

## Изслѣдованіе пневматическихъ молотковъ.

(По Мёллеру).

С. К. Конохова.

(Съ 1 табл.).

Въ послѣднее время въ технику заводовъ и фабрикъ получили широкое распространеніе пневматическія орудія небольшого типа: молотки, зубила, клепалки, подчеканки и т. д. Сравнительно легкія и удобныя въ обращеніи, они съ успѣхомъ, въ смыслѣ подручности и экономіи въ расходѣ концентрированной энергіи, выполняютъ многія работы, зачастую выполняемыя вручную, и потому не удивительно, что интересъ къ нимъ растетъ съ каждымъ днемъ. Можно безъ преувеличенія сказать, что не проходитъ мѣсяца безъ того, чтобы въ техническихъ журналахъ и патентныхъ книгахъ не появилось новаго типа, предназначеннаго для устраненія недостатковъ, присущихъ орудіямъ раньше появившимся и находящимся въ дѣлѣ.

Новыя пневматическія орудія въ основѣ своей имѣютъ много общаго съ перфораторами, примѣняемыми съ успѣхомъ въ горномъ дѣлѣ и строительномъ. Съ механической точки зрѣнія эти орудія интересны въ томъ отношеніи, что въ нихъ поршень движется подъ вліяніемъ не твердаго тѣла (въ моментъ перемѣны хода), каковымъ является напр. шатунъ въ поршневыхъ машинахъ, а упругая среда (въ частности сгущенный воздухъ). Правда, что пользованіе упругой средой въ качествѣ промежуточнаго звена въ кинематической цѣпи не является большой новинкой, такъ какъ молота паровые, воздушные, газовые построены именно на этомъ принципѣ, но все же мелкія пневматическія орудія имѣютъ свои специфическія особенности, которыя заставляютъ выдѣлить ихъ въ особую группу. Во—первыхъ, эти орудія болѣе деликатнаго строенія, во—вторыхъ, они совершаютъ весьма часто до 1500 ходовъ въ минуту, въ—третьихъ, они предназначены большей частью оперировать надъ тѣлами опредѣленнаго сопротивленія, каковыми являются желѣзо, сталь, мѣдь, и на площадкахъ съ опредѣленной величиной. Примѣнить къ нимъ методъ расчета молотовъ паровыхъ, воздушныхъ не приходится уже по одному

тому, что ковочныя орудія (молота) рассчитываются слишкомъ грубо. Такъ напр. площадь поршня въ паровыхъ молотахъ небольшого вѣса превышаетъ теоретическую иногда въ 5 разъ, а въ два—три раза явленіе совершенно обычное. Подробно касаться причинъ такого несовершеннаго расчета молотовъ не представляется особенной надобности, а вкратцѣ все сводится къ нижеслѣдующему: 1) упругость пара въ котлахъ не является величиной постоянной, 2) можетъ встрѣтиться надобность отковывать предметы нѣсколько большаго размѣра по формѣ и вѣсу, чѣмъ это предполагалось при расчетѣ молота, 3) часто бываетъ необходимымъ увеличить число ударовъ въ единицу времени и т. д. Въ мелкихъ пневматическихъ орудіяхъ такихъ отступленій дѣлать почти что не приходится, а потому расчетъ ихъ долженъ вестись болѣе точно, чтобы орудія работали экономично и оправдывали свое назначеніе.

Надъ изслѣдованіемъ пневматическихъ орудій работаютъ больше всего нѣмцы и французы. Относительно того, кому принадлежитъ право первенства, вопросъ остается открытымъ. Дѣло въ томъ, что докторская диссертация Мёллера и работа инженера Барилля появились почти что одновременно. Правда, что Меллеръ закончилъ свою работу, касающуюся изслѣдованія всего двухъ—трехъ видовъ пневматическихъ молотковъ, а Бариль, взявшій себѣ болѣе утомительную работу изслѣдовать и описать пневматическія орудія во всемъ объемѣ, еще до сихъ поръ продолжаетъ печатать свои труды въ „Revue de mecanique“. Методы изслѣдованій у нихъ разные, но выводы во многомъ сходны. Мы коснемся въ настоящей статьѣ лишь работы Мёллера, а работу Барилля, въ виду ея обширности и незаконченности, оставимъ въ сторонѣ.

Лучше всего и нагляднѣе получить картину процесса работы воздуха конечно при помощи индикаторной діаграммы. Но тутъ мы наталкиваемся на такое препятствіе: даже оптический индикаторъ О. Шульце, сконструированный для 1500 ходовъ, не можетъ дать надежныхъ результатовъ на основаніи слѣдующихъ соображеній. Объемъ воздуха, оперирующій за время одного хода, не великъ, а объемъ воздуха въ подводящихъ рукавахъ или, вѣрнѣе, самыхъ рукавовъ, довольно значителенъ. Наличіе этихъ рукавовъ, въ настоящее время прямо неизбежно, значительно увеличиваетъ вредное пространство. Въ особенности трудно устранимы подвижные, гибкіе шланги, ведущіе отъ молотка къ неподвижному индикатору.

Вотъ эти-то соображенія и побудили П. Мёллера избрать для изслѣдованія пневматическихъ молотковъ „графически-числовой методъ“.

Собственно говоря, это не одинъ методъ изслѣдованія, а два: графическій и числовой, методъ графическаго анализа и опытный. Въ основу работы положено изслѣдованіе слѣдующихъ вопросовъ: 1) изученіе характера измѣненія давленія внутри пневматическихъ орудій, 2) нахожденіе скоростей поршня и 3) нахожденіе доставляемой работы за ходъ въ килограммо метрахъ. Числовыя данныя, полученныя изъ опыта служатъ для провѣрки точности вычисленій по методу графическому. Такъ напр. на основаніи діаграммы можно найти расходъ воздуха, число ходовъ или ударовъ.

Эти же данныя можно получить и опытнымъ путемъ. Если есть достаточно хорошее совпаденіе результатовъ, значитъ графическій методъ изслѣдованія выбранъ удачно. Къ такого рода контролирующимъ сопоставленіямъ приходится прибѣгать довольно часто, причемъ весьма важно, чтобы изслѣдованія велись независимо и по возможности разными лицами, иначе увлеченіе выводами, полученными при одномъ методѣ изслѣдованія, можетъ повліять на характеръ выводовъ другого метода, тенденціозно направляя экспериментатора въ одномъ теченіи для полученія уже извѣстныхъ выводовъ. Профессоръ Жуге, одинъ изъ талантливѣйшихъ, на мой взглядъ, и оригинальнѣйшихъ термодинамиковъ нашего времени, великолѣпно воспользовался методомъ контроля для изслѣдованія баланса парового котла.

Одной изъ первыхъ задачъ при изученіи пневматическихъ молотковъ является выясненіе стараго и неправильнаго допущенія, что при началѣ впуска и началѣ выпуска рабочей среды (газа, воздуха, пара) въ рабочемъ цилиндрѣ происходитъ моментальное выравниваніе давленія. Такъ напримѣръ, при расчетѣ паровыхъ молотовъ принимаютъ согласно Гауэру, что послѣ соединенія верхней или нижней части цилиндра, наполненныхъ паромъ, съ атмосферой чрезъ буферные или какіе-либо другіе выпускные каналы моментально въ паровомъ пространствѣ молота устанавливается атмосферное давленіе. Когда вопросъ касается грубыхъ, приблизительныхъ расчетовъ, пожалуй, и нѣтъ смысла въ детальномъ изученіи обстоятельствъ движенія и явленій ихъ сопровождающихъ, но въ деликатныхъ орудіяхъ нашего времени точный учетъ явленій при проектированіи и расчетѣ является лучшей гарантіей успѣха машино-орудія въ работѣ.

Обратимъ вниманіе на то, что въ пневматическихъ молоткахъ, работающихъ при 6—7 атмосферахъ давленія въ подводящихъ рукавахъ, скорости воздуха очень велики, а отверстія для входа рабочаго

воздуха и для выхода отработавшаго изъ молотка очень малы. Вотъ эти скорости входа и выхода и обусловливаютъ степень выравниванія давленія. Нельзя поэтому довольствоваться на діаграммѣ проведеніемъ вертикали, обозначающей мгновенное выравниваніе давленія: выравниваніе давленія идетъ не скачкомъ, а по кривой. Итакъ, ближайшая задача рисуется въ такомъ видѣ: необходимо ввести въ кругъ изученія процесса работы въ пневматическихъ молоткахъ скорости притекающаго и выпускаемаго воздуха. Дальше уже можно говорить о направленіи кривой давленія, когда впускъ и выпускъ сопряжены со сжатіемъ и расширеніемъ. Нѣтъ особенной надобности пояснять, что здѣсь все время будетъ предполагаться оперированіе надъ сухимъ воздухомъ, какъ перманентнымъ газомъ.

Пусть мы имѣемъ цилиндръ съ поршнемъ, по одну сторону котораго находится воздухъ въ объемѣ  $V$  при давленіи  $p$ . Если поршень перейдетъ вправо въ бесконечно близкое положеніе, то объемъ воздуха измѣнится на  $dV$ . Такъ какъ лѣвая часть цилиндра находится въ сообщеніи во время движенія поршня съ воздушнымъ питающимъ орудіе резервуаромъ, то изъ послѣдняго, вслѣдствіе паденія давленія въ цилиндрѣ, перейдетъ въ цилиндръ новый объемъ воздухъ при давленіи  $p'$ . Итакъ, при перемѣщеніи поршня вправо на  $dS$  произойдетъ измѣненіе

$$\begin{aligned} V &\text{ въ } V + dV \\ p &\text{ въ } p + dp \end{aligned}$$

Когда вопросъ касается вытеканія воздуха въ объемѣ  $dV'$  при давленіи  $p'$ , то  $dV'$  нужно считать величиной отрицательной. Однако мы обратимъ вниманіе не на объемы, а на вѣса. Пользуясь общимъ уравненіемъ термодинамики  $pV = RT$ , напишемъ

$$(1) \quad \frac{(V + dV)(p + dp)}{R(T + dT)} = \frac{Vp}{RT} + \frac{p'dV'}{RT}$$

Но при наличности измѣненія состоянія воздуха по изотермѣ  $dT = 0$ . Тогда уравненіе (1) переписется въ болѣе простое.

$$(2) \quad (V + dV)(p + dp) = Vp + p'dV'$$

Или, пренебрегая бесконечно малыми второго порядка,

$$(3) \quad pdV + Vdp = p'dV'$$

$$(4) \quad \text{отсюда} \quad dp = \frac{p'dV' - pdV}{V}$$

Графически этотъ выводъ можно представить въ такомъ видѣ: извѣстно, что въ ортогональной системѣ геометрическомъ мѣстомъ одной

изъ вершинъ равновеликихъ прямоугольниковъ является равнобокая гипербола

$$X Y = C$$

Такъ мы и превратимъ каждый изъ членовъ уравненія (4) въ прямоугольникъ, одной стороной котораго является  $V$ . Методъ превращенія, хорошо извѣстный изъ элементарной геометріи, заключается въ слѣдующемъ: представимъ себѣ, что намъ нужно превратить прямоугольникъ  $a \times b$  въ прямоугольникъ  $C \times d = a \times b$ .

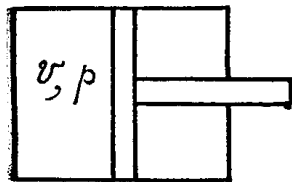
$$AD = a; \quad AB = b; \quad AH = d.$$

Откладываемъ отъ  $A$  вправо (черт. 2) по линіи  $AD$  отръзокъ  $AH$  равный  $d$ , причеъ  $AB = b$ ,  $AD = a$ , тогда  $AG$  будетъ равно  $c$ .

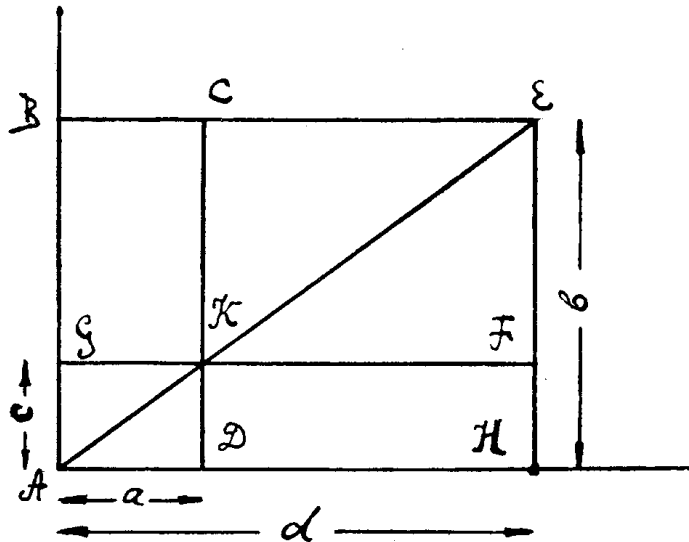
Въ нашемъ случаѣ поступаемъ такимъ образомъ. Чертимъ ортогональную систему координатъ  $XOY$  (черт. 3) и откладываемъ въ какомъ либо масштабѣ  $p - p' - dv$  и  $dV'$ . Тогда

$$0 - 3 = 1 - 9 = p; \quad 0 - 4 = 2 - 9 = p'; \quad 3 - 1 = 0 - 9 = V;$$

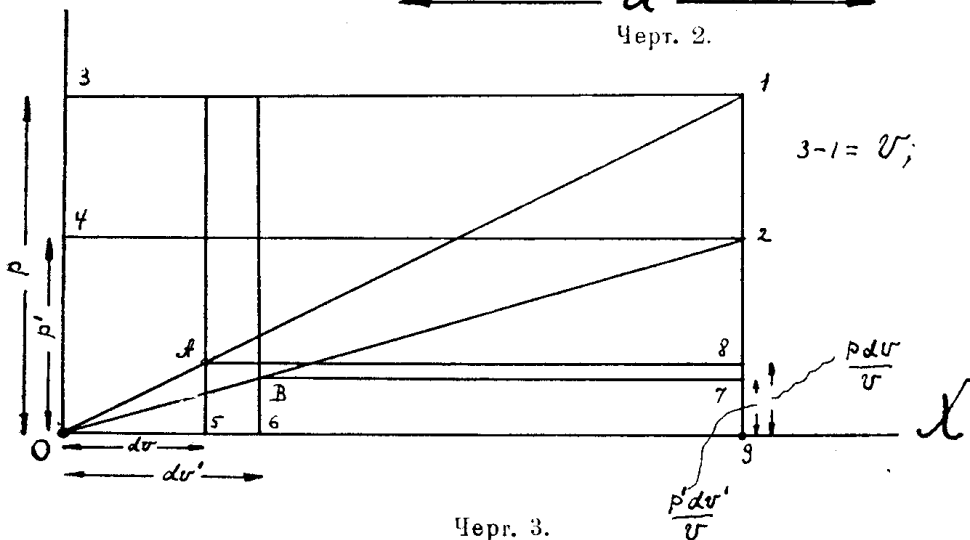
$$0 - 5 = dV; \quad 0 - 6 = dV'.$$



Черт. 1.



Черт. 2.



Черт. 3.

Не трудно видѣть, что

$$8 - 9 : dV = p : V \text{ или } 8 - 9 = \frac{p dV}{V} \text{ и } 7 - 9 = \frac{p' dV'}{V}$$

Значитъ, абсолютная величина  $dp$  изобразится графически отрезкомъ 7 - 8

$$7 - 8 = dp = \frac{p' dV'}{V} - \frac{p dV}{V}.$$

Далѣе интереснымъ является опредѣлить величину  $dV'$  притекающаго воздуха. А priori можно сказать, что это количество прямо пропорціонально поперечному сѣченію  $f$ , безконечно малому промежутку времени  $dt$ , въ продолженіе котораго поршень проходитъ путь  $dS = dV : F$  ( $F$  площадь поршенька) и скорости  $U$  во входномъ отверстіи. Итакъ,

$$dV' = f \cdot U \cdot dt \quad (5)$$

Для извѣстной полноты и ясности изучаемаго явленія, нужно помнить, что объемъ  $dV'$  измѣряется при давленіи  $p_a$  въ приемникѣ. При небольшой разницѣ въ давленіяхъ между  $p_e$  (питающее пространство) и  $p_a$  можно положить,  $p_a = p_o$  (давленіе въ плоскости наименьшаго сѣченія струи). Когда же разница между  $p_e$  и  $p_a$  велика, то

$$p_o = p_e \left( \frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}} \text{ или } p_e = p_o \left( \frac{n+1}{2} \right)^{\frac{n}{n-1}} \quad (6)$$

Послѣднія два выраженія представляютъ предположеніе или гипотезу Сень-Венана и Ванцеля, дающую основаніе для такихъ выводовъ: 1) скорость воздушной струи (въ нашемъ случаѣ) въ плоскости наименьшаго сѣченія равна скорости звука въ средѣ, состояніе которой тождественно съ состояніемъ упругой жидкости въ этой плоскости ( $p_o, V_o, T_o$ ); 2) количество вытекающей черезъ отверстіе газобразной жидкости не зависитъ отъ давленія  $p_a$  въ приемникѣ, а обусловливается только давленіемъ  $p_e$  въ сосудѣ источникѣ или питателѣ; 3) давленіе  $p_o$  имѣетъ значеніе, при которомъ функція, опредѣляющая количество вытекающей черезъ отверстіе жидкости, переходитъ черезъ максимумъ (См. Рерихъ. Теоретическое обоснованіе гипотезы С. Венана и Ванцеля). Опытное обоснованіе гипотезы С. Венана и Ванцеля фактъ давно извѣстный. Нѣтъ недостатка и въ теоретическихъ обоснованіяхъ, но лучше другихъ и успѣшнѣе въ смыслѣ глубины анализа выполнилъ задачу теоретическаго обоснованія интересующей насъ ги-

потезы К. Рерихъ. (Извѣстія С. Петерб. Политехнич. Института 1904).

