

# Изслѣдованіе пневматическихъ молотковъ по Барилію.

С. К. Конюховъ.

Изобрѣтеніе пневматическихъ молотковъ, имѣющихъ въ настоящее время въ технику столь обширное и многообразное примѣненіе, относится къ семидесятымъ годамъ прошлаго столѣтія. Трудно рѣшить, кому въ дѣйствительности принадлежитъ плодотворная идея примѣнить сжатый воздухъ для такихъ мелкихъ работъ, какъ клепка, чеканка, штамповка обрубка и т. д., такъ какъ американцы называютъ первыми изобрѣтателями подобнаго рода пневматическихъ орудій дантистовъ Бенистера и Грина, а англичане Макферлена Грея. Одно однако несомнѣнно, что первое дѣловое примѣненіе этихъ орудій надобно безусловно приписать практичнымъ американцамъ.

Какъ ни разнообразны по своей конструкціи пневматическіе ударники, а въ частности молотки, насчитываемые теперь, судя по патентамъ, прямо сотнями, въ нихъ все же можно различить три существенныя части: 1) распредѣлительный органъ для регулированія входа и выхода въ молотокъ сгущеннаго воздуха 2) цилиндръ, обычно открытый съ одной стороны для пропуска хвоста рабочаго инструмента, каковы напр. рѣзецъ, штампъ, пуансонъ и т. д. 3) поршень.

Затѣмъ молотки очень удобно можно раздѣлить на двѣ группы: въ одной распредѣленіе воздуха производится самымъ движущимся поршенькомъ. Эта группа молотковъ безъ клапановъ. Въ другой для распредѣленія воздуха служитъ спеціальныи клапанъ, располагаемый обыкновенно около ручки или въ самой ручкѣ орудія. Эта группа молотковъ съ клапаномъ. Въ настоящей статьѣ разсматривается молотокъ безъ клапана, носящій въ технику марку *Q* и *C*. Устройство его хорошо видно изъ чертежа 1 и сводится къ нижеслѣдующему: цилиндръ *B*, поршень *A*, ручка *E*, кольцо *C*, гайка *D* собачка *F* и т. д. изготовлены изъ литой стали. Въ поршнѣ рабочая или ударная часть имѣетъ нѣсколько большій размѣръ, чѣмъ часть противоположной стороны, на которую давитъ воздухъ. Нижняя часть поршня сплошная, а верхняя полая. Въ послѣдней по периферіи расположены по четыре окна *m* и *n*, предназначенныхъ для прохода воздуха. Наверху полой части имѣется короткій ниппель для удобнаго выниманія поршня при разборкѣ молотка. Подводящій воздухъ рукавъ примыкаетъ къ ниппелю *X*. Нажимая пальцемъ на носокъ собачки, мы заставляемъ ее наклониться по направленію стрѣлки, причемъ конецъ прямоугольнаго колѣна упирается въ штифтъ *I*; послѣдній давитъ на поршенекъ *K*, упирающійся въ пружину *R*. Подъ вліяніемъ этого нажатія поршенекъ *K* подается внизъ и открываетъ каналъ *r*. При такихъ условіяхъ воздухъ получаетъ доступъ въ каналъ *Y*, а отсюда по каналу *a* входитъ въ камеру *H*. Главныя положенія поршня *A* показаны на черт. 4--8. Почти по срединѣ цилиндра расположены отверстія *b—b<sub>1</sub>—b* и *c* для выпуска воздуха. Кромѣ этого, въ верхней части поршня имѣется камера *L*, сводящаяся при особыхъ положеніяхъ поршня на вѣтъ.

