI



Ответы и решения.

1. 25° . 2. -4° . 3. $-17,7$. 4. $0,253$. 5. $26,6$. 6. $-459,4$. 7. $19,1$. 8. -50° .

9. $0,00000694$. 10. $3,95$. 11. $\gamma = 0,37 \frac{t_2 - t_1}{CO_2}$. 12. 332° . 13. $1,45\%$. 14. $\frac{1}{2}\%$.

15. Приведем показ. баром. к 0° получим $741,8 \text{ мм Hg}$ или $\frac{741,8}{735,6} = 1,01 \text{ ат.}$

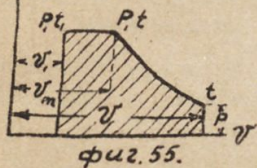
Абсолютн. давл. будет $8 + 1,01 = 9,01 \text{ Ат.}$ 16. Абсолютн. давл. будет $740 - 530 =$

$= 210 \text{ мм Hg}$ или $\frac{210}{735,6} = 0,285 \text{ Ат.}$ 17. $\sim 114 \frac{\text{фунт.}}{\text{на } 1''^2}$. 18. $4,02 \frac{\text{фунт.}}{\text{на } 1''^2}$.

19. Разрежение будет равно $[H + \frac{h}{13,6}]$ или $565,4 \text{ мм Hg}$. или абс. давл. $= 0,218 \text{ Ат.}$

20. $9,75 \text{ мм.}$ 21. $0,98 \text{ Ат.}$ 22. Вакуум будет $97,2\%$ и $94,8\%$.

23. Для 1 случая (по изобаре и изотерме) При расши-
рении от объема V до V_m по закону Г.Л. имеем



$\frac{V_m}{V_1} = \frac{T}{T_1}$ (1), при дальнейшем расширении

(по изотерме) по закону Б.М. имеем $pV = p_1 V_m$ (2). Подставляя

V_m из ур-ия (1) во (2) получим $\frac{pV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \text{const} = R$. для 1 кг газа.

24. $\gamma = \frac{1}{\gamma}$ след. $\frac{p}{\gamma} = RT$; $p = 10333 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ $\gamma_{\text{сух. возд.}} = 1,293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ отсюда

$R = \frac{10333}{1,293 \cdot 273} = 29,27$. 25. 849 раз. 27. $1,03 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 28. Абс. давл.

вначале $\frac{620}{735,6} + 1 = 1,84 \text{ Ат.}$ - в конце $0,614 \text{ Ат.}$; $0,840 - 614 = 0,226 \text{ ат.}$

29. $1,16$. 30. $1,14 \text{ раз.}$ 31. $82,82 \text{ раз.}$ 32. $1,126 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 33. 15 кг.

34. 71 кг. 35. $0,2025 \text{ кг.}$ 36. $1,65 \text{ кг.}$ 37. $\sim 1,963 \text{ ат.}$

38. 58790 lit. 39. ~ 28 . 40. $\sim 16 \text{ мин.}$ 40 сек. 41. $\mu(C_2H_2) =$

$= 12 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 26$; $R = \frac{848,5}{26} = 32,5$; $\gamma = 5,13 \text{ кг.}$ 42. $\sim 8 \text{ м}^3$.

43. $161,8 \text{ мм Hg}$ для (O_2) и $598,2 \text{ мм Hg}$ для (N_2). 44. $R_m = 31,4$;

$p_{\text{возд.}} = 0,888 \text{ ат}$ и $p_{\text{св.г.}} = 0,112 \text{ ат.}$ 45. R не насыщ. пар $= 47$ и

$p = \frac{0,005 \cdot 47}{1,293 \cdot 27} = 0,08$ или $6,08 \text{ мм Hg}$. 46. $z(O_2) = 0,21$ и $z(N_2) = 0,79$.

47. $g(CO_2) = 17,3\%$; $g(O_2) = 6,3\%$; $g(N_2) = 76,4\%$; $\mu_m = 30,2$ и $\gamma = 1,22 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

48. $\mu_m = 0,18 \cdot 2 + 0,24 \cdot 28 + 0,06 \cdot 44 + 0,52 \cdot 28 = 24,08$; $g = \frac{z \cdot \mu_i}{\sum z \cdot \mu_i} = 0,015$;

$g(CO) = 0,28$; $g(CO_2) = 0,11$; $g(N_2) = 0,605$; $R_m = 848,5$. $\sum (\frac{g}{\mu_i}) = 46,5$.