Если отношеніе  $p_e : p_o$  не превышаетъ опредѣленнаго критическаго значенія, то количество воздуха, проходящее черезъ сопло въ единицу времени при давленіи  $p_o$  или  $p_e$ , имѣетъ одну и ту же наивысшую величину, даже если отношеніе давленій и продолжаетъ падать. Законъ непрерывности истеченія, выраженный равенствомъ

$$dV = f \cdot u \cdot dt \quad (7)$$

продолжаетъ сохранять силу, а измѣняются только  $dV$  и  $U$ , при чемъ  $dV$  измѣняется при давленіи въ приемникѣ. Итакъ, можно написать

$$dV'' = f' \cdot u' \cdot dt. \quad (8)$$

Величина  $U'$  имѣетъ нѣкоторое постоянное значеніе, отъ упругости не зависящее, а именно это будетъ скорость выхода воздуха изъ питателя въ промежуточную трубу, въ то время, какъ  $U$  была скоростью выхода воздуха изъ промежуточной трубы въ приемникъ. Пользуясь формулой Цейнера, можно найти скорость истеченія

$$U = 44,4 \sqrt{T \left[ 1 - \left( \frac{p_e}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} \quad (9)$$

Полагая  $t = 16^0$ , получимъ

$$U = 754,8 \sqrt{1 - \left( \frac{p_e}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}}} \quad (10)$$

Подъ  $n$  здѣсь подразумѣвается показатель истеченія, величину котораго даютъ опыты. Если насадки трубъ имѣютъ форму короткихъ цилиндровъ, то  $n = 1,286$ . Нѣсколько отличное отъ этого значенія даетъ Вейсбахъ, по которому  $n = 1,243 - 1,252$ . Такимъ образомъ, среднее значеніе для  $n$  можно принять

$$n_{cp} = \frac{1,286 + 1,243 + 1,252}{3} = 1,260 \quad (11)$$

Далѣе. Если принять во вниманіе нѣкоторое противодѣйствіе истеченію со стороны самой насадки, то придется показатель истеченія нѣсколько уменьшить  $n = 1,25$ . Для этого значенія критическое отношеніе давленій будетъ

$$p_o : p_e = \left( \frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}} = 0,555 \quad (12)$$

Въ томъ случаѣ, когда  $\frac{p_o}{p_e} \leq 0,555$ , скорость  $U$  принимаетъ максимальную величину

$$U_{max} = 754,8 \sqrt{\frac{n-1}{n+1}} = 252 \text{ mtr/sec.}$$

Для критическаго давленія характерно то, что вѣсь вытекающаго воздуха, будемъ ли мы его вычислять по формулѣ

$$dV' = f u dt$$

или по формулѣ

$$dV'' = f \cdot u' \cdot dt.$$

будетъ одинъ и тотъ же. Такимъ образомъ, при изотермическомъ измѣненіи будемъ имѣть

$$(13) \quad p_e dV' = p_o dV''$$

или

$$(14) \quad U_{max} p_e = U' \cdot p_o$$

значить

$$U' = U_{max} \frac{p_o}{p_e} = 252 \cdot 0,555 = 139,86 \text{ mtr/sec.}$$

Если каналы, по которымъ происходитъ теченіе воздуха, имѣютъ колѣна, то лучше для скоростей брать величины меньшія, а именно, ввести коэффициентъ пропорціональности  $\alpha = 0,9$

Обозначимъ скорость поршня въ данный моментъ черезъ  $V$ , а путь черезъ  $ds$ , тогда

$$(15) \quad dt = \frac{ds}{V}$$

Пусть масса поршня будетъ  $m$ , его площадь  $F$ , среднее давленіе  $p_m$ , а  $S$  пройденный путь. Законъ живыхъ силъ даетъ намъ право написать

$$(16) \quad \frac{m V^2}{2} = p_m F \cdot S; \quad V = \sqrt{\frac{2 p_m F S}{m}}$$

Такъ какъ среднее значеніе  $p_m$  можно получить изъ діаграммы, то величина скорости въ данный моментъ опредѣлится безъ труда. Здѣсь не учтено еще треніе поршня о стѣнки цилиндра. Обычно по-



ступаютъ такъ: уменьшаютъ или увеличиваютъ соответствующее давленіе, принимая коэффициентъ тренія = 0,15.

Въ послѣдующемъ нужно вычислить скорость для какого-либо положенія поршня и найти время  $dt$ , въ предположеніи, что на пути  $ds$  скорость постоянна. Послѣ этого найдется количество вытекающаго воздуха и опредѣлится графически давленіе  $p + dp$  для положенія поршня  $S + dS$ . Итакъ, въ діаграммѣ будетъ найдена точка  $S + ds$  ( $V + dV$ ), для которой скорость

$$V = \sqrt{2 p_m \frac{F(S + ds)}{m}} \quad (17)$$

Ходовые интервалы берутся въ 0,5 — 1 — 2 миллиметра, въ зависимости отъ характера измѣненія скорости.

Были сдѣланы попытки къ переходу отъ малыхъ интерваловъ къ дифференціальнымъ, чтобы представить аналитически кривую давленія, но полученное при этомъ дифференціальное уравненіе оказалось не поддающимся рѣшенію. Пришлось время подъема опредѣлить графически  $\Sigma dt = t$ .

Ислѣдованія П. Меллера касались прежде всего пневматическихъ молотковъ безъ распредѣлительнаго клапана системы Collet & Engelhardt. Какъ видно изъ чертежа 4, поршень имѣетъ уступы и шейку по срединѣ. Пространство между внутренней поверхностью цилиндра и поверхностью шейки и является распредѣлительной камерой. Входящій въ эту камеру сжатый воздухъ производитъ давленіе на кольцевую площадку и непрерывно толкаетъ поршень къ ручкѣ. Какъ только верхній кантъ выточки (шейки) откроетъ при движеніи соединительный каналъ, сжатый воздухъ устремляется въ заднюю часть цилиндра и производитъ давленіе на всю площадку поршня. Въ результатѣ наблюдается ходъ внизъ

Вычерчиванію діаграммы рабочаго процесса пневматическаго молотка предшествуетъ установленіе величины давленія сжатаго воздуха при входѣ въ распредѣлительную камеру. Сжатый воздухъ обыкновенно подводится къ молотку гибкимъ рукавомъ небольшого внутренняго діаметра. Отсюда понятно, что измѣрять давленіе въ рукавѣ не рационально: велики потери на треніе о стѣнки и сопротивленіе въ изгибахъ. Съ другой стороны, находить потери упругости воздуха предъ молоткомъ въ каждый данный моментъ прямо невозможно отъ большого числа колебаній. Проще поэтому остановиться на выясненіи путемъ опыта наибольшей и наименьшей потери упругости. Чтобы

выполнить эту задачу, берутъ гибкіе рукава разнаго діаметра и длины и соединяють ихъ съ молоткомъ. Манометрическія указанія въ самомъ рукавѣ и предъ входомъ въ молотокъ даютъ на этотъ счетъ довольно ясныя указанія. Но какъ только молотокъ начинаетъ работать, сейчасъ же начинается игра стрѣлки манометра, что около молотка. Хотя эти колебанія стрѣлки по циферблату и очень быстры, но все же простымъ глазомъ можно отличить конечныя положенія указателя. (Здѣсь цѣлесообразно было бы воспользоваться кинематографическими снимками). Вся бѣда, однако, въ томъ, что этимъ указаніямъ нельзя давать большого довѣрія. Вслѣдствіе быстрого хода стрѣлки, здѣсь большую роль играетъ движеніе по инерціи. Часто наблюдается, что указанія давленія стрѣлкой превышаютъ господствующее давленіе въ рукавѣ. Это превышеніе давленія и можно принять съ достаточной степенью точности за среднюю мѣру погрѣшности въ указаніяхъ манометра. Такимъ образомъ, если наивысшее давленіе по манометру будетъ  $p_{max}$ , а въ воздухопроводѣ  $p$ , то  $p_{max} - p$  и будетъ погрѣшностью въ сторону увеличенія давленія. Но такое же отклоненіе будетъ и въ сторону меньшаго давленія. При опытахъ обнаружено было напр., что  $p_{max} = 6,3$  а  $p = 6$ . Значитъ 0,3 и представляютъ превышеніе давленія. Минимальное давленіе  $p_{min} = 4,8$ , а значитъ дѣйствительно 5,1.

Для первыхъ опытовъ взятъ былъ пневматическій молотокъ, короткій рукавъ къ которому (а вмѣстѣ и штуцеръ молотка) имѣлъ внутренній діаметръ въ 10 миллиметровъ, а длину 400 миллиметровъ. На свободномъ концѣ располагали манометръ, отъ послѣдняго шелъ испытательный рукавъ къ воздухопроводу. Результаты опытовъ сконцентрированы въ слѣдующей таблицѣ.

Таблица I.

Новые опытные рукава.		Давленіе въ воздухо- проводѣ.	Отсѣчка показаній ма- нометра.		Среднее давленіе предъ мо- лоткомъ.
Діаметръ.	Длина		Высшая.	Низшая.	
въ миллим.	въ метрахъ.				
22	6	6	6,30	5,2	5,75
13	4	5,9	6,30	4,8	5,55
10	5,2	5,8	6,00	4,3	5,15
10	10,2	5,8	5,50	3,7	4,60

Изъ опытовъ ясно, что паденіе напряженія отъ рукавовъ различной длины и діаметра довольно значительное. Поэтому не слѣдуетъ

пользоваться подводными рукавами отъ воздухопровода къ молотку ни слишкомъ широкими, ни слишкомъ узкими. Наиболѣе цѣлесообразнымъ оказался рукавъ съ діаметромъ въ 13 миллиметровъ и длиною въ 6 метровъ. Разумѣется, въ каждомъ частномъ случаѣ эти величины должны опредѣляться всегда опытнымъ путемъ, чтобы не тратить понапрасну запаса дорогой энергіи. Не надобно далѣе довѣряться особенно рекламному характеру гарантіи фирмъ. Свои опыты надежнѣе и вѣрнѣе всякихъ гарантій, и выясненіе съ помощью ихъ наивыгоднѣйшихъ условій для работы вознаградится всегда съ большимъ избыткомъ.

Уменьшеніе напряженія въ упругости воздуха выражалось предъ молоткомъ 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>—15<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Среднее рабочее давленіе было  $6 \times 0,85 = 5,1$ . Здѣсь не приняты во вниманіе колебанія давленій непосредственно предъ молоткомъ. Для давленія, приходящагося на кольцевую площадку въ поршнѣ молотка, будетъ эта цифра низка, вслѣдствіе того, что при закрытомъ впускѣ воздухъ въ рукавахъ находится почти что въ покоѣ. За среднее давленіе для кольцевой площадки берется среднее арифметическое  $6 + 5,1 : 2 = 5,55$ . На діаграммѣ (черт. 5) показаны кружками въ натуральную величину подводящіе каналы (Е) и выпускные (А). Разстояніе начала координатъ находится дѣленіемъ объема цилиндра на его поперечное сѣченіе. Принятое за постоянное давленіе на кольцевую площадку поршня обозначено на чертежѣ толстой линіей. Тонкія горизонтальныя линіи даютъ критическія давленія. Діаметры поршня, принимаемые во вниманіе, были 30—32 миллиметра, а вѣсъ, опредѣляемый взвѣшиваніемъ, составлялъ 0,58 килограмма. Такимъ образомъ, масса поршня

$$m = 0,58 : 9,81 = 0,0592 = 2.0,0296 \frac{\text{кил. секун}^2}{\text{метр.}}$$

Треніе и вѣсъ поршня здѣсь приняты во вниманіе, допуская, что коэффициентъ тренія 0,15. Самый молотокъ долженъ имѣть неизмѣнное направленіе подъ угломъ въ 30<sup>0</sup> къ поверхности обрабатываемаго предмета. Въ началѣ опыта конецъ зубила прикасается къ обрабатываемой поверхности и изъ этого положенія начинаетъ двигаться вверхъ. Какъ только впускной каналъ у ручки молотка открытъ, давленіе распространяется на кольцевую площадку, и уже въ самомъ началѣ движенія давленіе можно считать полнымъ. На противоположной сторонѣ поршня въ это время открытъ выпускной клапанъ, такъ что здѣсь устанавливается атмосферное давленіе. Чѣмъ продолжительнѣе и не полномѣрнѣе закрыты выпускныя отверстія, тѣмъ замѣтнѣе появленія одновременно съ выпускомъ и сжатія (часть кривой I отъ *a* до *b*).

Чистое сжатіе (между точкой  $b$  и точкой  $c$ ) длится короткое время, такъ какъ сейчасъ же начинается впускъ, а потомъ наступаетъ періодъ одновременнаго впуска и сжатія (отъ  $c$  до  $d$ ). Поршень измѣняетъ направленіе движенія, когда площадь діаграммы верхней его стороны слѣдается приблизительно равной прямоугольнику, равновеликому кольцевой площади. На этомъ обратномъ пути (между  $d$  и  $e$ ) господствуетъ впускъ и расширеніе. Чтобы построить на діаграммѣ падающую вправо часть кривой отъ точки  $d$  до  $e$  принимаютъ для произвольнаго пути по благоусмотрѣнію какое-нибудь паденіе напряженія и вычисляютъ дальнѣйшее теченіе кривой по методу, изложенному на стр. 7. Получается въ общемъ зигзагообразная линія, которая можетъ быть легко замѣнена прямой. Методъ этотъ вполне достаточенъ по точности для практическихъ цѣлей, и онъ проще, напр., метода Блясса (см. *Z. d. V. d. Ing.* 1905). Какъ только закрытъ впускъ, наступаетъ короткое чистое расширеніе (между точками  $e$  и  $f$ ), длящееся до тѣхъ поръ, пока не будетъ открытъ выпускной каналъ. Затѣмъ слѣдуетъ періодъ, въ которомъ господствуетъ расширеніе и выпускъ (между точками  $f$  и  $d$ ), и это тянется до того момента, когда поршень встрѣтится съ рѣзцомъ. Въ этотъ моментъ наступаетъ паденіе напряженія (время удара). Учтеть это обстоятельство затруднительно, вслѣдствіе кратковременности удара, да и самое паденіе напряженія мало. Отсюда ясно, что основы для вычисленія продолжительности удара недостаточны.

Параллельно съ вычисленіемъ отдѣльныхъ точекъ кривой давленія находятъ скорости поршня, что въ діаграммѣ (черт. 5) представлено кривой I. Какъ только поршень коснулся тупого конца рѣзца, онъ отскакиваетъ назадъ, но съ меньшей скоростью. При обратномъ ходѣ поршня наблюдается періодъ сжатія и выпуска оставшагося въ цилиндрѣ сжатаго воздуха (кривая II). Затѣмъ слѣдуетъ короткій періодъ сжатія, потомъ впуска и сжатія одновременно и т. д.

Для скоростей вычерчены кривыя II (черт. 5), случайно частично перекрытыя кривыми I. Процессъ можно, разумѣется, прослѣдить и дальше, однако ясно, что уже послѣ извѣстнаго промежутка времени наступаетъ повтореніе явленій, такъ что послѣдующія кривыя не отличаются отъ предыдущихъ (низъ чертежа 5).