Пусть поршень занимает верхнее положеніе. Если впустить въ это время воздухъ въ каналъ  $Y$ , каналъ  $a$  и камеру  $H$ , то трубка  $C$  прижмется своимъ нижнимъ краемъ къ узкому бортику цилиндра  $B$ , а поршень продвинется внизъ. Воздухъ, находившійся въ камерѣ  $G$ , уйдетъ черезъ отверстія  $b$  въ атмосферу. Но какъ только отверстія  $b$  закроются утолщенной частью поршня, то воздухъ въ  $G$  начнетъ сжиматься. Поршень все еще продолжаетъ двигаться внизъ, а воздухъ черезъ отверстія  $m$  и  $n$  проникаетъ въ камеру  $G$ . Ударъ слѣдуетъ нѣкоторое время спустя, черт. 7. Вслѣдъ за ударомъ поршень подскакиваетъ, чему способствуетъ, кромѣ упругости соударяющихся тѣлъ, и стремленіе воздуха къ расширенію. Потомъ поршень приходитъ въ положеніе, показанное на черт. 6. Въ этотъ моментъ впускъ воздуха прекращается, и начинается періодъ расширенія, продолжающійся до тѣхъ поръ, пока поршень не займетъ положенія, показаннаго на черт. 8, т.-е. когда откроются отверстія  $b-b$ . Отверстіе  $C$ , расположенное какъ разъ у бортика, въ который упирается кольцо  $C$ , служитъ для отведенія воздуха изъ камеры  $L$ . Однако весь воздухъ не выходитъ изъ этой камеры, и вотъ оставшаяся часть, послѣ закрытія поршнемъ отверстія  $C$ , сильно сжимается и въ такомъ состояніи служитъ упругой подушкой для предохраненія поршня отъ удара на нижнюю часть кольца  $C$ .

Въ молоткѣ наблюдается постоянно одно явленіе: меньшая верхняя сторона поршня подвержена постоянному давленію воздуха, а на нижнюю большую сторону давленіе воздуха дѣйствуетъ послѣдовательно въ такомъ порядкѣ: 1) когда поршень движется сверху внизъ, т.-е. при полезномъ ходѣ: *a*) выпускъ; *b*) чистое сжатіе; *c*) сжатіе и впускъ вмѣстѣ; 2) для обратнаго хода снизу вверхъ; *d*) расширеніе и впускъ вмѣстѣ; *e*) простое расширеніе; *i*) выпускъ.

Соотношеніе между силами, дѣйствующими на поршень, можетъ быть выражено такимъ равенствомъ

$$\frac{\pi d^2}{4} P_r + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a + p - \frac{\pi D^2}{4} P_x = 0. \quad (1)$$

Здѣсь  $d$  означаетъ меньшій діаметръ поршня.

$D$  „ „ большій діаметръ поршня.

$P_r$  „ „ давленіе сжатого воздуха, входящаго въ молотокъ.

Это давленіе немного разнится отъ давленія, питающаго резервуара и, чѣмъ совершеннѣе въ техническомъ отношеніи вся установка, тѣмъ эта разница меньше.

$P_x$  — текущее переменное сжатіе воздуха, находящагося въ камерѣ  $G$ .

$P_a$  — давленіе на единицу поршня

Изъ написаннаго уравненія слѣдуетъ

$$P_x = \frac{\frac{\pi d^2}{4} P_r + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a + p}{\pi D^2/4}. \quad (2)$$

Такъ какъ въ правой части всѣ члены носятъ постоянный характеръ, то измѣненіе  $P_x$  должно всегда влечь за собою нарушеніе ра-

венства. Такимъ образомъ, если  $P_x$  превышаетъ правую часть, то поршень поднимается, а при обратномъ соотношеніи онъ опускается. Слѣдовательно, движеніе поршня опредѣляется закономъ измѣненія  $P_x$ . И такъ все сводится теперь къ опредѣленію законѣрнаго измѣненія  $P_x$ . Но, какъ ни проста такого рода постановка вопроса, все же теоретическое рѣшеніе представляетъ очень трудную задачу. Примѣрное рѣшеніе интересующаго насъ вопроса можно найти въ статьѣ Хюгоньо (Hugoniot, Journal de l'École polytechnique 58, 1889, „Memoire sur la propagation du mouvement dans les corps et specialement dans les gaz parfaits“). Въ этой статьѣ поставлена такая задача: газъ заключенъ въ цилиндръ, одно изъ основаній котораго неподвижно, а другое представляетъ поршень съ массой  $M$ . Внѣшнее давленіе на поршень въ расчетъ не берется. Система находится въ равновѣсїи и представлена самой себѣ. Нужно опредѣлить движеніе поршня и газа. Своевременно эта задача интересовала многихъ геометровъ, но болѣе удачно разрѣшилъ ее Лягранжъ въ мемуарѣ, изданномъ послѣ его смерти Пуассономъ.