49. $R_m = \frac{1}{16} 72,8 + \frac{5}{16} 29,26 = 32$; $V = \frac{32 \cdot 290}{12000} = 0,77 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $\gamma = \frac{1}{V} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

50. $H_2 = 48,5\%$; $CH_4 = 35\%$; $C_n H_{2n} = 4,56\%$; $CO = 7,18\%$; $CO_2 = 1,82\%$;

$O_2 = 0,25\%$ γ при 0° и $760 \text{ мм Hg} = 0,515 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $R = 73,5$.

51. $H_2 = 0,5\%$; $CH_4 = 1,2\%$; $CO = 29\%$; $CO_2 = 7,8\%$; $N_2 = 61,5\%$; $\gamma = 1,2 \frac{кг}{м^3}$; $R = 31,6$.
53. $R_m = 0,02 \cdot 46,96 + 29,27 \cdot 0,98 = 29,64$; $\gamma = \frac{10000}{29,64 \cdot 293} = 1,14 \frac{кг}{м^3}$; $\nu = 0,88 \frac{м^3}{кг}$.
55. $P_{2,5} = 0,5(5 + 1,033) + 2(1,0333)$; $P = 2,03$ ат. абс. или 1,03 по манометру;
 $t = -1,5^\circ C$. 56. Вес воздуха в смеси $G = \frac{750 \cdot 15 \cdot 10000}{735,6 \cdot 2927 \cdot 298} \approx 18$ кг. следоват.
- $g_{(C_6H_6)} = \frac{1}{19}$; $g_g = \frac{18}{19}$ и $z_{(C_6H_6)} = 0,024$; $z_g = 0,976$ для определен. остальных величин см. ф-лы вначале отдела. 57. При одинаковых давлениях перед смешением имеем $T = \frac{\frac{\nu_1 + \nu_2}{T_1 + T_2}}{1 + \frac{\nu_2}{\nu_1}} = T_1 \frac{1 + \frac{\nu_2}{T_1}}{1 + \frac{\nu_2}{T_1} (\frac{T_1}{T_2})}$ след. $550 + 273 =$
 $= (1000 + 273) \frac{1 + \frac{\nu_2}{T_1}}{1 + \frac{\nu_2}{T_1} (\frac{1000 + 273}{550 + 273})}$ откуда $\frac{\nu_2}{\nu_1} = 0,185$, т.е. по объему нужно прибавить воздуха 0,185 от объема горючих газов.
58. $P(0,12 + 0,8) = 0,8 \cdot 0,12 + 3 \cdot 0,7$ откуда $P = 2,196$ ат. или падение давления $3 - 2,2 = 0,8$ ат. 60. При нагревании 1 кг на 1° разница $(C_p - C_v)$ уходит на работу расширения, которая равна для 1 кг на $1^\circ C$ характ. пост. R , а так как 1 кг.т. работы соотв. A сдв. след. $A = \frac{C_p - C_v}{R}$; $R = \frac{848,5}{M}$; $A = \frac{M(C_p - C_v)}{848,5}$ для двухатомных газов имеем $M C_v = 4,625 + 0,00106 T$ и $M C_p = 6,615 + 0,00106 T$ отсюда $A = \frac{6,615 - 4,625}{848,5} = \frac{1}{427}$. 62. $Q = G C_v (T_2 - T_1)$; $G = \frac{10000 \cdot 0,5}{29,27 \cdot 290} = 0,59$ кг.
 $Q = 0,59 \cdot 0,16 (420 - 290) \approx 12,3$ сдв. 63. 1 кг смеси выделяет тепла $\frac{500}{1,28} \approx 391$ сдв. Ввиду увеличения теплоемкости с температурой, повышение T_2 см. диагр. I и P_2 зависят от T_1 и P_1
- | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|---------------------|-------------------|----|----|----|---------|
| так при $T_1 = 373$ | 473 | 573 | 773 | $^\circ \text{abs}$ | при $P_1 = 1$ | 3 | 5 | 10 | ат. абс |
| диаг. I дает $T_2 \approx 1890$ | 1970 | 2040 | 2180 | " | $P_2 \approx 5,8$ | 15 | 25 | 50 | " " |
64. Для нагрев. 1 кг. треб. $(60 - 15) C_p = 45 \cdot 0,238 = 10,7$ сдв., γ воздуха при 60° и 760 мм Нг $= 1,07 \frac{кг}{м^3}$ т.ч. воздуху необходимо $10,7 \cdot 1,07 \cdot 1000 = 11500$ сдв.
65. При охлажден. на 20° 1 кг воздуха отдает $(60 - 20) 0,238 \approx 9,5$ сдв., а весь воздух отдает $1070 \cdot 9,5 = 10165$ сдв., $\eta = 100 \frac{10165}{11500} \approx 88\%$.
66. $\frac{T_2}{973} = \frac{2,5}{1}$; $T_2 = 2430^\circ \text{abs}$. или $t_2 = 2157^\circ C$ при повышении темпер. от 700° до 2157° по диагр. I для нефти сообщено $490 \frac{\text{сдв.}}{кг}$, тогда $L = R(T_2 - T_1) = 3 \cdot 1457 = 42800 \frac{кг.т.}{кг}$. 67. $t_2 = 591^\circ C$. 68. смотри отдел на смеси газов различн. давлений и температур при $C = \text{const.}$