Относительно скорости поршня при обратномъ ходѣ сейчасъ же послѣ толчка надо сказать нижеслѣдующее: эта скорость всецѣло зависитъ отъ формы и матеріала соударяющихся тѣлъ, отъ скорости удара и сопротивленій воздуха. Чѣмъ эластичнѣе соударяющіяся тѣла и подкладки, тѣмъ скорость больше, что прямо слѣдуетъ изъ теоріи

удара. Въ виду того, что обрабатываемый матеріалъ оказываетъ столь большое вліяніе на отскокъ, является настоятельно необходимымъ иначе конструировать зубила, заклепочные молотки и песочные штампы (матрицы). Это обстоятельство не ускользнуло отъ фабрикантовъ, занимающихся выдѣлкой штамповочныхъ орудій и инструментовъ.

Вліяніе отскока у молотовъ приводныхъ, такъ называемое прыганье бабы, наблюдалось часто, но не дѣлалось отсюда выводовъ относительно самыхъ процессовъ внутри молотовъ. Такъ напр., профессоръ Линднеръ (*Z. d. V. d. Ing.* 1902, S. 37) даетъ діаграмму парового молота и изъ своихъ наблюденій въ связи съ опытными данными другихъ лицъ, выводитъ: при сильныхъ ударахъ баба, кажется, быстро отскакиваетъ назадъ, послѣ чего на пути около 150 миллиметровъ наблюдается замедленіе хода, а потомъ скорость растетъ. Если отрѣзокъ въ восходящей линіи (представляющей путь поршня) не является слѣдствіемъ сотрясеній опытныхъ приспособленій, то онъ указываетъ на то, что баба при ударѣ о подложеное дерево отскакиваетъ съ большей скоростью, чѣмъ та, которая сообщается ей давленіемъ пара и лишь послѣ этого движется только подъ однимъ давленіемъ пара. Нѣчто подобное имѣется также въ работѣ Людике (*Z. d. V. d. Ing.* 1900, стр. 1787), гдѣ дается діаграмма воздушно пружиннаго молота. Здѣсь всасывающій вакуумъ, распространяющійся на двѣ трети хода, такъ малъ, что поршень не можетъ двигаться подъ вліяніемъ только этой причины; баба должна такимъ образомъ при ударѣ о твердый стальной обручъ отскочить такъ сильно назадъ, что она нуждается въ подъемной силѣ только въ послѣднюю треть своего хода“.

На основаніи этихъ соображеній вполне естественно было предположить, что отскокъ играетъ большую роль и въ пневматическихъ молоткахъ. Такимъ образомъ, нарождалась новая задача, получить представленіе о величинѣ отскока. Меллеръ занялся изученіемъ этого вопроса на рѣзущихъ молоткахъ двухъ фирмъ Collet & Engelhardt и Pokorny & Wittekind. Опыты необходимо было вести, подражая работѣ пневматическихъ молотковъ въ дѣйствительности. Въ особенности это касалось направляющихъ рѣзца въ буксѣ и положенія самаго рѣзца по отношенію къ обрабатываемому предмету. Поршень заставляли свободно падать, беря за исходную точку ту высоту паденія, для которой скорость вытекала изъ первой линіи, не подверженной вліянію отскока. (Кривая I черт. 5).

Опыты у Pokorny & Wittekind производились слѣдующимъ образомъ: брали тяжелый кусокъ стараго коробочнаго желѣза (рис. 6) и укрѣпляли его къ стѣнѣ подъ угломъ въ  $60^{\circ}$ , что соотвѣтствовало

наиболѣе часто примѣняемому на практикѣ углу для рѣзущихъ молотковъ. Подъ коробчатымъ желѣзомъ подкладывалась чугунная подкладка въ видѣ глаголя, къ которой обрабатываемая балка прикрѣплялась болтами, такъ что получалась какъ бы цѣльная штука. На одной полкѣ коробчатого желѣза (толщиною въ 7 миллиметровъ) дѣлалась зарубка, такъ что снятіе рѣзцомъ стружки начиналось именно съ этого мѣста. Рѣзецъ направлялся прочно укрѣпленной буксой, какъ это дѣлается у молотковъ. Хотя онъ и не былъ только что заостреннымъ, но все же для дѣла считался вполне пригоднымъ. Лезвіе было дугообразное шириною въ 20 миллиметровъ. Верхняя площадка рѣзца устанавливалась по ватерпасу. Что касается поршня, то онъ былъ такъ подвѣшенъ, что висѣлъ вертикально надъ рѣзцомъ. Между рѣзцомъ и поршнемъ укрѣпленъ былъ кусокъ картона съ круглымъ отверстіемъ, такъ что поршень могъ удобно падать черезъ это отверстіе. Однако при отскакиваніи онъ никогда не попадалъ точно въ отверстіе, а непременно въ картонъ. Затѣмъ установлено было опытомъ, на какой высотѣ нужно располагать картонъ надъ рѣзцомъ, чтобы поршень при отскокѣ только прикасался картона. На послѣдній клали легкія тѣла, легкое колебаніе которыхъ и свидѣтельствовало о соприкосновеніи. Для того чтобы поршень падалъ по возможности вертикально, воспламенялась каждый разъ нитка, на которой онъ былъ подвѣшенъ.

Изъ опытовъ можно было вычислить скорость, съ которой поршень отскакивалъ, на основаніи того соображенія, что скорости паденія относятся одна къ другой, какъ квадраты изъ высотъ. Если, значитъ, высота паденія была  $a$ , а высота поднятія  $b$ , то скорость отскакиванія получимъ, умножая скорость удара на  $\sqrt{\frac{b}{a}}$ .

Слѣдующая таблица даетъ результаты опытовъ.

Т а б л и ц а II.

Высота подъема $a$ въ метрахъ.	Высота отскакиваній $b$ въ метрахъ.	Обратное значеніе коэффициента отскока $\sqrt{\frac{a}{b}}$
1,80	0,110	4,05
1,80	0,100	4,05
2,00	0,125	4,00
2,00	0,125	4,00
2,25	0,120	4,34

Послѣдняя строчка обнаруживаетъ нѣкоторое уклоненіе отъ полученныхъ раньше значеній коэффициентовъ отдачи, что навело на

мысль проверить по уровню верхнюю площадку рѣзца. Оказалось, что она выведена была изъ горизонтальнаго положенія. Площадку вывѣрили, и продолжали опыты. Результаты ихъ видны изъ слѣдующей таблицы III.

Высота паденія <i>a</i> .	Высота отскакиванія <i>b</i> .	$\sqrt{\frac{a}{b}}$	
2,00	0,130	3,94	Съ этого момента рѣзецъ вывѣрялся послѣ каждого удара.
2,25	0,135	4,08	
1,50	0,116	3,60	
1,80	0,130	3,72	
2,00	0,138	3,81	

Слѣдующіе опыты произведены были у Collet & Engelhardt съ чугуннымъ брускомъ, вѣсящимъ 8 килограммовъ и расположеннымъ на бетонномъ полу мастерской. Направляющая букса для рѣзца была укреплена въ пазу чугунной балки, поддерживаемой двумя желѣзными брусками. Для перестановки брусковъ служили деревянные клинья. На балкѣ закрѣплялся роликъ, чрезъ который перекидывался шнуръ, на которомъ подвѣшивался поршень. При отпусканіи свободнаго конца шнура поршень падалъ прямо на рѣзецъ. Высота отскока устанавливалась, какъ и при прежнихъ опытахъ, только ради сбереженія времени, не измѣрялось каждый разъ, на какой высотѣ долженъ стоять патронъ, но довольствовались замѣчаніемъ, прикасался ли поршень къ бумагѣ, оставался ли онъ ниже или выше послѣдней. Рѣзецъ по прежнему взять былъ съ работы и былъ средней остроты.

Таблица IV.

Высота паденія <i>a</i> въ метрахъ.	Установленная высота отскока <i>b</i> въ метрахъ.	Подъемная высота поршня.	Обратное значеніе коэффиц. отскока $\sqrt{\frac{a}{b}}$
2,00	0,150	больше гарант. на 3—5 миллим.	3,65
2,00	0,155	~	3,59
2,00	0,160		меньше на миллим.
2,00	0,160	>	3,54
2,00	0,155		немного больше.
1,80	0,160	немного больше.	3,35
1,80	0,165	больше.	3,30
1,80	0,170	больше.	3,26
1,80	0,180	больше.	3,16

Такъ какъ изъ этихъ опытовъ казалось вытекало, что высота отскакиванія поршня прямо пропорціональна глубинѣ вѣдренія рѣзца или зубила, то произведенъ былъ рядъ опытовъ для выясненія того обстоятельства, сколько нужно произвести ударовъ, для того чтобы поршень отскочилъ на опредѣленную высоту. При этихъ опытахъ зубило вгонялось ручнымъ молоткомъ. При одномъ паденіи поршня съ высоты 1,5 метра, онъ отскочилъ на высоту большую, чѣмъ 0,190 метра. Однако при осмотрѣ выяснилось, что зубило имѣло поломанное остріе. Вотъ данныя опыта

Таблица V.

Высота паденія " въ метрахъ.	Установленная высота отскока <i>b</i> въ метрахъ.	Число ударовъ.
1,80	0,175	6
1,80	0,190	6+3
1,50	0,190	6+3+1

Слѣдующіе опыты произведены были у Collet & Engelhardt, при нихъ порядокъ расположенія былъ принятъ тотъ же самый, что и раньше. Для испытанія бралось полосовое желѣзо толщиной въ 8 миллиметровъ, которое закрѣплялось между двумя желѣзными брусками. Подкладкой служила желѣзная балка, расположенная на козлахъ. Для испытанія были взяты два зубила: острое и тупое. Испытуемый брусокъ опять располагался наклонно къ лезвію зубила. Результаты опытовъ расположены въ слѣдующихъ двухъ таблицахъ. Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ, что отскокъ тѣмъ больше, чѣмъ глубже проникаетъ рѣзецъ въ металл, чѣмъ тупѣе остріе и чѣмъ менѣе точно нижняя поверхность поршня ударяетъ о верхнюю поверхность рѣзца, а значитъ, чѣмъ меньше работа рѣзанія.

А) Тупой рѣзецъ. Таблица VI.

Высота паденія <i>a</i> въ метрахъ.	Установленная высота откоса <i>b</i> .	Высота подъема поршня.	Обратное значеніе коэффициента отскока $\sqrt{\frac{a}{b}}$
1,80	0,125	Много выше.	—
1,80	0,140	Выше на 3 - 5 миллим.	3,59
1,80	0,150	Немного выше < 3 миллим.	3,47
1,80	0,160	Прикосновеніе.	3,35
1,80	0,165	Немного выше.	3,31
1,80	0,180	Немного выше.	3,16
1,80	0,200	Ниже ровно на 10 милл.	3,00
1,80	0,190	Прикосновеніе.	3,08



теоретическаго соображенія на опытъ П. Меллеру не представилось возможности, какъ равно и полученныхъ чиселъ. Впрочемъ, за надежность полученныхъ выводовъ говоритъ прекрасное совпаденіе цифръ съ опытными данными, рекламируемыми самой фирмой. Такъ число ударовъ фирма исчисляетъ въ 1400 въ минуту, а расходъ воздуха 0,25—0,50 куб. метра.

Обращаясь затѣмъ къ діаграммѣ черт. 15, можно замѣтить, что здѣсь изслѣдовано также, какую наименьшую длину долженъ имѣть цилиндръ для обезпеченія надежной работы. Здѣсь наиболѣе неблагоприятный случай можетъ наступить тогда, когда отскока не будетъ, при чемъ послѣ того какъ золотникъ перемѣнилъ свое положеніе, впускной клапанъ, что у рукоятки молотка, закрытъ. При такомъ положеніи вещей, воздухъ надъ поршнемъ будетъ сжатъ, а подъ поршнемъ одновременно расширяться и выходить. Съ внѣшней показной стороны процессъ можно описать слѣдующимъ образомъ: поршень, прикасаясь къ головкѣ рѣзца, занимаетъ нижнее положеніе до тѣхъ поръ, пока давленіе надъ поршнемъ не понизится, вслѣдствіе выпуска воздуха, до давленія, равнаго возрастающему давленію подъ поршнемъ. Какъ только такое уравненіе давленій произойдетъ, поршень приходитъ въ движеніе. Съ этого момента давленіе подъ поршнемъ продолжаетъ расти, а надъ поршнемъ постепенно подходитъ къ атмосферному, что и видно на черт. 15 въ видѣ пунктирной линіи. На этомъ чертежѣ подымающаяся съ лѣвой стороны пунктирная линія, что въ верхней діаграммѣ, представляетъ линію сжатія для верхней стороны поршня. Въ нижней діаграммѣ пунктирные линіи указываютъ скорости. Не трудно замѣтить, что дѣйствительная длина цилиндра  $l$  не вполне достаточна для самаго неблагоприятнаго случая, такъ что поршень можетъ коснуться крышки цилиндра, хотя и съ небольшою скоростью.

На этомъ можно закончить изложеніе изслѣдованія пневматическихъ молотковъ по методу П. Меллера. Нѣтъ никакого сомнѣнія въ томъ, что методъ этотъ съ большою пользою можетъ быть примѣненъ при изслѣдованіи и расчетѣ паровыхъ быстроходныхъ молотовъ, воздушныхъ, газовыхъ, такъ какъ онъ носитъ совершенно общій характеръ. Для полученія точныхъ діаграммъ быстроходныхъ молотовъ въ настоящее время съ необычайнымъ успѣхомъ примѣняется кинематографъ. Подробно касаться этого новаго вопроса здѣсь я не намѣренъ, такъ какъ разборъ примѣненія кинематографа для изслѣдованія

рость мало-по-малу приближается къ нулю. Если принять для этого конечнаго отръзка скоростной кривой, что кривая давлѣнія будетъ прямой (черт. 7), то время  $t$  получимъ изъ соотношенія

$$\frac{mV^2}{2} = p F S \text{ и } t = \int \frac{ds}{V}$$

$$t = \frac{mS}{(p_0 - p_1)F} \int_{p_1}^{p_0} \frac{dp}{V \sqrt{p_0^2 - p^2}} = \sqrt{\frac{mS}{(p_0 - p_1)F}} \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{p_1}{p_0} \right) \quad (18)$$

Когда давлѣнiе  $p = \text{const}$ , тогда кривая давлѣнiй параллельна оси абсциссъ и

$$t = \frac{mV}{p \cdot F}; \quad \frac{d m V^2}{2} = d p F S = p F V dt;$$

$$m dV = p \cdot F dt; \quad \int_0^V m dV = \int_0^t p F dt; \quad m V = p F t; \quad t = \frac{mV}{pF}; \quad (19)$$

Такимъ образомъ, получены на диаграммѣ (черт. 5) пунктирныя кривыя. Онѣ показываютъ, что поршень для подъема требуетъ 27,54  $\sigma$  (гдѣ  $\sigma = 0,001$  секунды); для рабочаго хода сверху внизъ 13,05  $\sigma$ , а всего для полнаго размаха 40,59  $\sigma$ . Отсюда безъ труда получимъ минутное число ударовъ

$$n = \frac{60.1000}{40,59} = 1480$$

Наконецъ, диаграмма даетъ длину хода поршня = 44 миллиметра.

Эти величины, полученныя графически-числовымъ методомъ, необходимо было провѣрить на опытѣ, при нормальныхъ условіяхъ работы, что и было продѣлано на заводѣ Collet & Engelhardt. Измѣрить непосредственно работу поршня на дѣлѣ оказалось довольно затруднительнымъ. Проще оказалось найти опытнымъ путемъ расходъ воздуха, число ударовъ и съ извѣстной степенью точности величину подъема.

Расходъ воздуха лучше всего можно было измѣрить слѣдующимъ способомъ: наполнить сжатымъ воздухомъ возможно большій воздушный сборникъ, затѣмъ, уединивъ этотъ сборникъ отъ питательныхъ проводовъ, пользоваться воздухомъ для потребностей работы молотка, пока давлѣнiе не падетъ до опредѣленной степени. П. Мёллеръ пользовался для этой цѣли обыкновенными газовыми часами Гловера. Такъ какъ такого рода приспособленія показываютъ количество воздуха при временномъ напряженіи въ  $p$  абсолютныхъ атмосферъ, то счет-

сдѣлать оговорку, что допущеніе это является произвольнымъ, но произволь тотъ такого же характера, какъ допущеніе, что треніе при состояніи покоя непосредственно и вдругъ переходитъ въ треніе при состояніи движенія. Теперь невольно нарождается вопросъ, какъ отражается эта неточность допущенія или вѣрнѣе произвольное допущеніе на результатахъ изслѣдованія? Оказывается, что опасеніе это излишне. Если здѣсь и сдѣлана ошибка въ вычисленіи въ смыслѣ увеличенія давленія, то въ дальнѣйшемъ ходѣ она исчезаетъ, потому что для второго, третьяго и т. д. подъема пользованіе формулами 20 и 21 является излишнемъ. ибо поршень, вслѣдствіе отбоя, уже имѣетъ при самомъ началѣ подъема нѣкоторую скорость.