Приблизительно дѣло сводится къ слѣдующему: опредѣлить для каждаго очень малаго хода поршня, соответствующаго очень короткому промежутку времени, скорость поршня и давленіе  $P_x$  въ камерѣ  $G$ . Не рискуя властью практически въ большую погрѣшность, можно допустить, что въ теченіе 0,001 секунды и давленіе и скорость остаются постоянными. Поршень находится вертикально въ верхнемъ положеніи и готовъ нанести ударъ на стальную полосу. Простоты ради Бариль пренебрегаетъ треніемъ.

Разсмотримъ полезный ходъ поршня сверху внизъ. Здѣсь можно различить три слѣдующихъ фазы.

1. Выпускъ на большой сторонѣ поршня въ камерѣ  $G$ . Уравненіе движенія будетъ таково

$$\frac{m V_1^2}{2} - \frac{m V_0^2}{2} = \left[ \frac{\pi d^2}{4} P_r + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a + p - \frac{\pi D^2}{4} P_x \right] l$$

Здѣсь  $V_0 = 0$ , такъ какъ движеніе безъ начальной скорости;  $V^1$  означаетъ скорость поршня послѣ того, какъ онъ прошелъ путь 0,03 м. Въ изслѣдуемомъ молоткѣ размѣры діаметровъ и площадей поршня были таковыми

$$d = 25,8 \text{ мм. } \frac{\pi d^2}{4} = 5,23 \text{ см}^2.$$

$$D = 34,2 \text{ мм. } \frac{\pi D^2}{4} = 9,51 \text{ см}^2.$$

$$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} = 4,28 \text{ см}^2.$$

$$p = 0,515 \text{ кгр.}; m = \frac{p}{g} = 0,0524; l = 0,013 \text{ м.}$$

Что касается давленія, то  $P_r = 5 \text{ кгр./см}^2$ ;  $P_a = 1 \text{ кгр./см}^2$ .

$P_x = 1$  кгр./см<sup>2</sup>. Относительно  $P_x$  слѣдуетъ замѣтить, что, принимая его равнымъ 1 кгр./см<sup>2</sup>, руководятся такимъ соображеніемъ: въ наблюдаемый періодъ господствуетъ выпускъ воздуха изъ камеры  $G$  въ атмосферу, а сѣченія  $b-b$  настолько велики, что противодавленія не будетъ. Подставляя цифровыя данныя въ уравненіе движенія, получаемъ

$$\frac{m V_1^2}{2} = 0,279; V_1 = 3,65 \text{ метр. въ секунду.}$$

II фаза. Сжатіе. Чистое сжатіе длится на протяженіи 9 миллиметровъ. Къ концу періода давленіе  $P_x =$  становится равнымъ

$$P_x = \frac{73,22}{6466} = 1,13.$$

Здѣсь 73,22 см<sup>3</sup>. представляютъ объемъ, занимаемый воздухомъ въ началѣ сжатія. Въ составъ этого объема входятъ три части: 1) воздухъ въ камерѣ  $G$ ; 2) воздухъ въ коробкѣ поршня и 3) воздухъ въ камерѣ или трубкѣ поршня. Такъ какъ начальное давленіе  $P_x$  было равно 1 кгр./см<sup>3</sup>, а конечное 1,13, то среднее давленіе будетъ

$$P_x = \frac{1 + 1,13}{2} = 1,065 \text{ кгр./см}^2.$$

Далѣе можно написать  $\frac{m V_2^2}{2} - \frac{m V_1^2}{2} = \left[ \frac{\pi d^2}{4} P_r + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a + p - \frac{\pi D^2}{4} P_x \right] l_2 = (30,945 - 951 \cdot 1,065) \cdot 0,009 = 0,187.$

Но такъ какъ  $\frac{m V_1^2}{2} = 0,279$ , то  $\frac{m V_2^2}{2} + 0,279 + 0,187 = 0,466$ , а  $V_2 =$

$$= \sqrt{\frac{0,466 \times 2}{0,0524}} = 4,22 \text{ м./сек.}$$

III фаза. Сжатіе комбинируется со впускомъ. Эта фаза распространяется на участкѣ въ 15 мм. По Вейсбаху скорость воздуха опредѣляется формулой

$$W = \sqrt{2g \frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{R T_0} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{P_1}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}}}.$$

На тотъ случай, когда  $p_1 \leq 0,52 p_0$ , эта формула можетъ быть приведена къ болѣе простому виду

$$w = \varphi \cdot 11,6 \sqrt{T_0}.$$

Въ этой упрощенной формулѣ  $T_0$  означаетъ абсолютную температуру, а  $\varphi$  коэффициентъ, характеризующій сѣченіе каналовъ, по кото-

рымъ течетъ воздухъ. Для нашего случая его можно принять равнымъ 0,41.