69. При смешении получаем $Q_1 + Q_2 = U_1 + U_2 + A(L + L_2)$ Внешняя раб. $A(L + L_2) = 0$; при процессе в изолированной системе $Q_1 = -Q_2$ следов. $Q_1 + Q_2 = 0$ и $U_1 + U_2 = 0$ или $\int_{T_1}^{T_m} C_v dT - \int_{T_m}^{T_2} C_v dT = 0$; $C_v = \alpha + \beta T$ где α и β суть функции газа; тогда получаем $\int_{T_1}^{T_m} (\alpha + \beta T) dT - \int_{T_m}^{T_2} (\alpha + \beta T) dT = 0$ интегрируя это выражение получаем ур-ие $\alpha(T_m - T_1) + \frac{\beta}{2}(T_m^2 - T_1^2) - \alpha(T_m - T_2) - \frac{\beta}{2}(T_2^2 - T_m^2) = 0$ откуда $T_m = \sqrt{\frac{1}{2}(T_2^2 - T_1^2) - \frac{\alpha}{\beta}(T_2 - T_1)}$ и наконец имеем: $G_m = G_1 + G_2$; $V_m = V_1 + V_2$ $P_m V_m = G_m R_m T_m$, из последнего ур-ия определяем P_m , т.к. R_m для соотв. газа известна. 70. (Изотерм. сж.): Объемы возд. в нач. при $30^\circ\text{C} = 0,887 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ — в конце $v_2 = \frac{1}{10} 0,887 = 0,0887 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$. Работа сж. $L_1 = 10000 \cdot 0,887 \ln \frac{1}{10} = -20424 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$. (Адиаб. сж.): Конечн. объем $v_2 = 0,173 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$. раб. сж. $L_2 = \frac{1}{\kappa - 1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) = -20560 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$ конечн. температура $T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} = 592^\circ$ или $t_2 = 319^\circ\text{C}$. 71. Конечн. давл. будет $P_2 = 10 \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{1}{1,41}} = 0,39 \text{ ат}$. Раб. расширения $\frac{1}{\kappa - 1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) = \frac{1}{0,41} (10 \cdot 0,887 - 0,39 \cdot 0,887) 10000 = 13197 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$; конечная температ. будет -153°C . 72. $P_2 = 8,295 \text{ ат}$ $t_2 = 322^\circ\text{C}$. 74. $g_0 \sim 9,13 \text{ ат}$ (по манометру). 75. $v_2 = 6,36\% v_1$; $P_2 = 42,8 \text{ ат}$. 79. $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}$; $\frac{298}{218} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1,4 - 1}{1,4}} = P_1^{0,286}$; $P_1 = \sqrt[0,286]{298} = 3,4 \text{ ат}$; $L = \frac{C_v}{\Delta} (T_1 - T_2)$; $C_v = 0,2$; $L = 427 \cdot 0,2 (298 - 218) = 683 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$. 85. $T^{C_v} v^{AR} = \text{const}$. 87. $T \cdot P^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = \text{const}$. 89. Если бы адиабота пересеклась с изотермой в двух точках, то мы при двух источниках тепла, имеющих одинаков. темп. могли бы осуществ. раб. цикл. 94. Количес. тепла получ. водой за 5 час. $Q = 7300(50 - 11) \cdot 1 = 284700 \text{ с.л.}$ Количес. тепла котор. дает машина $Q_1 = \frac{100 \cdot 75 \cdot 3600 \cdot 5}{427} \text{ с.л.}$; $\frac{Q_1 - Q}{Q} \cdot 100 = 11\%$. 95. Колич. тепла получ. маховиком за 20 мин. $Q = 500 \cdot 0,13 \cdot 80 = 5200 \text{ с.л.}$ работа $L = Q \frac{1}{\eta} (1 + 10\%) = 5200 \cdot 427 \cdot 1,1$ мощность $N = \frac{5200 \cdot 427 \cdot 1,1}{20 \cdot 60 \cdot 75} = 27 \text{ л.с.}$ 96. $Q = U + AL = G c \Delta t + \frac{1}{427} P \lambda$; $\lambda = \alpha \cdot 100 = 0,001 \text{ м}$; $G = 7,8 \cdot 10 = 78 \text{ кг}$; $Q = 78 \cdot 0,11 \cdot 100 + \frac{1}{427} \cdot 1000 \cdot 0,001 = \frac{858}{\text{м}} + \frac{0,0023}{\text{л.с.}}$ видно, что внутренняя энергия во много раз превосходит внешнюю работу. 97. При изотерм. сж. $L = 2,303(4 + 1,0333) 10000 \lg \frac{4 + 1,033}{1,033} = 79712 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^3}$; $N = \frac{79712 \cdot 50}{270000} = 14,75 \text{ л.с.}$; отвод. в час тепла $\frac{79712 \cdot 50}{427} = 9330 \text{ с.л.}$