Нѣсколько иначе дѣло обстоитъ съ поршневымъ золотникомъ, когда къ нему примѣняютъ тѣ же формулы 20 и 21, для того чтобы узнать, въ какой точкѣ поршневого хода происходитъ перемѣна положенія золотника. Такъ какъ каждый подъемъ или ходъ поршня здѣсь является независимымъ отъ послѣдующаго, то всякая допущенная неточность остается въ процессѣ фиксированной. Помимо этого, здѣсь возникаютъ и другія вліянія, которыя трудно учитываются, какъ напр., вліяніе негерметичности (при узкости закупоривающей поверхности поршневого золотника это обстоятельство играетъ болѣе значительную роль, чѣмъ въ рабочемъ поршнѣ), образованіе подъ нижней поверхностью золотника воздушной подушки, что имѣетъ слѣдствіемъ появленіе подъ золотникомъ то сжатія, то расширенія, и наконецъ, дѣйствующее на молотокъ давленіе, которое хотя и поглащается частично мускулами рукъ, но все же вызываетъ вибрацію всего молотка. Всѣ эти трудно учитываемыя явленія побуждаютъ довольствоваться сѣкнкой времени, необходимаго для перемѣны поршневымъ золотникомъ своего положенія, на глазъ. Производится эта операція слѣдующимъ образомъ: допустимъ, что какъ только распредѣляющія кромки рабочаго поршня переступили черезъ отверстія въ стѣнкѣ цилиндра, выравниваніе давленія для распредѣлительнаго золотника происходитъ такъ, что въ одномъ случаѣ надъ золотникомъ вдругъ наступаетъ полное давленіе, а въ другомъ случаѣ тоже самое вдругъ наступаетъ полное давленіе, преобладающее въ рабочемъ цилиндрѣ. Тогда по уравненію 19 можно вычислить время, достаточное для передвиженія золотника. Умножая эту величину на среднюю скорость рабочаго поршня, получимъ путь пройденный поршнемъ до того момента, въ который происходитъ перемѣна положенія золотника. Ради простоты принято, что перемѣна положенія золотника произошла вдругъ въ тотъ моментъ, когда распредѣлительный золотникъ полуоткрылъ ка-

Таблица VIII.

## 1. Бывшій въ дѣлѣ рѣзецъ.

№ молотка.	Давленіе въ воздухопроводѣ $p'$ атм.	Продолжительность опыта въ минутахъ.	Измѣренный расходъ воздуха во время опыта въ куб. метр.	Измѣренный расходъ воздуха въ куб. м/мин.	Вычисленный расходъ воздуха куб. м/мин.	
861	5,90	1	0,350	0,350	0,402	2 отсчитыванія одно за другимъ.
861	5,80	1	0,325	0,325	0,369	
664	5,75	1	0,325	0,325	0,366	
664	5,75	1,5	0,560	0,373	0,420	
664	5,90—5,80	1	0,380	0,380	0,434	
				среднее	0,398	

Таблица IX.

## 2. Хорошо заостренный рѣзецъ.

664	5,80	0,5	0,18	0,36	0,408	три отсчитыванія одно за другимъ.
664	5,80	1	0,33	0,33	0,374	
664	5,80	1,5	0,48	0,32	0,364	
				среднее	0,382	

Таблица X.

№ молотка	Давленіе въ проводахъ въ атмосфер.	Число ударовъ въ минуту.	Качество рѣзца.
664	5,80	1496	Тупой.
664	5,80	1440	Острый.
861	5,80	1284	Тупой.
861	5,80	1280	Острый.

Изъ предыдущаго безъ труда усматривается хорошая согласованность опытныхъ данныхъ съ результатами вычисленій, а это рекомендуетъ вычислительный методъ съ пріятной стороны.

Не трудно получить расходъ воздуха въ куб. метрахъ на одинъ килограммъ-метръ работы, относя количество воздуха къ атмосферному давленію

$$q = \frac{m V^2}{2} = 0,0002703 : 1,11 = 0,000243 \text{ куб. метр.}$$

когда начнетъ движеніе поршень и 2) каково будетъ давленіе, когда поршень пройдетъ путь  $S'$ ? Первый изъ этихъ вопросовъ разрѣшается безъ особаго труда. Движеніе поршня начинается тогда, когда давленіе  $p_0$ , приходящееся на него, уравнивается вѣсъ его вмѣстѣ съ силой тренія (въ спокойномъ состояніи). Полагая далѣе, что молотокъ держится подъ угломъ въ  $30^\circ$  къ обрабатываемому предмету, а коэффициентъ тренія въ покоѣ въ два раза болѣе коэффициента тренія при движеніи ( $2 \times 0,15$ ), получимъ для выраженія  $p_0$  такое соотношеніе.

$$p_0 = \frac{0,277 \text{ kg.}}{0,25 \pi \cdot 2,6^2 \text{ кв. сент.}} = 0,0522 \text{ атм.}$$

Какъ только молотокъ приведенъ въ движеніе, треніе падаетъ и возрастаетъ движущее давленіе на разницу между треніями въ спокойномъ состояніи и треніемъ при движеніи  $p_0 - p_c = 0,0089$  атм.

Для того чтобы разрѣшить вторую поставленную задачу, относительно величины давленія въ концѣ пройденнаго поршнемъ пути  $S$ , необходимо остановиться на какомъ—либо вѣроятномъ предположеніи, представляющемъ зависимость между повышеніемъ давленія  $p$  и пройденнымъ путемъ  $S'$ .

На небольшомъ интервалѣ за такое простѣйшее предположеніе можно выбрать линейную зависимость  $p : S = \text{const}$ . Это предположеніе даетъ возможность въ дальнѣйшемъ разрѣшить интеграль

$$\int \frac{dS}{V_x}$$

Если теперь обратить вниманіе (черт. 15) на путь поршня  $x$ , пройдя который, поршень приобретаетъ скорость  $V_x$ , то получимъ, принимая знакомыя обозначенія,

$$V_x^2 = \left( \frac{\Delta p x}{2S} + p_c \right) \frac{F_x}{m/2}$$

а отсюда найдемъ время для пути  $x$

$$t = \int \frac{dx}{V_x} = \sqrt{\frac{m}{F}} \int \frac{dx}{\sqrt{2p_c x + \Delta p \frac{x^2}{S}}}$$

Распространяя интегрированіе въ предѣлахъ отъ 0 до  $S$ , будемъ имѣть.

$$t = \sqrt{\frac{mS}{F\Delta p}} \{ \lg_n (p_c + \Delta p + \sqrt{\Delta p} \sqrt{2p_c + \Delta p}) - \lg_n p_c \} \quad (20)$$

становится меньше. Напротивъ того, при малыхъ отверстіяхъ увеличивается подъемъ, и поршень бьетъ о крышку цилиндра.

Величина выпускныхъ оконъ тоже имѣетъ свои особенности. Такъ, когда окна  $A$  велики, то линія одновременнаго выпуска и расширенія ( $f - g$ ) падаетъ больше. Также самое надо сказать относительно линіи одновременнаго выпуска и сжатія ( $g - b$ ). Когда выпускныя отверстія очень велики, то уменьшается площадь діаграммы, а вмѣстѣ съ этимъ и ударная сила молота. При очень малыхъ выпускныхъ отверстіяхъ воздухъ выходитъ не достаточно быстро, а потому становится короче подъемъ.

Любопытно прослѣдить, какое вліяніе оказываетъ на работу молотка отбой—отскакиваніе при ударѣ. Наблюденія показываютъ, что чѣмъ слабѣ это отскакиваніе, тѣмъ меньше число ударовъ. Объясненіе этому найти легко, если обратиться къ силамъ, дѣйствующимъ на молотокъ въ работѣ. Въ самомъ дѣлѣ, непосредственно послѣ удара на поршень снизу вверхъ дѣйствуютъ отбой и давленіе на кольцевую площадь, а сверху внизъ давленіе воздуха на полную поверхность поршня, такъ какъ воздухъ еще не успѣлъ выйти наружу. Если подъ вліяніемъ этихъ противоположныхъ силъ поршень приходитъ въ покой прежде, чѣмъ давленіе на кольцевую площадь превысило давленіе на полную площадь съ противоположной стороны, то поршень остается на одномъ мѣстѣ, или возвращается назадъ къ рѣзцу. Такимъ образомъ, число полезныхъ ходовъ поршня значительно уменьшится при наличіи такихъ обстоятельствъ. На тотъ случай, когда отбой равенъ нулю, поршень не ударяется ни обо что, и это легко воспринимается ухомъ. Аналогичное явленіе наблюдается при пневматическихъ штампахъ, когда незначительная отдача обусловливается качествомъ формовочнаго песка. Здѣсь поршень, пройдя небольшое разстояніе, останавливается на мгновенье, а потомъ продолжаетъ путь. О вліяніи величины отбоя и дѣйствительныхъ границахъ этого вліянія даютъ достаточно ясное представленіе діаграммы черт. 8 и 9, начерченныя для такихъ же условій, какъ и діаграмма черт. 5, съ той лишь разницей, что на діаграммѣ черт. 8 скорость отбоя взята при 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> хода, а на діаграммѣ черт. 9 при 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> величины хода.

Изъ разсмотрѣнія этихъ діаграммъ становится яснымъ, что во всѣхъ трехъ случаяхъ кривыя 1, еще не подпавшія подъ вліяніе отбоя, покрываютъ одна другую.

Слѣдующая таблица представляетъ группировку числовыхъ результатовъ, а черт. 10 графическое изображеніе.

Только что написанная таблица вмѣстѣ съ черт. 13 содержитъ сводку результатовъ изъ этихъ опытовъ. Какъ и слѣдовало ожидать, число ударовъ, сила ихъ, расходъ воздуха возрастаютъ вмѣстѣ съ повышеніемъ давленія. Напротивъ того, удѣльная мощность пріобрѣтаетъ наивысшее значеніе при 5,1 атмосферы. Изъ этого выходитъ, что хотя абсолютная мощность и возрастаетъ съ повышеніемъ давленія, противъ того, на которое молотокъ рассчитанъ, но въ итогѣ это повышеніе давленія оказывается неэкономичнымъ.

Только что изслѣдованный молотокъ фирмы Коллетъ-Энгельгардтъ принадлежитъ къ типу молотковъ съ автоматическимъ распредѣленіемъ, то есть такихъ, въ которыхъ распредѣленіемъ впуска и выпуска завѣдуетъ поршенекъ. Однако большинство ходовыхъ конструкцій молотковъ, принадлежащихъ къ типу клапанныхъ молотковъ, имѣютъ вспомогательный клапанъ или правильнѣе поршневой золотникъ, завѣдующій регулировкой воздуха, между тѣмъ какъ самый поршневый золотникъ функционируетъ отъ рабочей поршня.

Молотки безъ клапановъ отличаются сравнительной простотой конструкціи, но такъ какъ поршни въ нихъ длиннѣе, то длиннѣе становятся и цилиндры, что вызываетъ увеличеніе вѣса. Но увеличеніе вѣса лишаетъ ихъ такого цѣннаго качества, какъ сподручность при работѣ, почему эти молотки и не примѣняются напр. при клепальныхъ работахъ.

Методъ изслѣдованія, примѣненный къ молотку съ автоматическимъ распредѣленіемъ, вполне пригоденъ и для молотковъ клапанныхъ. Возьмемъ для этой цѣли молотокъ фирмы Покорни-Виттекиндъ черт. 14. Въ этой конструкціи, уже оставленной теперь фирмой, въ виду недостатковъ, поршневой золотникъ выполненъ въ видѣ дифференціального поршня, кольцевая поверхность котораго находится всегда подъ полнымъ давленіемъ, такъ что золотникъ имѣетъ тенденцію двигаться кверху. Но если заставить воздухъ давить на верхнюю концевую площадь, то поршень движется внизъ и задерживается тамъ. Сжатый воздухъ получаетъ доступъ къ этой конечной площади, лишь только отверстія *a* и *b*, вслѣдствіе поворота поршня, приходятъ въ соединеніе. Если каналъ *c* не прикрытъ поршнемъ, то сжатый воздухъ можетъ выходить въ пространство между верхней площадкой орудія рѣзущаго и нижней площадкой поршня. Кромѣ отверстій *a*, *b* и *c* въ стѣнкѣ цилиндра находится еще одно отверстіе *d*, не зависящее отъ золотника и предназначенное для выдуванія воздуха.

При разсмотрѣніи молотковъ съ автоматическимъ распредѣленіемъ можно было замѣтить, что только при рабочемъ ходѣ поршня по на-

молоткахъ такія части, какъ цилиндръ, поршень не отдѣляются одинъ отъ другого, какъ это происходитъ съ ядромъ или дробовымъ зарядомъ. Рука рабочаго воспринимаетъ лишь то отскакиваніе, съ которымъ рабочей конецъ орудія, рѣзецъ или штампа, отлетаетъ отъ обрабатываемаго куска. Для направленія орудія служитъ обычно букса, закрѣпляемая ввинчиваніемъ въ цилиндръ. Если рѣзецъ врѣзался въ обрабатываемый предметъ, то онъ отдѣляется отъ буксы. Для устраненія этого явленія необходимо, чтобы и цилиндръ принималъ участіе въ поступательномъ движеніи, т. е. рабочей долженъ съ извѣстнымъ усиленіемъ нажимать на ручку молотка, такъ чтобы не было никакой игры между связью и буксой, и тогда отскокъ или вѣрнѣе отдача должна исчезнуть. Это въ самомъ дѣлѣ и наблюдается на опытѣ. Однако остается напряженіе мускуловъ руки, уничтожить которое нельзя, и оно передается въ видѣ давленія на верхнюю крышку цилиндра. Давленіе это въ теченіе всего подъема молотка испытываетъ колебанія отъ нѣкотораго минимальнаго значенія до максимальнаго. Вотъ это колебаніе давленія, воспринимаемое рукой рабочаго, сильно утомляетъ руку. Необходимо поэтому озаботиться, чтобы эти колебанія не шли скачками, т. е. чтобы кривая  $s-d$  не поднималась слишкомъ круто. Какъ достигнуть этого? Да тутъ имѣется нѣсколько средствъ. Можно, напр., держать малыми впускныя отверстія, на что уже указывалось раньше, или же увеличить вредное пространство. У молотка, испытаннаго П. Мёллеромъ (фиг. 4) избранъ второй путь, для чего къ цилиндру присоединена воздушная камера. Надо, впрочемъ, оговориться, что забота объ удобствѣ работы покупается не дешево, такъ какъ при этомъ значительно растетъ расходъ сжатого воздуха.