Сѣченіе каналовъ  $n$  равно 0,40 см<sup>2</sup>. Слѣдовательно, въ теченіе 0,001 сек. войдетъ воздуха, приведеннаго къ атмосферному давленію,

$$Q = \frac{\omega}{1000} \cdot 0,40 \cdot P_r.$$

Останавливаясь на нѣкоторой температурѣ входящаго воздуха, равной 17° Ц; получимъ

$$W = 0,41 \cdot 11,6 \sqrt{290} = 0,41 \cdot 11,6 \times 17 = \approx 81 \text{ м./сек.}$$

А тогда

$$Q = \frac{8100 \times 0,40 \times 5}{1000} = 16,2 \text{ см.}^3$$

Такимъ образомъ, количество воздуха, заключенное въ камерѣ  $G$  и измѣренное при атмосферномъ давленіи, будетъ

$$64,66 + 1,13 + 16,2 = 89,27 \text{ см.}^3.$$

Полагая по прежнему, что въ теченіе 0,001 сек. поршень движется съ постоянной скоростью, легко найдемъ пройденный путь  $4,22 : 1000 = 0,422$  см. Новый объемъ воздуха будетъ такимъ образомъ равенъ

$$64,66 - (9,51 \times 0,422) = 60,66 \text{ см.}^3.$$

Слѣдовательно,

$$P_x = \frac{89,27}{60,66} = 1,46 \text{ кгр./см.}^2.,$$

а среднее сжатіе

$$\frac{1,46 + 1,13}{2} \approx 1,30.$$

Напишемъ опять уравненіе живыхъ силъ

$$\frac{m V_3^2}{2} - \frac{m V_2^2}{2} = \left[ 30,945 - (9,45 \times 1,30) \right] 0,00422 = 0,078745.$$

Но, такъ какъ

$$\frac{m V_2^2}{2} = 0,466, \text{ то } \frac{m V_3^2}{2} = 0,466 + 0,078745 = 0,544745$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{0,5447 \times 2}{0,0524}} = 4,55 \text{ м./сек.}$$

Такимъ путемъ найдемъ для послѣдующихъ промежутковъ времени  $b_0 = c_0 = 0,001$  сек. давленія  $P_x$  и скорости  $V$

$b_0 = 0,001$	$P_x = 1,87$	$V_4 = 4,84$
$c_0 = 0,001$	$P_x = 2,33$	$V_5 = 5,04$
$d_0 = 0,001$	$P_x = 2,50$	$V_6 = 5,10$

Скорость  $V_6$  будетъ скоростью удара поршня о рѣзецъ. Соответствующая этому моменту живая сила превращается отчасти въ полезную работу, а отчасти на сообщеніе поршню отскакиванія. Такимъ образомъ, это отскакиваніе поглощаетъ часть полезной работы. Вотъ почему въ воздушныхъ молотахъ, предназначенныхъ для болѣе или менѣе тяжелыхъ поковокъ, и стараются конструкторы добиться прилипающаго удара.

### Обратный ходъ.

При обратномъ ходѣ тоже можно различить три характерныхъ фазы.

I. Расширеніе и выпускъ вмѣстѣ. Начало этой фазы характеризуется отталкиваніемъ поршня въ обратномъ направленіи, такъ что камера  $G$  постепенно увеличивается. Въ образующееся разрѣженное пространство непрерывно втекаетъ воздухъ. При такихъ условіяхъ въ камерѣ  $G$  и будетъ комбинированіе расширенія и выпуска. Путемъ опытовъ Бариль нашель, что поршень, будучи расположенъ вертикально по отношенію къ обрабатываемой стальной плитѣ и, ударяясь о послѣднюю со скоростью 5,1 м./сек., отскакиваетъ со скоростью 0,82 м./сек.