При адиабат. сжат. $L = 3,44 P \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] = 3,44 (4 + 1,0333) 10000 \left[\left(\frac{5,033}{1,0333} \right)^{\frac{0,41}{1,41}} - 1 \right] =$
 $= 101300 \frac{\text{кг.м}}{\text{м}^3}$; $N = \frac{101300 \cdot 50}{270000} = 18,75 \text{ л.с.}$ При политр. сж. $L = \frac{m}{m-1} P \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] =$
 $= \frac{1,22}{0,22} 50330 \left[\left(\frac{5,033}{1,0333} \right)^{\frac{0,22}{1,22}} - 1 \right] = 92000 \frac{\text{кг.м}}{\text{м}^3}$ или $N = 17,05 \text{ л.с.}$ 98. L при $(m=1,3) =$
 $= 25400 \frac{\text{кг.м}}{\text{кг}}$; L_2 при $(m=1,2) = 23600 \frac{\text{кг.м}}{\text{кг}}$; $\Delta L = L_1 - L_2 = 1800 \frac{\text{кг.м}}{\text{кг}} \sim 7,6\%$;
 $1800 \cdot 200 \cdot 20 = 7200000 \frac{\text{кг.м}}{\text{кг}}$ в сутки; в час $\frac{7200000}{20} = 360000 \frac{\text{кг.м}}{\text{кг}}$ или $\frac{360000}{3600,75} = 1,33 \text{ л.с. в час.}$

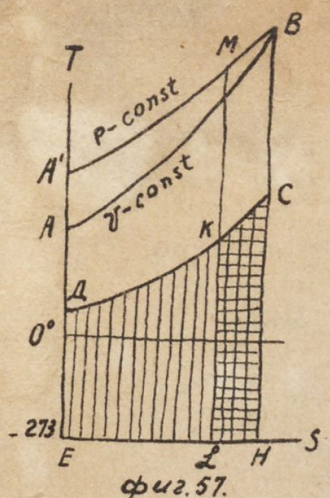
Годичная экономия $1,33 \cdot 20 \cdot 280 = 7450 \text{ л.с.}$; $\eta_3 = \frac{632}{100005}$ (смотри отд. эконом. коэф.)
отсюда $\eta = \frac{632}{0,08 \cdot 10000} = 0,79 \frac{\text{кг}}{\text{з.с.ч.}}$, в год экономия нефти $= 0,79 \cdot 7450 = 5900 \text{ кг} \sim$
 $360 \text{ пудов, в рублях } 360 \cdot 30 = 108000 \text{ рубл.}$ 101. $L = 17,64 \text{ кг.м.}$ 102. $L_1 = 75,16$;
 $N = 8 \text{ л.с.}$ 103. $PV = RT$; $PdV + VdP = RdT$, отсюда $dT = \frac{1}{R} (PdV + VdP)$; $dQ =$
 $= \frac{C_V}{R} (PdV + VdP) + APdV$; $\frac{dQ}{A} = \frac{1}{\kappa-1} VdP + \frac{\kappa}{\kappa-1} PdV$ и $\frac{1}{A} \frac{dQ}{dV} = \frac{V}{\kappa-1} \left(\frac{dP}{dV} + \kappa \frac{P}{V} \right)$.