Бываютъ, наконецъ, и такіе случаи, когда толчекъ обусловливается несовершенствомъ конструкціи молотка. Здѣсь главное вниманіе надо обращать на длину цилиндра. Итакъ, возникаетъ вопросъ, какую же длину долженъ имѣть поршень, чтобы даже при самыхъ неблагоприятныхъ условіяхъ не происходило толчка? Изслѣдованія показываютъ, что подобный толчокъ наступаетъ при слѣдующихъ обстоятельствахъ: если молотокъ находится въ дѣйстви, то въ моментъ, когда долженъ начаться впускъ воздуха надъ поршнемъ, закрываютъ впускной клапанокъ, что у рукоятки молотка. Воздухъ, находящійся въ каналахъ и въ выточкахъ молотка (поршня), устремляется при этомъ на верхнюю сторону поршня, и если при этомъ поршень приходитъ въ покой, то значить давленія съ обѣихъ его сторонъ компенсируются. Если изслѣдовать, какъ показано на черт. 9, происходящія при этомъ про-



молоткахъ такія части, какъ цилиндръ, поршень не отдѣляются одинъ отъ другого, какъ это происходитъ съ ядромъ или дробовымъ зарядомъ. Рука рабочаго воспринимаетъ лишь то отскакиваніе, съ которымъ рабочей конецъ орудія, рѣзецъ или штампа, отлетаетъ отъ обрабатываемаго куска. Для направленія орудія служитъ обычно букса, закрѣпляемая ввинчиваніемъ въ цилиндръ. Если рѣзецъ врѣзался въ обрабатываемый предметъ, то онъ отдѣляется отъ буксы. Для устранения этого явленія необходимо, чтобы и цилиндръ принималъ участіе въ поступательномъ движеніи, т. е. рабочей долженъ съ извѣстнымъ усиленіемъ нажимать на ручку молотка, такъ чтобы не было никакой игры между связью и буксой, и тогда отскокъ или вѣрнѣе отдача должна исчезнуть. Это въ самомъ дѣлѣ и наблюдается на опытѣ. Однако остается напряженіе мускуловъ руки, уничтожить которое нельзя, и оно передается въ видѣ давленія на верхнюю крышку цилиндра. Давленіе это въ теченіе всего подъема молотка испытываетъ колебанія отъ нѣкотораго минимальнаго значенія до максимальнаго. Вотъ это колебаніе давленія, воспринимаемое рукой рабочаго, сильно утомляетъ руку. Необходимо поэтому озаботиться, чтобы эти колебанія не шли скачками, т. е. чтобы кривая  $s-d$  не поднималась слишкомъ круто. Какъ достигнуть этого? Да тутъ имѣется нѣсколько средствъ. Можно, напр., держать малыми впускныя отверстія, на что уже указывалось раньше, или же увеличить вредное пространство. У молотка, испытаннаго П. Мёллеромъ (фиг. 4) избранъ второй путь, для чего къ цилиндру присоединена воздушная камера. Надо, впрочемъ, оговориться, что забота объ удобствѣ работы покупается не дешево, такъ какъ при этомъ значительно растетъ расходъ сжатого воздуха.

Бываютъ, наконецъ, и такіе случаи, когда толчекъ обусловливается несовершенствомъ конструкціи молотка. Здѣсь главное вниманіе надо обращать на длину цилиндра. Итакъ, возникаетъ вопросъ, какую же длину долженъ имѣть поршень, чтобы даже при самыхъ неблагоприятныхъ условіяхъ не происходило толчка? Изслѣдованія показываютъ, что подобный толчокъ наступаетъ при слѣдующихъ обстоятельствахъ: если молотокъ находится въ дѣйстви, то въ моментъ, когда долженъ начаться впускъ воздуха надъ поршнемъ, закрываютъ впускной клапанокъ, что у рукоятки молотка. Воздухъ, находящійся въ каналахъ и въ выточкахъ молотка (поршня), устремляется при этомъ на верхнюю сторону поршня, и если при этомъ поршень приходитъ въ покой, то значитъ давленія съ обѣихъ его сторонъ компенсируются. Если изслѣдовать, какъ показано на черт. 9, происходящія при этомъ про-

Только что написанная таблица вмѣстѣ съ черт. 13 содержитъ сводку результатовъ изъ этихъ опытовъ. Какъ и слѣдовало ожидать, число ударовъ, сила ихъ, расходъ воздуха возрастаютъ вмѣстѣ съ повышеніемъ давленія. Напротивъ того, удѣльная мощность пріобрѣтаетъ наивысшее значеніе при 5,1 атмосферы. Изъ этого выходитъ, что хотя абсолютная мощность и возрастаетъ съ повышеніемъ давленія, противъ того, на которое молотокъ рассчитанъ, но въ итогѣ это повышеніе давленія оказывается неэкономичнымъ.

Только что изслѣдованный молотокъ фирмы Коллетъ-Энгельгардтъ принадлежитъ къ типу молотковъ съ автоматическимъ распредѣленіемъ, то есть такихъ, въ которыхъ распредѣленіемъ впуска и выпуска завѣдуетъ поршенекъ. Однако большинство ходовыхъ конструкций молотковъ, принадлежащихъ къ типу клапанныхъ молотковъ, имѣютъ вспомогательный клапанъ или правильнѣе поршневой золотникъ, завѣдующій регулировкой воздуха, между тѣмъ какъ самый поршневой золотникъ функционируетъ отъ рабочаго поршня.

Молотки безъ клапановъ отличаются сравнительной простотой конструкции, но такъ какъ поршни въ нихъ длиннѣе, то длиннѣе становятся и цилиндры, что вызываетъ увеличеніе вѣса. Но увеличеніе вѣса лишаетъ ихъ такого цѣннаго качества, какъ сподручность при работѣ, почему эти молотки и не примѣняются напр. при клепальныхъ работахъ.

Методъ изслѣдованія, примѣненный къ молотку съ автоматическимъ распредѣленіемъ, вполне пригоденъ и для молотковъ клапанныхъ. Возьмемъ для этой цѣли молотокъ фирмы Покорни-Виттекиндъ черт. 14. Въ этой конструкціи, уже оставленной теперь фирмой, въ виду недостатковъ, поршневой золотникъ выполненъ въ видѣ дифференціального поршня, кольцевая поверхность котораго находится всегда подъ полнымъ давленіемъ, такъ что золотникъ имѣетъ тенденцію двигаться кверху. Но если заставить воздухъ давить на верхнюю концевую площадь, то поршень движется внизъ и задерживается тамъ. Сжатый воздухъ получаетъ доступъ къ этой конечной площади, лишь только отверстія *a* и *b*, вслѣдствіе поворота поршня, приходятъ въ соединеніе. Если каналъ *c* не прикрытъ поршнемъ, то сжатый воздухъ можетъ выходить въ пространство между верхней площадкой орудія рѣжущаго и нижней площадкой поршня. Кромѣ отверстій *a*, *b* и *c* въ стѣнкѣ цилиндра находится еще одно отверстіе *d*, не зависящее отъ золотника и предназначенное для выдуванія воздуха.

При разсмотрѣніи молотковъ съ автоматическимъ распредѣленіемъ можно было замѣтить, что только при рабочемъ ходѣ поршня по на-

становится меньше. Напротивъ того, при малыхъ отверстіяхъ увеличивается подъемъ, и поршень бьетъ о крышку цилиндра.

Величина выпускныхъ оконъ тоже имѣетъ свои особенности. Такъ, когда окна  $A$  велики, то линія одновременнаго выпуска и расширения ( $f - g$ ) падаетъ больше. Тоже самое надо сказать относительно линіи одновременнаго выпуска и сжатія ( $g - b$ ). Когда выпускныя отверстія очень велики, то уменьшается площадь діаграммы, а вмѣстѣ съ этимъ и ударная сила молота. При очень малыхъ выпускныхъ отверстіяхъ воздухъ выходитъ не достаточно быстро, а потому становится короче подъемъ.

Любопытно прослѣдить, какое вліяніе оказываетъ на работу молотка отбой—отскакиваніе при ударѣ. Наблюденія показываютъ, что чѣмъ слабѣе это отскакиваніе, тѣмъ меньше число ударовъ. Объясненіе этому найти легко, если обратиться къ силамъ, дѣйствующимъ на молотокъ въ работѣ. Въ самомъ дѣлѣ, непосредственно послѣ удара на поршень снизу вверхъ дѣйствуютъ отбой и давленіе на кольцевую площадь, а сверху внизъ давленіе воздуха на полную поверхность поршня, такъ какъ воздухъ еще не успѣлъ выйти наружу. Если подъ вліяніемъ этихъ противоположныхъ силъ поршень приходитъ въ покой прежде, чѣмъ давленіе на кольцевую площадь превысило давленіе на полную площадь съ противоположной стороны, то поршень остается на одномъ мѣстѣ, или возвращается назадъ къ рѣзцу. Такимъ образомъ, число полезныхъ ходовъ поршня значительно уменьшится при наличіи такихъ обстоятельствъ. На тотъ случай, когда отбой равенъ нулю, поршень не ударяется ни обо что, и это легко воспринимается ухомъ. Аналогичное явленіе наблюдается при пневматическихъ штампахъ, когда незначительная отдача обуславливается качествомъ формовочнаго песка. Здѣсь поршень, пройдя небольшое разстояніе, останавливается на мгновенье, а потомъ продолжаетъ путь. О вліяніи величины отбоя и дѣйствительныхъ границахъ этого вліянія даютъ достаточно ясное представленіе діаграммы черт. 8 и 9, начерченные для такихъ же условій, какъ и діаграмма черт. 5, съ той лишь разницей, что на діаграммѣ черт. 8 скорость отбоя взята при 15% хода, а на діаграммѣ черт. 9 при 35% величины хода.

Изъ разсмотрѣнія этихъ діаграммъ становится яснымъ, что во всѣхъ трехъ случаяхъ кривыя I, еще не подпавшія подъ вліяніе отбоя, покрываютъ одна другую.

Слѣдующая таблица представляетъ группировку числовыхъ результатовъ, а черт. 10 графическое изображеніе.

когда начнетъ движеніе поршень и 2) каково будетъ давленіе, когда поршень пройдетъ путь  $S'$ ? Первый изъ этихъ вопросовъ разрѣшается безъ особаго труда. Движеніе поршня начинается тогда, когда давленіе  $p_0$ , приходящееся на него, уравнивается вѣсъ его вмѣстѣ съ силой тренія (въ спокойномъ состояніи). Полагая далѣе, что молотокъ держится подѣ угломъ въ  $30^\circ$  къ обрабатываемому предмету, а коэффициентъ тренія въ покоѣ въ два раза болѣе коэффициента тренія при движеніи ( $2 \times 0,15$ ), получимъ для выраженія  $p_0$  такое соотношеніе.

$$p_0 = \frac{0,277 \text{ kg.}}{0,25 \pi \cdot 2,6^2 \text{ кв. сент.}} = 0,0522 \text{ атм.}$$

Какъ только молотокъ приведенъ въ движеніе, треніе падаетъ и возрастаетъ движущее давленіе на разницу между треніями въ спокойномъ состояніи и треніемъ при движеніи  $p_0 - p_c = 0,0089$  атм.

Для того чтобы разрѣшить вторую поставленную задачу, относительно величины давленія въ концѣ пройденнаго поршнемъ пути  $S$ , необходимо остановиться на какомъ—либо вѣроятномъ предположеніи, представляющемъ зависимость между повышеніемъ давленія  $p$  и пройденнымъ путемъ  $S'$ .

На небольшомъ интервалѣ за такое простѣйшее предположеніе можно выбрать линейную зависимость  $p; S = \text{const.}$  Это предположеніе даетъ возможность въ дальнѣйшемъ разрѣшить интеграль

$$\int \frac{dS}{V_x}$$

Если теперь обратить вниманіе (черт. 15) на путь поршня  $x$ , пройдя который, поршень приобретаетъ скорость  $V_x$ , то получимъ, принимая знакомыя обозначенія,

$$V_x^2 = \left( \frac{\Delta p x}{2S} + p_c \right) \frac{F x}{m/2}$$

а отсюда найдемъ время для пути  $x$

$$t = \int \frac{dx}{V_x} = \sqrt{\frac{m}{F}} \int \frac{dx}{\sqrt{2p_c x + \Delta p \frac{x^2}{S}}}$$

Распространяя интегрированіе въ предѣлахъ отъ 0 до  $S$ , будемъ имѣть.

$$t = \sqrt{\frac{mS}{F\Delta p}} \{ \lg_n (p_c + \Delta p + \sqrt{\Delta p} \sqrt{2p_c + \Delta p}) - \lg_n p_c \} \quad (20)$$

Таблица VIII.

## 1. Бывшій въ дѣлѣ рѣзецъ.

№ молотка.	Давленіе въ воздухопроводе р' атм.	Продолжительность опыта въ минутахъ.	Измѣренный расходъ воздуха во время опыта въ куб. метр.	Измѣренный расходъ воздуха въ куб. м/мин.	Вычисленный расходъ воздуха куб. м/мин.	
861	5,90	1	0,350	0,350	0,402	2 отсчитыванія одно за другимъ.
861	5,80	1	0,325	0,325	0,369	
664	5,75	1	0,325	0,325	0,366	
664	5,75	1,5	0,560	0,373	0,420	
664	5,90—5,80	1	0,380	0,380	0,434	
				среднее	0,398	

Таблица IX.

## 2. Хорошо заостренный рѣзецъ.

664	5,80	0,5	0,18	0,36	0,408	три отсчитыванія одно за другимъ.
664	5,80	1	0,33	0,33	0,374	
664	5,80	1,5	0,48	0,32	0,364	
				среднее	0,382	

Таблица X.

№ молотка	Давленіе въ проводахъ въ атмосфер.	Число ударовъ въ минуту.	Качество рѣзна.
664	5,80	1496	Тупой.
664	5,80	1440	Острый.
861	5,80	1284	Тупой.
861	5,80	1280	Острый.

Изъ предыдущаго безъ труда усматривается хорошая согласованность опытныхъ данныхъ съ результатами вычисленій, а это рекомендуетъ вычислительный методъ съ пріятной стороны.

Не трудно получить расходъ воздуха въ куб. метрахъ на одинъ килограммъ-метръ работы, относя количество воздуха къ атмосферному давленію

$$q = \frac{m V^2}{2} = 0,0002703 : 1,11 = 0,000243 \text{ куб. метр.}$$

сдѣлать оговорку, что допущеніе это является произвольнымъ, но произволь тотъ такого же характера, какъ допущеніе, что треніе при состояніи покоя непосредственно и вдругъ переходитъ въ треніе при состояніи движенія. Теперь невольно нарождается вопросъ, какъ отражается эта неточность допущенія или вѣриѣ произвольное допущеніе на результатахъ изслѣдованія? Оказывается, что опасеніе это излишне. Если здѣсь и сдѣлана ошибка въ вычисленіи въ смыслѣ увеличенія давленія, то въ дальнѣйшемъ ходѣ она исчезаетъ, потому что для второго, третьяго и т. д. подъема пользованіе формулами 20 и 21 является излишнемъ, ибо поршень, вслѣдствіе отбоя, уже имѣетъ при самомъ началѣ подъема нѣкоторую скорость.

Нѣсколько иначе дѣло обстоитъ съ поршневымъ золотникомъ, когда къ нему примѣняютъ тѣ же формулы 20 и 21, для того чтобы узнать, въ какой точкѣ поршневого хода происходитъ перемѣна положенія золотника. Такъ какъ каждый подъемъ или ходъ поршня здѣсь является независимымъ отъ послѣдующаго, то всякая допущенная неточность остается въ процесѣ фиксированной. Помимо этого, здѣсь возникаютъ и другія вліянія, которыя трудно учитываются, какъ напр., вліяніе негерметичности (при узкости закупоривающей поверхности поршневого золотника это обстоятельство играетъ болѣе значительную роль, чѣмъ въ рабочемъ поршнѣ), образованіе подъ нижней поверхностью золотника воздушной подушки, что имѣетъ слѣдствіемъ появленіе подъ золотникомъ то сжатія, то расширенія, и наконецъ, дѣйствующее на молотокъ давленіе, которое хотя и поглощается частично мускулами рукъ, но все же вызываетъ вибрацію всего молотка. Всѣ эти трудно учитываемыя явленія побуждаютъ довольствоваться сцѣпкой времени, необходимаго для перемѣны поршневымъ золотникомъ своего положенія, на глазъ. Производится эта операція слѣдующимъ образомъ: допустимъ, что какъ только распредѣляющія кромки рабочаго поршня переступили черезъ отверстія въ стѣнкѣ цилиндра, выравниваніе давленія для распредѣлительнаго золотника происходитъ такъ, что въ одномъ случаѣ надъ золотникомъ вдругъ наступаетъ полное давленіе, а въ другомъ случаѣ тоже самое вдругъ наступаетъ полное давленіе, преобладающее въ рабочемъ цилиндрѣ. Тогда по уравненію 19 можно вычислить время, достаточное для передвиженія золотника. Умножая эту величину на среднюю скорость рабочаго поршня, получимъ путь пройденный поршнемъ до того момента, въ который происходитъ перемѣна положенія золотника. Ради простоты принято, что перемѣна положенія золотника произошла вдругъ въ тотъ моментъ, когда распредѣлительный золотникъ полуоткрылъ ка-

рость мало-по-малу приближается къ нулю. Если принять для этого конечнаго отрезка скоростной кривой, что кривая давленія будетъ прямой (черт. 7), то время  $t$  получимъ изъ соотношенія

$$\frac{mV^2}{2} = p F S \text{ и } t = \int \frac{ds}{V}$$

$$t = \frac{mS}{(p_0 - p_1)F} \int_{p_1}^{p_0} \frac{dp}{V \sqrt{p_0^2 - p^2}} = \sqrt{\frac{mS}{(p_0 - p_1)F}} \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \text{arc. sin} \frac{p_1}{p_0} \right) \quad (18)$$

Когда давленіе  $p = \text{const}$ , тогда кривая давленій паралельна оси абсциссъ и

$$t = \frac{mV'}{p \cdot F}; \quad \frac{d mV^2}{2} = d \cdot p F S = p F V dt;$$

$$m dV = p \cdot F dt; \quad \int_0^{V'} m dV = \int_0^t p F dt; \quad m V' = p F t; \quad t = \frac{m V'}{p F}; \quad (19)$$

Такимъ образомъ, получены на діаграммѣ (черт. 5) пунктирная кривая. Онѣ показываютъ, что поршень для подъема требуетъ 27,54  $\sigma$  (гдѣ  $\sigma = 0,001$  секунды); для рабочаго хода сверху внизъ 13,05  $\sigma$ , а всего для полнаго размаха 40,59  $\sigma$ . Отсюда безъ труда получимъ минутное число ударовъ

$$n = \frac{60.1000}{40,59} = 1480$$

Наконецъ, діаграмма даетъ длину хода поршня = 44 миллиметра.