Въ теченіе одной тысячной секунды поршень пройдетъ путь 0,082 см., а объемъ вошедшаго воздуха будетъ 16,10 см<sup>3</sup>. Въ камерѣ  $G$ , когда поршень соприкасался съ рѣзцомъ, было воздуха 50,41 см<sup>3</sup>. да при движеніи поршня вверхъ въ теченіе 0,001 сек. войдетъ  $9,52 \times 0,082 = 0,78$  см<sup>3</sup>.

Такимъ образомъ, при отскакиваніи поршня въ теченіе 0,001 сек. снизу молотка будетъ объемъ.

$$50,41 + 9,51 \times 0,082 = 51,19 \text{ см}^3.$$

Если привести прежній воздухъ въ объемѣ 50,41 при давленіи въ 2,5 кгр. см<sup>2</sup>. къ атмосферному давленію и приложить къ нему объемъ 16,10 см<sup>3</sup>, то получимъ объемъ 142,12 см<sup>3</sup>. Такъ какъ теперь этотъ воздухъ занимаетъ объемъ 51,19 см<sup>3</sup>, то давленіе  $P_x$  будетъ

$$P_x = \frac{142,12}{51,19} = 2,78 \text{ кгр./см}^2.$$

Но, въ концѣ нисходящаго движенія поршня это давленіе было равно 2,5 кгр./см<sup>2</sup>., слѣдовательно, среднее давленіе будетъ

$$\frac{2,78 + 2,50}{2} = 2,64 \text{ кгр./см}^2.$$

Чтобы узнать скорость въ концѣ 0,001 сек. послѣ отскакиванія напишемъ уравненіе живыхъ силъ

$$\frac{m V_1^2}{2} - \frac{m V_0^2}{2} = (9,51 \times 2,64 - 30,945) 0,00082 = - 0,0042.$$

Отсюда, подставляя значеніе для  $V_0 = 0,82$  и  $\frac{m V_0^2}{2} = 0,175$ , получимъ

$$V_1 = \sqrt{\frac{(0,0175 - 0,0042)^2}{0,0524}} = 0,71 \text{ м./сек.}$$

Таблица I даетъ значеніе для  $P_x$  и  $V$  въ концѣ періодовъ  $b-c-d-e\dots$ , равныхъ 0,001 секунды.

Таблица 1.

Періоды.	Продолжительность въ доляхъ секунды.	$P_x$	Значенія $V$ .
		кгр.	метр. секунд.
b	0,001	3,04	$V_2 = 0,67$
c	"	3,20	$V_3 = 0,64$
d	"	3,55	$V_4 = 0,67$
e	"	3,99	$V_5 = 0,72$
f	"	3,99	$V_6 = 0,83$
g	"	4,16	$V_7 = 0,95$
h	"	4,30	$V_8 = 1,12$
i	"	4,42	$V_9 = 1,30$
j	"	4,51	$V_{10} = 1,50$
k	"	4,57	$V_{11} = 1,72$
l	"	4,60	$V_{12} = 1,95$
m	"	4,62	$V_{13} = 2,18$
n	0,000642	4,60	$V_{14} = 2,32$

*II фаза. Расширеніе.* Процессъ расширенія протекаетъ на протяженіи 9 мм. Давленіе  $P$  въ концѣ расширенія 4,06 кгр./см<sup>2</sup>. Если написать опять уравненіе живыхъ силъ, то изъ него безъ труда найдется скорость  $V_{15}$  въ концѣ расширенія. Итакъ,

$$\frac{m V_{15}^2}{2} - \frac{m V_{14}^2}{2} = \left[ 9,51 \left( \frac{4,60 + 4,06}{2} \right) - 30,945 \right] \cdot 0,009 = 0,0922;$$

$$\frac{m V_{14}^2}{2} = 0,1432; \frac{m V_{15}^2}{2} = 0,1432 + 0,0922 = 0,2354; V_{15} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2354}{0,0524}} = 2,99 \text{ м./сек.}$$

*III фаза. Выпускъ.* Прослѣдимъ этотъ періодъ точно также послѣдовательно по точкамъ, беря за интервалы для времени промежутки въ 0,001 сек. Скорость выпуска  $\omega$  опредѣлится такъ же, какъ и ско-