Если при возраст. объеме растет и давление (dP и dV положительны),
то при этом происходит всегда сообщ. тепла уч. 1. Если давл.
падает вместе с уменьшен. объема при этом будет отвод
тепла т.к. dV отриц. Если давл. падает, а объем увелич.

уч. 3, то газ будет сообщать или отдавать тепло судя по тому, будет ли по абс.
величине $\frac{dP}{dV} \leq \kappa \frac{P}{V}$ т.к. $\frac{dP}{dV} = \frac{P}{V}$, то если $\frac{V}{S} < \kappa$, то $(dQ +)$ и $\frac{V}{S} > \kappa$, то
 $(dQ -)$ т.е. если отношен. абсциссы V к подкасательн. S меньше „ κ “, то

при расширении имеет место сообщение тепла, а если $V > S$, то отня-
тие при сжатии наоборот. 106. $PV^m = \text{const.}$; $P^{\frac{1}{m}} V = \text{const.}$; $V = \frac{\text{const}}{P^{\frac{1}{m}}}$ при $m \neq \infty$
 $V = \frac{\text{const}}{P^0} = \text{const.}$ 107. $\sim 10\%$. 108. $1,5(0,5 + 1) = \frac{5RT_1}{\kappa-1} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = \frac{PV}{\kappa-1} \left(\frac{T_2}{288} - 1 \right)$;
 $V \sim 0,000038 \text{ м}^3$; имеем $T_2 \cong 520^\circ$ или $t = 247^\circ \text{C.}$

111. 1. 114. [Примеч. Рекоменд. при решен. задач с №114 по №118 на диагр. Π налож. восков. прозр. бум,
на котор. производ. вычерчиван.] На диагр. Π наход. точ. „ α “ при пересеч. горизонт. от $100^\circ \text{C} (V_0)$,
проводим вертикаль „ αn “ до пересеч. с линией $\sim \frac{1}{16} V_0$; $t = 780^\circ$. Для определен. по-
вышен. давл. проводим горизонт. от 100° до пересеч. с P_0 , затем проводим вертик.
до 780° точка „ T “ и находим что $P \cong 44 P_0$. 115. Пусть температ. св.г. будет 1700° , на-
ходим точку „ g “ бедем вертикаль gh до пересеч. с $3,5 V$. наход. $t \sim 1080^\circ$. Для опред.
паден. давл. наход. точку „ i “ (пересеч. 1700° и P_0), затем проводим горизонт. „ hk “ и верт.
„ iK “ точка „ K “ даст паден. давл. $\cong \frac{1}{5} P$. 121. Потеря тепла в цикле Отто эквивал.
площади ДСЕН фиг. 57. Для дизеля раб. с тем же наивысшим давл., проведем



через точку „В“ изобразу и найдем на ней точку „М“ т.ч. площ. под А'М была равна площади под „АВ“, таким образом потеря тепла для ц. Дизеля будет менее на площадку КСЛН. 122. (табл. II) 112°

123. 1 м³ сухого пара при $7 + 1,033 = 8,033$ Ат. абс. весит по таблице II $4,068 + 0,239 \frac{0,033}{0,5} = 4,084$ кг., при $x = 1 - 0,12 = 0,88$ вес 1 м³ вл. пара будет $\frac{4,084}{0,88} = 4,64$ кг.; 10 м³ весят 46,4 кг. 124. 17,13 см² и 1012 см².

125. 583650 с.к.в. 126. 670,5 с.к.в. 128. 3,6%. 129. 177 кг. 130. Перегр.

= 171,1°, сред. теплоемкость по диагр. III = 0,522 (от 350° проводим вертикаль до пересеч. с $P=10$, слева по ординате находим $(c_p)_m$); $0,522 \cdot 171,1 = 89,4$ с.к.в.;

$\lambda'' = 661,1 + 89,4 = 750,5$ с.к.в.; на $\frac{89,4 \cdot 100}{661,1} = 13,4\%$ больше. 131. Объем перегрет.

пара определяем по ур-ию стр. 27 (внизу) или проще по ТР диагр.

VI, а насыщ. по таблицам

(Пользов. ТР диагр. напр. для

опред. v при 13 Ат и 350°) от 13 Атм.

для P	1	4	8	13
» v	2,918	0,717	0,351	0,210
» v_g	1,722	0,471	0,246	0,156

проводим вертикаль до пересечения с линией 350° интерполируем и получаем объем $v = 0,210 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$.