Эти величины, полученныя графически-числовымъ методомъ, необходимо было провѣрить на опытѣ, при нормальныхъ условіяхъ работы, что и было продѣлано на заводѣ Collet & Engelhardt. Измѣрить непосредственно работу поршня на дѣлѣ оказалось довольно затруднительнымъ. Проще оказалось найти опытнымъ путемъ расходъ воздуха, число ударовъ и съ извѣстной степенью точности величину подъема.

Расходъ воздуха лучше всего можно было измѣрить слѣдующимъ способомъ: наполнить сжатымъ воздухомъ возможно большій воздушный сборникъ, затѣмъ, уединивъ этотъ сборникъ отъ питательныхъ проводовъ, пользоваться воздухомъ для потребностей работы молотка, пока давленіе не падетъ до опредѣленной степени. П. Мёллеръ пользовался для этой цѣли обыкновенными газовыми часами Гловера. Такъ какъ такого рода приспособленія показываютъ количество воздуха при временномъ напряженіи въ  $p$  абсолютныхъ атмосферъ, то счет-

теоретическаго соображенія на опытъ П. Меллеру не представилось возможности, какъ равно и полученныхъ чиселъ. Впрочемъ, за надежность полученныхъ выводовъ говоритъ прекрасное совпаденіе цифръ съ опытными данными, рекламируемыми самой фирмой. Такъ число ударовъ фирма исчисляетъ въ 1400 въ минуту, а расходъ воздуха 0,25—0,50 куб. метра.

Обращаясь затѣмъ къ діаграммѣ черт. 15, можно замѣтить, что здѣсь изслѣдовано также, какую наименьшую длину долженъ имѣть цилиндръ для обезпеченія надежной работы. Здѣсь наиболѣе неблагоприятный случай можетъ наступить тогда, когда отскока не будетъ, при чемъ послѣ того какъ золотникъ перемѣнилъ свое положеніе, впускной клапанъ, что у рукоятки молотка, закрытъ. При такомъ положеніи вещей, воздухъ надъ поршнемъ будетъ сжатъ, а подъ поршнемъ одновременно расширяться и выходить. Съ внѣшней показной стороны процессъ можно описать слѣдующимъ образомъ: поршень, прикасаясь къ головкѣ рѣзца, занимаетъ нижнее положеніе до тѣхъ поръ, пока давленіе надъ поршнемъ не понизится, вслѣдствіе выпуска воздуха, до давленія, равнаго возрастающему давленію подъ поршнемъ. Какъ только такое уравненіе давленій произойдетъ, поршень приходитъ въ движеніе. Съ этого момента давленіе подъ поршнемъ продолжаетъ расти, а надъ поршнемъ постепенно подходитъ къ атмосферному, что и видно на черт. 15 въ видѣ пунктирной линіи. На этомъ чертежѣ подымающаяся съ лѣвой стороны пунктирная линія, что въ верхней діаграммѣ, представляетъ линію сжатія для верхней стороны поршня. Въ нижней діаграммѣ пунктирные линіи указываютъ скорости. Не трудно замѣтить, что дѣйствительная длина цилиндра  $l$  не вполне достаточна для самаго неблагоприятнаго случая, такъ что поршень можетъ коснуться крышки цилиндра, хотя и съ небольшою скоростью.

На этомъ можно закончить изложеніе изслѣдованія пневматическихъ молотковъ по методу П. Меллера. Нѣтъ никакого сомнѣнія въ томъ, что методъ этотъ съ большою пользою можетъ быть примѣненъ при изслѣдованіи и расчетѣ паровыхъ быстроходныхъ молотовъ, воздушныхъ, газовыхъ, такъ какъ онъ носитъ совершенно общій характеръ. Для полученія точныхъ діаграммъ быстроходныхъ молотовъ въ настоящее время съ необычайнымъ успѣхомъ примѣняется кинематографъ. Подробно касаться этого новаго вопроса здѣсь я не намѣренъ, такъ какъ разборъ примѣненія кинематографа для изслѣдованія



быстроходныхъ молотовъ я посвящаю отдѣльную статью. Теперь же ограничусь замѣчаніемъ, что удачное соединеніе обоихъ методовъ дастъ въ руки конструкторовъ надежный путь для болѣе точнаго изслѣдованія наиболѣе щепетильной части молотовъ, каковой является распределеніе энергіи золотниками, клапанами, кранами и т. д. Превосходный произволъ въ расчетѣ молотовъ подъ дружныхъ натискомъ плодотворныхъ идей новаго времени долженъ стремительно отойти въ область преданій, стать на скромномъ мѣстѣ на полкѣ исторіи техники.

## ПРИМѢЧАНІЯ.

Къ стр. 4. Въ цилиндрѣ по одну сторону поршня находится воздухъ въ объемѣ  $V$  при давленіи  $p$ . При перемѣщеніи поршня на путь  $dS$  объемъ  $V$  увеличивается на  $dV$ . Въ новый объемъ  $V + dV$  переходитъ изъ воздушнаго сборника новое количество воздуха  $dV'$  при давленіи  $p'$ . Если вѣсъ прежняго воздуха былъ  $G_1$ , а вступившаго  $G_2$ , то конечный вѣсъ воздуха  $G$  будетъ

$$G = G_1 + G_2.$$

Извѣстное уравненіе термодинамики даетъ

$$G R T = p V; \quad G = p V: R T$$

Значить

$$G_1 = \frac{p V}{R T}; \quad G_2 = \frac{p' dV'}{R T}; \quad G = \frac{p V}{R T} + \frac{p' dV'}{R T}.$$

Здѣсь предполагается, что абсолютная температура вступившаго воздуха та же самая, что и абсолютная температура воздуха, уже бывшаго въ цилиндрѣ.

Если бы воздухъ въ объемѣ  $V$  расширялся, то температура его падала бы. Но притекающій воздухъ въ объемѣ  $dV'$  производитъ сжатіе воздуха, сопровождаемое повышеніемъ температуры. Такимъ образомъ, не рискуя впасть въ большую погрѣшность, можно допустить, что на пути  $dS$  температура остается неизмѣнной.

Для вѣса  $G$  можно написать

$$G = \frac{(p + dp)(V + dV)}{R(T + dT)} = \frac{pV}{R T} + \frac{p' dV'}{R T}.$$

Но такъ какъ  $dT = 0$ , то

$$pV + V dp + p dV + dp dV = pV + p' dV'.$$

Производя сокращеніе и отбрасывая членъ  $dp dV$ , какъ величину второго порядка, получимъ

$$dp = \frac{p' dV' - p dV}{V}.$$

Къ стр. 5—7. Объемъ воздуха  $dV'$  Мёллеръ считаетъ уходящимъ объемомъ, хотя этотъ объемъ течетъ въ цилиндръ молотка. Видимое недоразумѣніе объясняется тѣмъ, что этотъ воздухъ выходитъ изъ подводящаго рукава и входитъ въ цилиндръ. (См. рис. 19) Такимъ образомъ, въ цилиндръ втекаетъ

$$dV' = U. f. dt.$$

Изъ питателя въ это время выходитъ  $dV''$  или по вѣсу

$$dG = \frac{p_a dV''}{RT}.$$

Эти объемы могутъ быть и не равны, если при входѣ въ цилиндръ воздухъ расширяется. Однако до того момента, когда наступитъ критическое отношеніе давленій  $p_c : p_a$ , вѣса воздуха будутъ равны. Итакъ,

$$\frac{p_c dV'}{RT} = \frac{p_a dV''}{RT}; p_c dV' = p_a dV''.$$

Или подставляя вмѣсто  $dV'$  и  $dV''$  раньше полученныя значенія, будемъ имѣть

$$f. U. dt. p_c = f. U' dt. p_a; U p = U' p_a.$$

Въ моментъ наступленія критическаго отношенія давленій будемъ имѣть

$$U' = U_{\max} \frac{p_c}{p_a} = U_{\max} \beta.$$

Къ стр. 8. Относительно поправокъ въ показаніяхъ манометра едва ли Мёллеръ правъ. Дѣло въ томъ, что если за однимъ толчкомъ быстро слѣдуетъ другой въ обратномъ направленіи, то стрѣлка не будетъ имѣть достаточно времени для полного размаха. Поэтому показанія манометра, расположеннаго недалеко отъ молотка, будутъ правильны, ибо эти показанія обусловливаются постояннымъ повышеніемъ давленія въ столбѣ движущейся упругой среды, если давленіе падаетъ мгновенно. Хорошей иллюстраціей этому положенію служитъ напр. гидравлическій ударъ въ насосахъ. Тоже самое наблюдается и въ золотниковыхъ коробкахъ. Простое объясненіе мгновенному повышенію давленія заключается въ томъ, что упругая среда продолжаетъ двигаться по инерціи.

Къ стр. 9—10. При построении диаграммы для молотка давление принимается равнымъ среднему арифметическому изъ показаний манометра

$$p_a = \frac{p_{\max} + p_{\min}}{2}$$

Что касается обратного хода, то для него берется среднее арифметическое изъ рабочего давления  $p_L$  и максимального

$$p_a' = \frac{p_L + p_a}{2}$$

Итакъ,

$$p_a = 5,1 + 6 : 2 = 5,55.$$

Далѣе. Поршень имѣетъ диаметръ  $d_2 = 32$  и перехватъ  $d_1 = 30$ . Слѣдовательно, кольцевая площадь

$$f = \frac{d_2^2 - d_1^2}{4} \pi = 97,39 \text{ кв. милл.}$$

А полное давление  $P$  на эту площадь будетъ

$$P = 5,55 \cdot 97,39 = 5,401 \text{ килограмма.}$$

На одинъ сантиметръ площади  $F$  прійдется

$$p = 5,401 : F = 5,401 : \frac{\pi d_2^2}{4} = 0,663 \text{ килограм.}$$

Это давление обозначено на диаграммѣ толстой линіей. Критическое давление для впуска получается изъ соотношенія  $p_v : p_a = 0,555 = p_v : 6,1$ .

Отсюда  $p_v = 3,3855$ .

Для періода выпуска полагаютъ противодействие  $p_v = 1$  атмосферѣ (абсолютной), а тогда  $p_a = 1,8$  абс. атм.

Вѣсъ и треніе, фигурирующие въ разсматриваемомъ вопросѣ, учитываются слѣдующимъ образомъ: если молотокъ наклоненъ къ вертикали подъ угломъ въ  $30^\circ$ , то составляющая вѣса въ направленіи движенія будетъ

$$p_b = 0,58 \sin 30^\circ = 0,29 \text{ килограмма.}$$

Или, относя эту цифру къ кв. сантиметру площади поршня  $F$ ,

$$0,29 : \frac{\pi d_2^2}{4} = 0,0356 \text{ килограмма.}$$

При рабочемъ ходѣ эта сила будетъ ускорять движеніе, а при обратномъ ходѣ вверхъ замедлять.

Сила тренія тоже находится безо всякаго труда

$$p_{тр} = 0,58 \cos 30^\circ \cdot 0,15 = 0,0753 \text{ килограмма}$$

или на одинъ кв. сантиметръ

$$0,0753 : 8,1384 = 0,0094 \text{ килограмма}$$

Сила тренія всегда является вреднымъ сопротивленіемъ.

Построеніе кривой  $d—e$ . Относительно построения этого криволинейнаго отръзка Мёллеръ говоритъ нѣсколько туманно. Слѣдующія соображенія, поясняемая попутно расчетомъ, должны устранить видимую неясность. Допустимъ, что теченіе кривой отыскивается отъ точки, въ которой давленіе  $p_1 = 6,1$  абс. атм. Въ этотъ моментъ позади поршня будетъ отдѣленъ объемъ воздуха

$$V_1 = 5,88 \cdot 8,134 = 47,854 \text{ куб. сент.}$$

Разстояніе поршня отъ поворотной (мертвой) точки равно 0,1 сент. При дальнѣйшемъ движеніи поршня на путь  $dS_1 = 0,2$  сентим., давленіе падеть на 0,05 атмосферы. Итакъ, абсолютное давленіе  $p_2$  будетъ равно 6,05 атмосферы. Объемъ же возрастетъ на  $dV_1 = 0,2 \cdot 8,1348 = 1,628$  куб. сент.

Теперь нужно опредѣлить давленіе для дальнѣйшаго движенія поршня на пути  $dS_2 = 0,2$  сент, что должно соответствовать новому увеличенію объема на  $dV_2 = 1,628$  куб. сент.

Скорость поршня во второй точкѣ будетъ  $V = \sqrt{\frac{p_m \cdot F \cdot S \cdot 2}{m}}$ .

Здѣсь  $p_m = 5$  атм. представляетъ среднее давленіе на верхнюю сторону поршня. Отсюда необходимо вычестъ среднее давленіе 0,667 атмосферы на нижнюю сторону поршня и треніе  $p_{тр} = 0,0094$  атм., да прибавить силу вѣса  $p_b = 0,0356$ .

Такимъ образомъ,

$$p_m = 5 - 0,667 - 0,0094 + 0,0356 = 4,409 \text{ атмосферы.}$$

Далѣе.  $F = 8,1384$ ;  $S = 0,12 + 0,20 = 0,32 = 0,0032$  метра, а масса  $m$  равняется  $0,58 : 0,81 = 0,0592$ .

Такимъ образомъ,  $V = \sqrt{\frac{4,409.8,1384.0,0032}{0,0296}} = 2,05$  метра.

$$dt = \frac{dS}{V} = \frac{0,002}{2,05} = \approx 0,001 \text{ секунды.}$$

Теперь опредѣлимъ объемъ  $dV'$ . Въ виду того, что воздухъ входитъ черезъ два отверстія съ сѣченіемъ  $f$

$$dV' = 2. f. u. dt.$$

Но  $2f = \frac{2\pi S^2}{4} = 0,3925$  кв. сент

$$\text{Значитъ } U = 0,9.755 \sqrt{1 - \left(\frac{6,05}{6,10}\right)^5} = 2759 \text{ сент.}$$

Слѣдовательно,

$$dV' = 0,3925.2759.0,001 = 1,12 \text{ куб. сент.}$$

Паденіе давленія  $dp$  опредѣлится изъ ранѣ приведенной формулы

$$dp = \frac{p'dV' - p_2 dV_2}{V_3}$$

Такъ какъ здѣсь  $p' = p_2$ , а  $V_3 = V_1 + dV_1 + dV_2 = 51,11$  куб. сент.

$$\text{то } dp = \frac{(1,12 - 1,628) 6,05}{51,11} = -0,06.$$

Въ концѣ концовъ

$$p_3 = p_2 + dp = 6,05 - 0,06 \approx 6 \text{ атм.}$$

Если  $p_2 = 6$  абсолютныхъ атмосферъ. Тогда

$$U = 0,9.755 \sqrt{1 - \left(\frac{6}{6,1}\right)^5} = 39,10 \text{ метр.}$$

$$dV' = 2.0,1964.3910.0,001 = 1,584 \text{ куб. сент.}$$

$$dp = \frac{(1,584 - 1,628) 6}{51,11} = -0,004$$

$$p = 6 - 0,004 = \approx 6 \text{ атм.}$$

Это вычисленіе показываетъ, что при обоихъ допущеніяхъ конечное давленіе будетъ приблизительно одно и то же.

Наблюдая порядокъ послѣдовательности во времени, мы должны отмѣтить, что за періодомъ впуска начинается чистое расширеніе между точками  $e$  и  $f$  діаграммы. Кривая  $e-f$  строится изъ нулевой точки системы. Между точками  $f-g$ , когда наступаетъ расширеніе и выпускъ, кривая строится такъ же, какъ кривая между точками  $d-e$ , съ той лишь разницей, что здѣсь  $p_a$  означаетъ давленіе въ молоткѣ, а  $p_c$  атмосферное давленіе.