рость впуска, но только здѣсь  $\varphi$  принимается равнымъ 0,8; тогда  $\omega_1 = 158$  м./сек. Начало этой фазы наступаетъ, когда поршень находится въ положеніи, показанномъ на черт. 5. Предполагая по-прежнему, что въ продолженіи 0,001 сек. поршень движется съ постоянной скоростью, мы найдемъ, насколько откроются каналы  $b-b$ , а значить и будемъ знать, сколько выйдеть воздуха. Это количество воздуха будетъ равно 4,62 см<sup>3</sup>. Такъ какъ прежній объемъ воздуха при давленіи  $P = 4,06$  кгр./см<sup>2</sup> былъ 68,6 см<sup>3</sup>, а новый объемъ 76,07 см<sup>3</sup>, то новое давленіе  $P_x$  будетъ равно

$$P_x = \frac{4,06 + 68,6}{76,06} = 3,66 \text{ кгр./см}^2.$$

а среднее давленіе

$$\frac{4,06 + 3,66}{2} = 3,86 \text{ кгр./см}^2.$$

Снова пользуемся уравненіемъ живыхъ силъ для опредѣленія

$$\frac{m V_{16}^2}{2} - \frac{m V_{15}^2}{2} = \left[ (3,86 \times 9,51) - 30,945 \right] 0,00299 = 0,0175.$$

Отсюда находимъ, что

$$V_{16} = \sqrt{\frac{0,2529 \times 2}{0,0524}} = 3,10 \text{ м./сек.}$$

Такимъ путемъ мы найдемъ послѣдовательно значенія  $P_x$  и  $V$  для періодовъ  $o-p-q-z$ . Результаты нанесены на таблицѣ 2.

Таблица 2.

Періоды.	Продолжительность въ доляхъ секунды.	$P_x$	$V$ .
o	0,001	2,93	3,12
p	0,001	2,07	2,98
q	0,001	1,49	2,69
r	0,0003	1,37	2,52

Лишь только поршень, двигаясь по направленію къ ручкѣ, перекрываетъ отверстія  $s$ , черт. 4, то воздухъ, находящійся въ небольшомъ количествѣ между трубкой поршня и стѣнкой этого послѣдняго, сжимается и препятствуетъ удару. Начиная съ этого момента, будетъ справедливо уравненіе живыхъ силъ



$$\frac{m V_{21}^2}{2} - \frac{m V_{20}^2}{2} + \frac{m_1 U_1^2}{2} - \frac{m_1 U_0^2}{2} = T.$$

Здѣсь  $m_1$  масса трубки =  $0,221 : 9,81 = 0,0225$ ;

$U_0$  начальная скорость трубки;

....  $U_1$  скорость той же трубки въ концѣ 0,001 сек. Такъ какъ  $U_0 = 0$ , а  $U_1$  можно положить равной  $V_{21}$ , то уравненіе живыхъ силъ получить видъ

$$\frac{m V_{21}^2}{2} - \frac{m V_{20}^2}{2} + \frac{m_1 V_{21}^2}{2} = T.$$

Входящая въ правую часть этого уравненія величина  $T$  опредѣляется изъ того соображенія, что поверхность, получающая толчокъ, имѣетъ діаметръ  $D_1$ , соотвѣтствующій наибольшему діаметру тѣла цилиндра къ свѣту. Такимъ образомъ,  $U_{21} = 1,17$  м./сек. Сравнивая это значеніе скорости со скоростью  $V_{20}$ , убѣждаемся, что здѣсь происходитъ замѣтное паденіе. Это даетъ намъ право безъ большой ошибки опредѣлить тотъ дополнительный ходъ, когда скорость станетъ равной 0. Для выполненія задачи напишемъ опять уравненіе живыхъ силъ

$$\frac{(m + m_1) V_{22}^2}{2} - \frac{(m + m_1) V_{21}^2}{2} = T = Fx.$$

Здѣсь  $F$  представляетъ результирующую приложенныхъ силъ къ нашей подвижной системѣ, а  $x$  искомый дополнительный ходъ. Въ этомъ уравненіи, согласно только что сказанному, надо положить  $V_{22}$  равной нулю, а тогда

$$x = - \frac{(m + m_1)}{2F} V_{21}^2.$$

Однако значеніе результирующей отрицательно, а поэтому величина  $x$  получаетъ значеніе

$$x = 0,001075.$$

Слѣдовательно, отъ точки отправленія поршень отложилъ путь

$$2,52 + 1,075 = 3,595 \text{ мм.}$$

Характеристикой второго хода поршня являются таблицы 3 и 4.