135. Находим на ТР диагр. точку соотв. 380° и 13 Ат и идем по линии неизмен. объема, до линии 150°, затем проводим вертикаль вниз и определяем $P = 9,52$ Ат.

137. В начальном состоянии удельный объем сухого пара $(v_g)_0 = 0,1993 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$

в конечном, соответственно температуре в 60°, $v_g = 7,695$. Отсюда

получается пропорция пара в конце $x = x_0 \frac{0,1993}{7,695} = 0,0259$. Следова-

тельно, пар содержит по весу $100 - 2,59 = 97,41\%$ жидкости. Его дав-

ление по таблицам для пара равно 0,202 Ат. абс. Энергия вначале для

1 кг. по таблицам была равна 619,4 с.к.в., в конце она равна $q + xP =$

$60,1 + 0,0259 \cdot 526 = 73,7$ с.к.в. Поэтому пар должен отдать $Q = 619,4 - 73,7 =$

$= 545,7 \frac{\text{с.к.в.}}{\text{кг}}$, Вес 1 м³ при 10 Ат есть 5,018 кг. Поэтому всего отдано одним

куб метром $5,018 \cdot 545,7 = 2732$ с.к.в. 138. По Т.С. диагр. V от точки пересеч.

кривых $P = 16$ Ат и $t = 280^\circ$ проводим вертикаль до $P = 0,08$ отрезок =

$= 103,5$ умножаем на масштаб получ. $207 \frac{\text{с.к.в.}}{\text{кг}}$, следов. $20000 \cdot 207 = 4140000$ с.к.в.

Паросодержание по диаграмме V $x = 0,82$.

139. Проводим на $T-S$ диагр. горизонталь от $P=18$ и $X=98$ до $P=5 \text{ Ат}$;

Находим $t=162^\circ$; $t_s=151^\circ$ таким образом перегрев 11°C .

141. $i_1 - i_2 = 172,8$; $157,2$; $140,5$ для насыщенного пара

$i_1 - i_2 = 207,5$ 194 $178,5$ для перегретого пара

142. $\eta_t = 0,258$; $0,237$; $0,214$ для насыщенного пара

„ $0,275$ $0,256$ $0,236$ для перегретого пара

161. По $T-S$ диагр. $i_1 - i_2 = 207,5$; $W = 91,53 \sqrt{207,5} = 1320 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$

162. Работа при истечении 1 кг пара из насадка со скоростью W , равна его живой силе $L = \frac{1W^2}{2g}$; Работа $L = \frac{h}{A}$ где h теплопаден.

$= i_1 - i_2$, A термический эквивалент работы, тогда $W = \sqrt{\frac{2gh}{A}} =$

$= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 427 h} = 91,53 \sqrt{h}$; h по диагр. $T-S = 31 \text{ ккал}$, $W = 509 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

170. 9,7%. 171. 24,8%. 172. 10%. 173. 25%. 174. $L_0 = 14,5 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$;

$L = \alpha L_0 = 18,2 \text{ кг}$. 175. $K(O_2) = 4CH_4 + 8H + \frac{4}{7}CO = 0,25 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$; $L_0 = 1,078$.

177. $K(O_2) = 4CH_4 + 8H + \frac{4}{7}CO + \frac{24}{7}C_nH_{2n} - O = 3,095 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$; $L_0 = 13,1 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$;

Сокращение объема $\frac{v_f}{v_0} = 0,975$. 179. по изотерме. 180. по изобаре.

181. Удельный вес пара $\gamma = 3,94$, секундный расход $G_{\text{сек}} = \frac{450}{3600} = 0,125 \text{ кг}$.

длина трубопровода $l = 50 \text{ м}$. Отсюда при $\beta = \frac{10,5}{10^8}$ получается

$d^5 = \frac{1,6 \cdot 10,5 \cdot 50 \cdot (0,125)^2}{0,2 \cdot 3,94 \cdot 10^8} = \frac{16,7}{10^8} \text{ м}^5$ или в сантиметрах 1670 см^5 ;

$d = 2,8 \text{ см} \approx 30 \text{ мм}$. 182. При одинаковых l и d падение давлен.

получается больше в отношении $\frac{G_{\text{сек}}^2}{\gamma}$. Для насыщенного

пара при 10 Ат - $\gamma = 5,02$. Падение давления увеличивается в

отношении $\left(\frac{600}{450}\right)^2 \cdot \frac{3,94}{5,02} = 1,396$. Поэтому $P_1 - P_2 = 0,2 \cdot 1,396 = 0,28 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