Наконецъ, въ моментъ удара напряженіе давленія падаетъ. Ко-снувшись рѣзца, поршень отскакиваетъ но съ меньшей скоростью, чѣмъ онъ обладалъ при прямомъ ходѣ. Послѣ удара начинается обратный ходъ, характеризующійся возникновеніемъ комбинированнаго сжатія и выпуска (кривая II) и т. д.

Къ стр. 13. Если „ $a$ “ въ метрахъ высота паденія, а „ $b$ “ высота подскока, то скорость удара  $V_1 = \sqrt{2ga}$  а скорость отскакиванія  $V_2 = \sqrt{2gb}$ .

Слѣдовательно,  $V_2 : V_1 = \sqrt{b} : \sqrt{a}$ .

Къ стр. 15. Указывая на то, что не вся работа удара утилизируется въ молоткѣ, Мёллеръ лишь констатируетъ фактъ, но не даетъ представленія о величинѣ этой потери. А между тѣмъ произвести подсчетъ не представляетъ никакаго труда. Въ самомъ дѣлѣ, если поршень ударяется со скоростью  $V$ , а отскакиваетъ со скоростью  $V_1$ , то полезная работа удара будетъ примѣрно  $\frac{mV^2 - mV_1^2}{2}$ .

Допуская для примѣра, что  $V_1 = V/4$ , получимъ величину полезной

работы  $\frac{15}{16} \frac{mV^2}{2}$ .

Другія потери, какъ напр., сопротивленіе воздуха вовсе не учитываются Мёллеромъ, а между тѣмъ при тѣхъ большихъ скоростяхъ, которыми обладаетъ поршень, а съ нимъ и рѣзецъ, штампъ (см. изслѣдованіе пневматическихъ молотковъ по Барилю, Зап. Екатеринбург. отдѣленія Император. Русскаго Технич. Общества 1910 г.), эти потери не настолько маловажны, чтобы ими можно было пренебрегать въ деликатныхъ орудіяхъ, и тѣмъ болѣе, что и учесть ихъ не представляетъ труда.

Мы просто воспользуемся общепринятой формулой для сопротивленія воздуха (см. Вельнеръ, Летательныя машины стр. 9)

$$W = a F \frac{\gamma}{g} V^2 = 0,125 F V^2$$

Потомъ нельзя конечно упускать изъ виду умѣнья рабочаго обра- щаться съ орудіемъ. Но учесть индивидуальныя черты рабочаго язы- комъ анализа задача очень затруднительная.

**Къ стр. 19.** Теоретическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія опре- дѣляется отношеніемъ

$$\eta_i = \frac{1,11}{2,63} = 0,422.$$

На самомъ дѣлѣ, онъ будетъ нѣсколько меньше, такъ изъ преды- дущаго ясно, что часть энергіи движущагося поршня пойдетъ на подскокъ. Итакъ, болѣе правильнымъ будетъ посчитать коэффициентъ полезнаго дѣйствія такъ

$$\eta_i = \frac{1,11 - \frac{1}{16} \cdot 1,11}{2,63} = 0,40.$$

Тоже самое надо сказать и относительно коэффициента полезнаго дѣйствія всей установки

$$\eta = \frac{1,11}{7,60} = 0,146 \text{ (по Мёллеру); } \eta = \frac{1,04}{7,60} = 0,137 \text{ (болѣе правильно).}$$

Изъ всей работы Мёллера это мѣсто является наиболѣе уязви- мымъ. Ужъ слишкомъ велика разница между 0,422 и 0,146 или, при- нимаю поправку между 0,4 и 0,137. Удовлетвориться поясненіемъ, что большія потери обусловливаются неплотностями въ соединеніяхъ и работой тренія воздуха о стѣнки воздухопровода, потерями въ ком- прессорѣ, отъ охлажденія воздуха и т. д., едва ли возможно, такъ какъ новѣйшія компрессорныя установки не такъ уже плохи. Вѣ- роятнѣе всего, что тутъ грѣхъ таится въ неточности отъ допущенія формулы Цейнера, такъ какъ здѣсь между питателемъ и приѣмникомъ находится промежуточный проводъ, соединительное звено. Здѣсь надо обратить вниманіе на паденіе напряженія упругости воздуха во время впуска. Нельзя допустить, что въ рукавѣ по всей длинѣ постоянное давленіе.

Я постараюсь пояснить это положеніе на примѣрахъ. Давленіе въ газовомъ потокѣ связано съ квадратомъ скорости такой зависимостью: увеличивается квадратъ скорости, уменьшается давленіе, и наоборотъ. Но въ каналѣ, рукавѣ, трубѣ при установившемся движеніи скорость



движущихся частицъ измѣняется въ зависимости отъ величины поперечнаго сѣченія газопровода. А это сѣченіе никогда не бываетъ неизмѣннымъ.

Далѣе. При легкомъ газѣ болѣе правильно полагать, согласно гипотезѣ профессора В. Е. Грумъ-Гржимайло, обоснованной прекраснымъ образомъ І. Есьманомъ, что движеніе это можно уподобить не только движенію капельныхъ жидкостей въ трубопроводахъ подъ давленіемъ, но и движенію самотекомъ въ открытыхъ каналахъ. Въ послѣднемъ случаѣ движеніе можно уподобить движенію въ обращенной вверхъ дномъ рѣкѣ. Затѣмъ. Какъ только откроются впускныя окна, сейчасъ же начнется расширеніе, а значить паденіе давленія (до прихода воздуха изъ питателя). Слишкомъ короткій путь перехода изъ конца рукава черезъ окна въ самый цилиндръ вполне допускаетъ такую возможность. Едва ли правильно допущеніе, что среднее впускное давленіе по манометру исключаетъ ошибку. Манометръ находится на разстояніи 40 сантиметровъ отъ молотка, и это обстоятельство играетъ большую роль. Много вѣроятія, что давленіе предъ молоткомъ гораздо ниже того, что принимаетъ Мёллеръ. Что касается наивысшаго давленія передъ молоткомъ, то оно будетъ близко къ показаніямъ манометра.

Далѣе давленіе или упругость воздуха должна еще понизиться отъ закругленій въ воздухопроводѣ. Введеніе коэффиціента 0,9 для скорости, какъ учетъ потерь на закругленія, колѣна, переходы и т. д., ни въ какомъ случаѣ нельзя признать достаточнымъ.

На основаніи этихъ соображеній при построеніи діаграммы надо имѣть въ виду, что кривая впуска будетъ лежать ниже, чѣмъ у Мёллера, но насколько, этотъ вопросъ можетъ быть разрѣшенъ въ положительномъ смыслѣ только опытомъ и въ каждомъ случаѣ отдѣльно.

Потомъ надо имѣть въ виду, что часть теплоты воздуха при переходѣ черезъ каналы передается самому молотку и частью лучеиспускается.

Это явленіе относится къ категоріи процессовъ необратимыхъ. Для полноты изслѣдованія необходимо было бы опредѣлить и эту потерю, и если бы она была значительна, то нужно было бы выработать новый принципъ построенія деликатныхъ орудій, подобныхъ пневматическимъ, въ которыхъ проведена была бы идея наименьшей поверхности для лучеиспусканія или же принципъ сосуда Дьюара.

### Поясненія къ діаграммамъ таблицы:

1. Діаграмма молотка фирмы „Коллетъ Энгельгардъ“ (черт. 5). Діаметры поршня 30—32 миллиметра; вѣсъ поршня 0,58 килограмма; среднее давленіе впуска 5,1 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,25. Масштабы для подъема 12,5 миллиметра = 10 миллиметра; для давленія 12,5 милл. = 1 атмосферѣ; для скоростей 12,5 милл. = 1 метру въ секунду.

2. Діаграмма молотка фирмы „Коллетъ Энгельгардъ“ (черт. 8). Діаметры поршня 30—32 миллиметра; вѣсъ поршня 0,58 килограмма; среднее давленіе впуска 5,1 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,15. Масштабы для подъема 12,5 миллиметра = 10 миллиметра; для давленія 12,5 милл. = 1 атмосферѣ; для скоростей 12,5 милл. = 1 метру въ секунду.

3. Діаграмма молотка фирмы „Коллетъ Энгельгардъ“ (черт. 9). Діаметры поршня 30—32 миллиметра; вѣсъ поршня 0,58 килограмма; среднее давленіе впуска 5,1 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,35; масштабы для подъема 12,5 милл. = 10 миллиметра; для давленія 12,5 миллиметра = 1 атмосферѣ; для скоростой 12,5 миллиметра = 1 метру въ секунду.

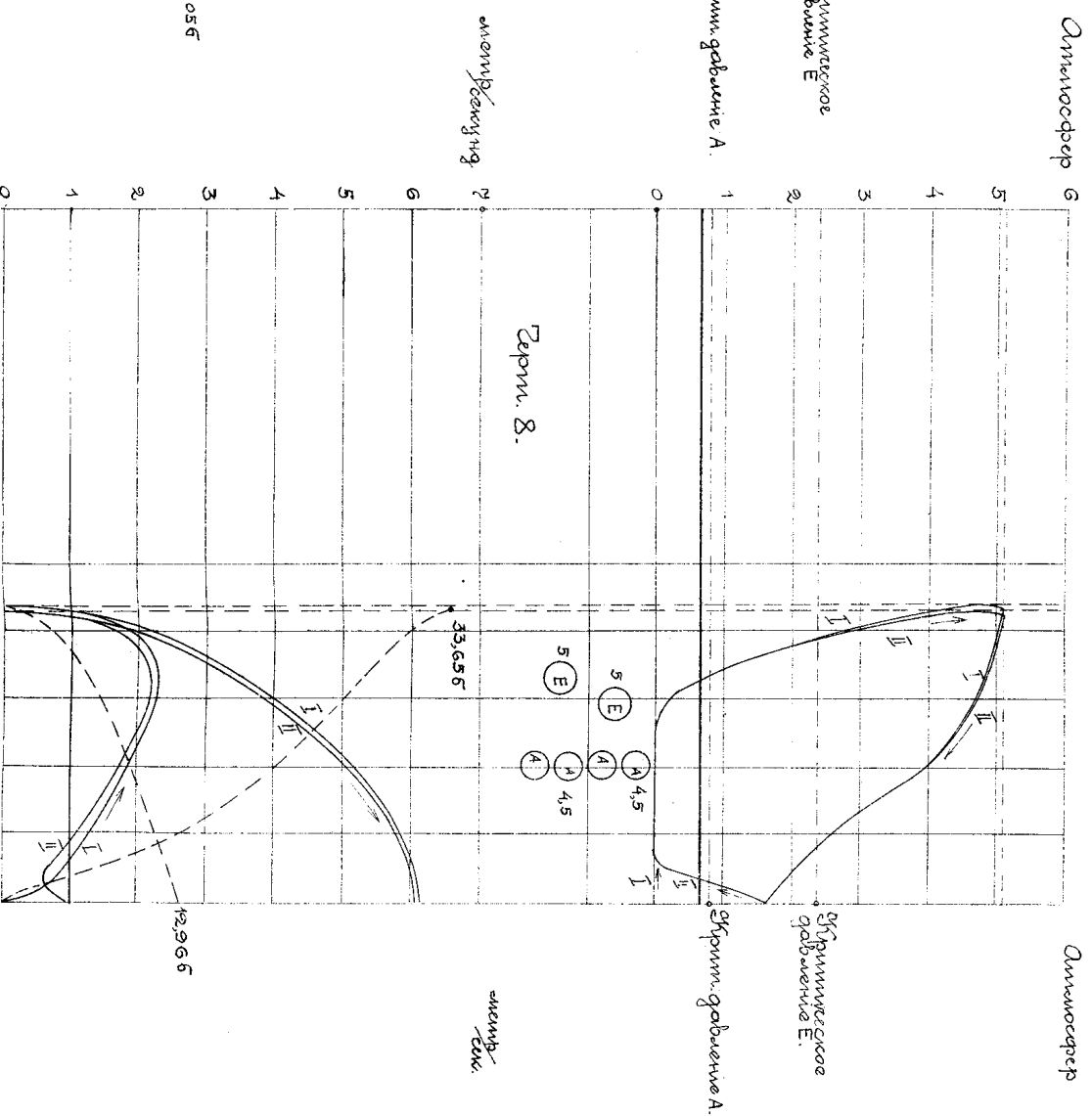
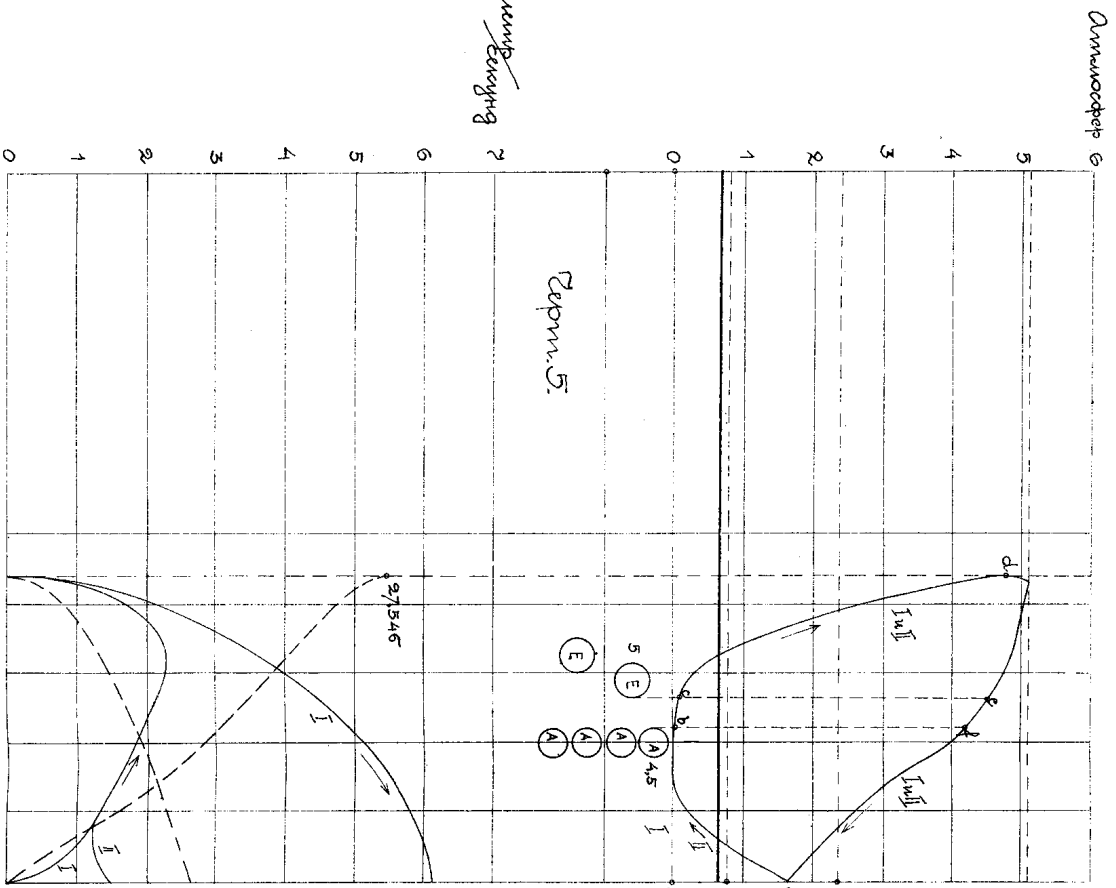
4. Діаграмма молотка фирмы „Коллетъ Энгельгардъ“ (черт. 11). Діаметры поршня 30—32 миллиметра; вѣсъ поршня 0,58 килограмма; среднее давленіе впуска 4,5 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,25; Масштабы для подъема 12,5 милл. = 10 миллиметра; для давленія 12,5 миллиметра = 1 атмосферѣ; для скоростей 12,5 миллиметра = 1 метра въ секунду.

5. Діаграмма молотка фирмы „Коллетъ Энгельгардъ“ (черт. 12). Діаметры поршня 30—32; вѣсъ поршня 0,58; среднее давленіе впуска 5,7 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,25; масштабы для подъема 12,5 милл. = 10 милл.; для давленія 12,5 милл. = 1 атмосферѣ; для скоростей 12,5 миллиметра = 1 метръ въ секунду.

6. Діаграмма молотка фирмы „Покорни—Виттекиндъ“ (черт. 15). Діаметръ поршня 26 милл.; вѣсъ поршня 0,365 klg.; среднее давленіе впуска 5,1 атмосферы; коэффициентъ отскакиванія 0,25; масштабы для подъема 12,5 милл. = 10 милл.; для давленія 12,5 милл. = 1 атмосферѣ; для скоростей 12,5 миллиметра = 1 метръ въ секунду.