Таблица 3.—2-й полезный ходъ.

Періоды.	Продолжительность въ секундахъ.	Путь въ миллим.	$P_x$	$V$ метр.
1 фаза.—Выпускъ.				
a	—	2,59	1,00	$V_1=2,17$
b	—	13,00	1,00	$V_2=3,93$
2 фаза.—Сжатіе.				
		9,00	1,13	$V_3=4,74$
3 фаза.—Сжатіе и впускъ вмѣстѣ.				
a	0,001	4,74	1,485	$V_4=5,18$
b	0,001	5,18	1,91	$V_5=5,38$
c	0,000945	5,08	2,26	$V_6=5,56$

Таблица 4.—2-й обратный ходъ.

Періоды.	Продолжительность въ секундахъ.	Путь въ миллиметр.	$P_x$	$V$
1 фаза.—Впускъ и расширеніе.				
a	0,001	0,95	2,65	$V_1=0,83$
b	—	0,83	2,92	$V_2=0,74$
c	—	0,74	3,19	$V_3=0,70$
d	—	0,70	3,43	$V_4=0,71$
e	—	0,71	3,74	$V_5=0,76$
f	—	0,76	3,85	$V_6=0,85$
g	—	0,85	4,03	$V_7=0,96$
h	—	0,96	4,19	$V_8=1,10$
i	—	1,10	4,32	$V_9=1,27$
j	—	1,27	4,42	$V_{10}=1,45$
k	—	1,45	4,50	$V_{11}=1,66$
l	—	1,66	4,53	$V_{12}=1,87$
m	—	1,87	4,54	$V_{13}=2,10$
n	0,00055	1,15	4,56	$V_{14}=2,22$
2 фаза.—Простое расширеніе.				
	—	9,00	4,02	$V_{15}=2,88$
3 фаза.—Выпускъ.				
a	0,001	2,88	3,64	$V_{16}=2,98$
b	—	2,98	2,91	$V_{17}=2,99$
c	—	2,99	2,05	$V_{18}=2,84$
d	—	2,84	1,47	$V_{19}=2,56$
e	0,00053	1,36	1,25	$V_{20}=2,37$
f	0,001	2,37	1,00	$V_{21}=0,98$
g	0,001	0,74	1,00	$V_{22}=0$

Графически эти результаты изображены на черт. 9—11. Здѣсь по оси  $X$ -овъ отложены пройденные пути, а по оси  $y$ -овъ соотв. скорости.

Такимъ образомъ, на черт. 9 нанесенныя кривыя означаютъ:

$ABCD$  первый ходъ впередъ;

$EFGA$  обратный ходъ;

$A^1B^1C^1D^1$  второй ходъ впередъ;

$E_1F_1G_1H_1$  обратный ходъ.

Наконецъ, третій ходъ впередъ начинается въ точкѣ  $H$ .

При помощи этихъ первыхъ кривыхъ нанесены на черт. 9. горизонталями среднія скорости. А именно:

$NN^1$ —для  $ABCD$ , первый ходъ впередъ;

$LL^1$ —для  $EFGA^1$ , " " назадъ;

$II^1$ —для  $A^1B^1C^1D^1$ , второй ходъ впередъ;

$MM^1$ —для  $E^1F^1G^1H^1$ , " " назадъ;

$KK^1$ —для " третій ходъ впередъ.

Видъ этихъ кривыхъ даетъ право сдѣлать слѣдующіе выводы: чѣмъ больше ходъ поршня, тѣмъ больше и скорость въ моментъ удара, тѣмъ слабѣе возвратная скорость, и тѣмъ короче путь.

На черт. 9 точка отправленія  $A$  выбрана произвольно, причемъ для этого хода получилась минимальная скорость  $OD$ . Какъ слѣдствие этого мы получаемъ для перваго хода въ обратную сторону максимальную длину хода  $OA^1$ . Точно также получаетъ и максимальное значеніе скорость. Всѣ кривыя скоростей будутъ лежать между кривыми  $ABCD$  и  $A^1B^1C^1D^1$ , именно вслѣдствіе того, что первая кривая соотвѣтствуетъ минимуму, а вторая максимуму скоростей, какъ слѣдствие максимальной длины хода

Такъ какъ интервалъ между этими кривыми довольно большой, то нужно найти третью кривую, для которой средняя скорость будетъ  $KK^1$ .