---

Къ статья С. К. Колюхова „Ислѣдованіе пневматическихъ молотковъ“ (по П. Мюллеру).



Окулярный

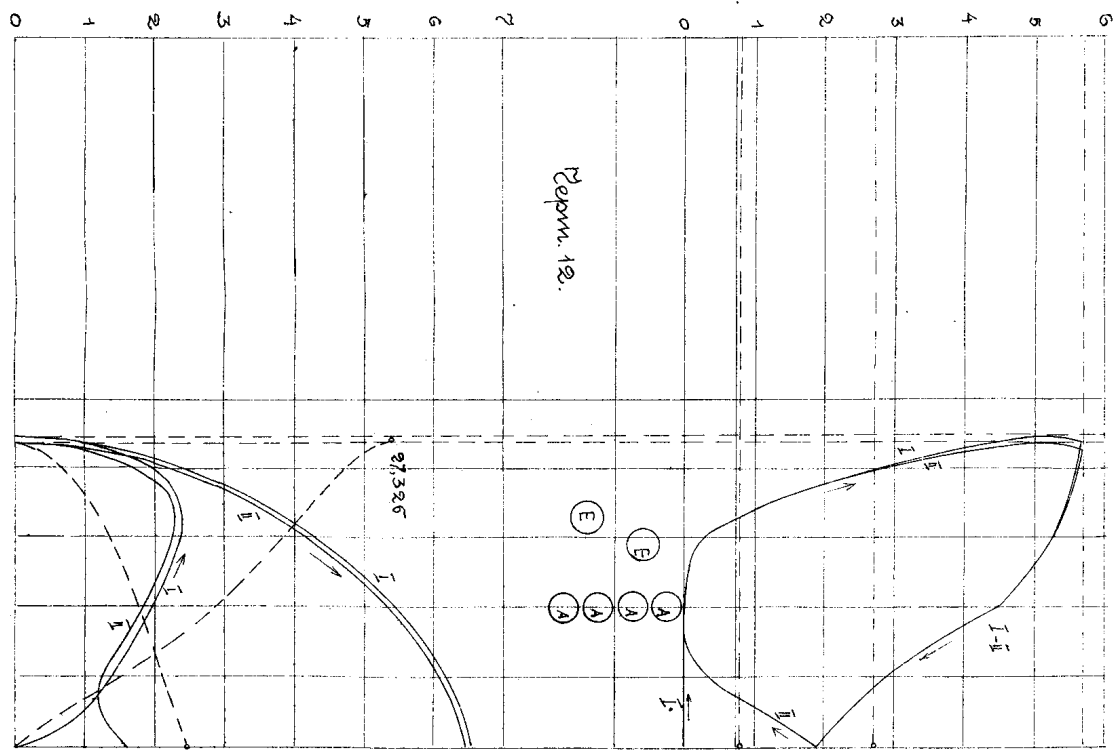


Рис. 12.

Кривые габаритов А  
Кривые габаритов Е

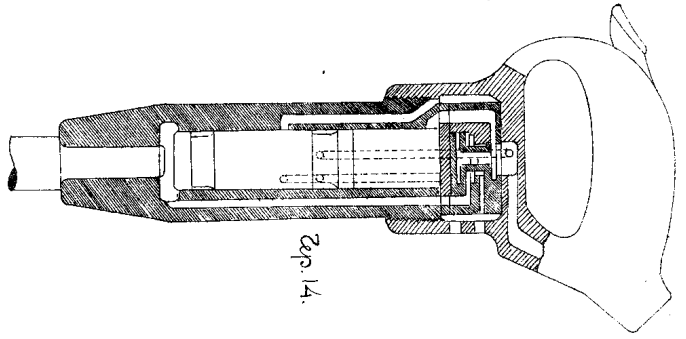
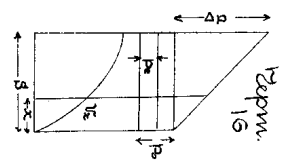
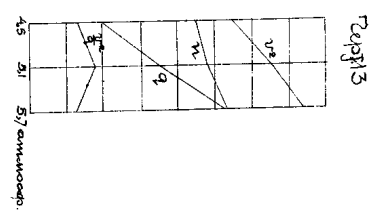


Рис. 14.

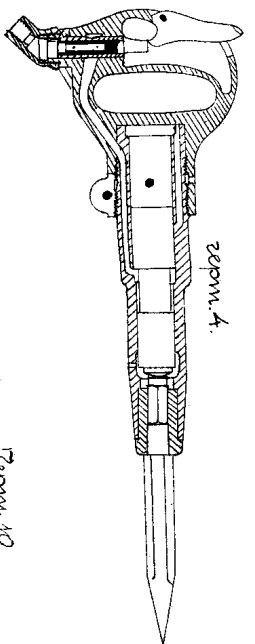


Рис. 4.

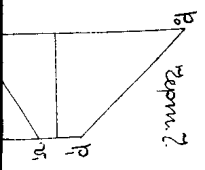


Рис. 7.

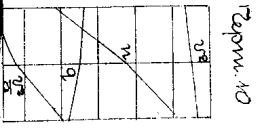


Рис. 10.

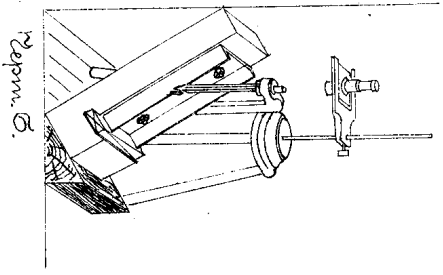


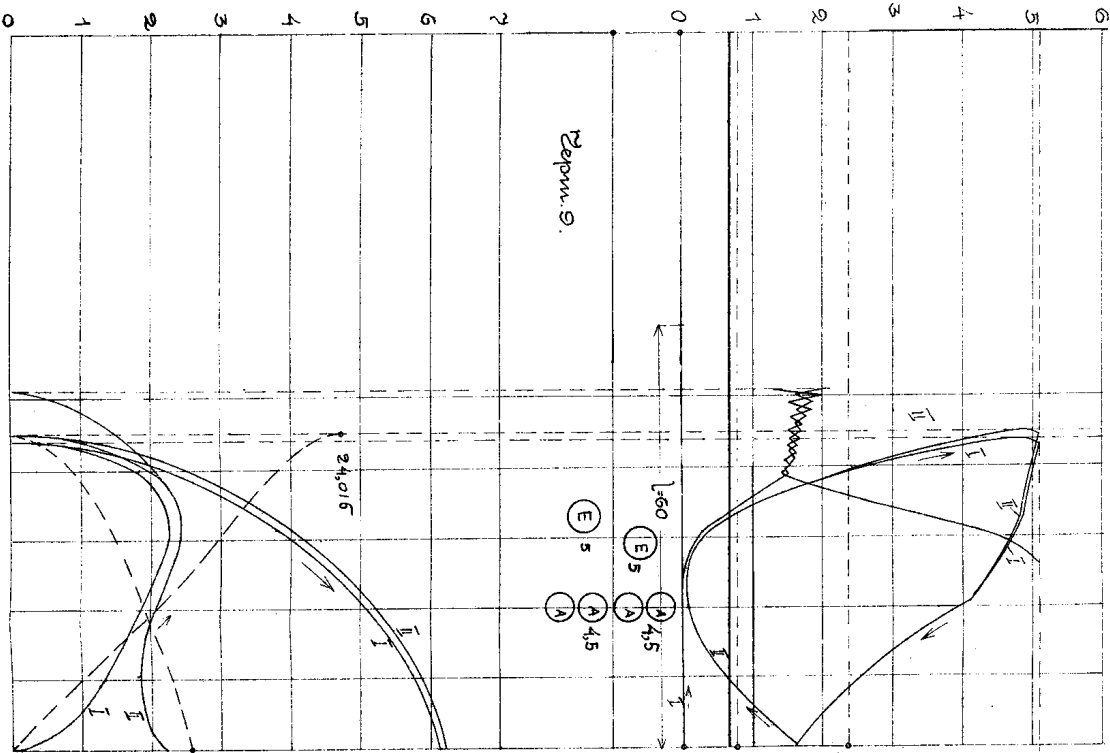
Рис. 8.

суммарно

Кривые габаритов А.  
Кривые габаритов Е.

12366

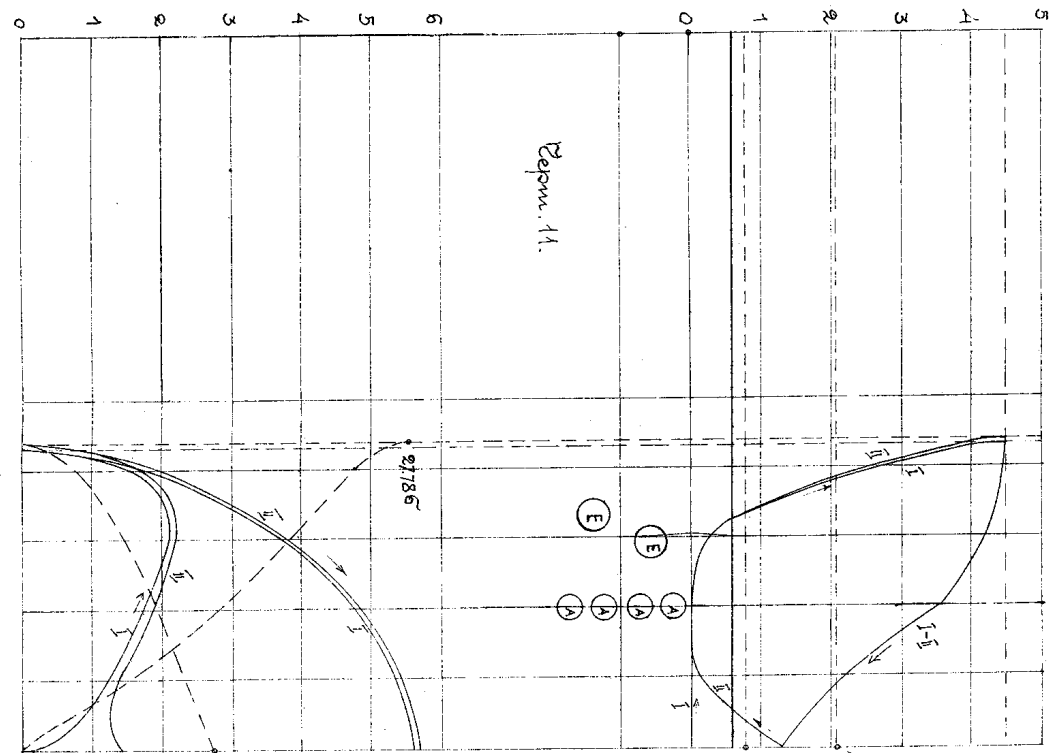
Оммуооорер 6



Оммуооорер 7

Вопрос 9.

Оммуооорер 5

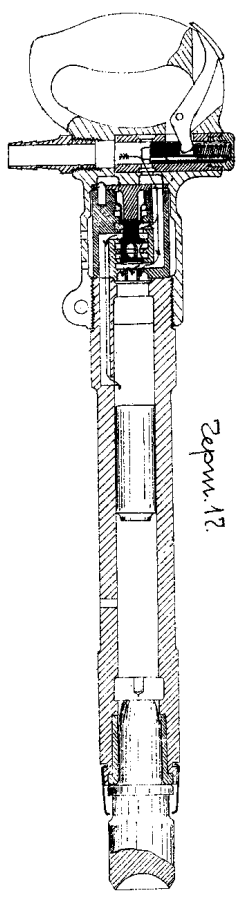
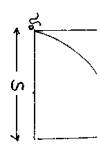


Оммуооорер 4

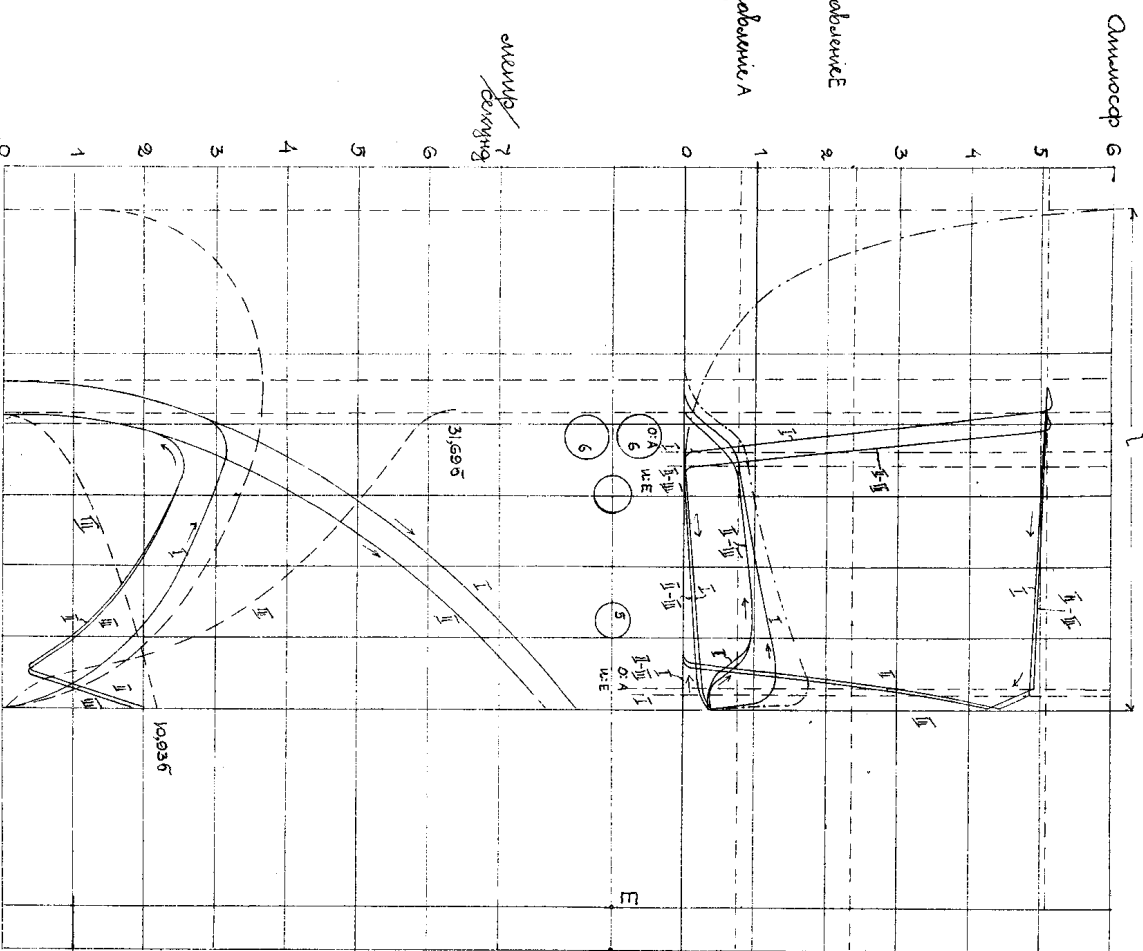
Вопрос 11.

Оммуооорер 6

Оммуооорер 7

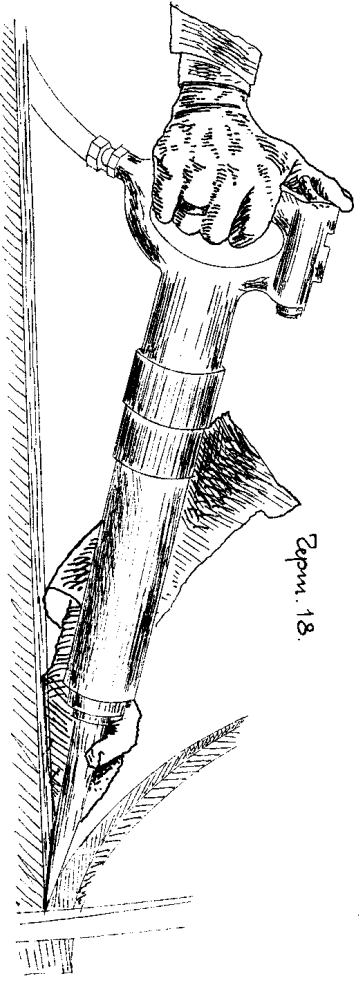


Кривизна гауби E  
Кривизна гауби A



Отстояние  
Отстояние

13.375



Зерни. 18.