Изъ предыдущаго совершенно ясно, что всѣ другія кривыя скоростей рабочаго хода будутъ расположены между кривыми второй и третьей, и т. д. Въ предѣлѣ всѣ кривыя сольются въ одну, совпадающую съ средней арифметической, пролегающей между  $II^1$  и  $KK^1$ .

Совершенно аналогично этому средняя скорость для обратнаго хода пройдетъ между  $LL^1$  и  $MM^1$ .

Теперь переходимъ къ начертанію диаграммы сжатій. На черт. 10 начерчены для рабочаго хода кривыя измѣненія давленій на большой сторонѣ поршня. А именно:

$AVBC$  для передняго хода (перваго);

$AVBF$  для втораго хода;

$AVBD$  для третьяго хода;

$AVBE$  общее среднее давленіе.

Итакъ, если въ концѣ хода скорость минимальная, то давленіе становится наибольшимъ, и обратно.

Что касается противодавленія, которое дѣйствуетъ справа налѣво, то оно постоянно и потому изображается горизонтальной прямою  $RS$ . Величина этого противодавленія опредѣляется слѣдующей формулой

$$\frac{\frac{\pi d^2}{4} P_r + \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a + p}{\pi D^2/4}$$

Здѣсь

$\frac{\pi d^2}{4} P_r$  является давлениемъ на малую площадь поршня;

$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} P_a$  является давлениемъ на кольцевую площадь;

$p$  вѣсъ поршня въ кгр.

$\frac{\pi D^2}{4}$  большая площадь поршня, къ единицѣ поверхности которой и относится противодавленіе.

Комбинированіе кривыхъ давленія и противодавленія доставляетъ новую кривую, представляющую результирующую давленій на поршень. Кривая, нанесенная на черт. 10, *G T H M* представляетъ среднюю кривую давленій. Для обратнаго хода кривая сжатій или, вѣрнѣе, рядъ кривыхъ даны на черт. 11. Такимъ образомъ, значенія  $P_x$  видны изъ кривыхъ

$A_3 A_2 A_1 A$  для перваго хода;

$C_3 C_2 C_1 C$  для втораго хода;

$B_3 B_2 B_1 B$  среднее значеніе.

И здѣсь противодавленіе выразится прямой *R. S.*

Здѣсь слѣдуетъ обратить вниманіе на отрицательныя результирующія  $OD_3$  и  $OF_3$ . Наличіе ихъ указываетъ на то, что предъ началомъ обратнаго хода происходитъ отскакиваніе, являющееся функціей скорости удара. Но мы уже видѣли, что наивысшая скорость удара соотвѣтствуетъ началу втораго обратнаго хода. Въ послѣдующихъ ходахъ дѣйствіе воздуха замѣняетъ это отскакиваніе. Для втораго хода среднее сжатіе меньше, чѣмъ для перваго хода, а потому средняя скорость для втораго хода будетъ лежать между скоростью втораго и перваго хода.

*Опредѣленіе числа ударовъ въ минуту.* Чтобы узнать число ударовъ въ минуту, необходимо знать въ отдѣльности продолжительность прямого и обратнаго хода. Такъ какъ средній ходъ поршня составляетъ 40,5 мм., а средняя скорость прямого хода равна 3,97 м., то продолжительность прямого хода въ тысячныхъ доляхъ будетъ равна

$$0,0405 \times 1000 : 3,98 = 10,15.$$

Для обратнаго хода средняя скорость будетъ уже меньше, а именно, 2,16 м., а продолжительность хода возрастаетъ

$$0,0405 \times 1000 : 2,16 = 18,75.$$

Слѣдовательно, на полный ходъ уйдетъ  $10,15 + 18,75 = 28,90$  тысячныхъ секунды, а потому число ударовъ будетъ равно

$$n = \frac{60.1000}{28,90} \approx 2070.$$

*Определение расхода воздуха.* Самый естественный путь для определения расхода воздуха состоитъ въ подсчетѣ количествъ воздуха, вошедшихъ въ отдѣльные періоды. Такимъ образомъ, для первой фазы, рабочаго хода, когда господствуетъ въ молоткѣ впускъ и сжатіе, въ отдѣльные періоды воздуха войдетъ

<i>a</i>	. . . . .	16,10 см <sup>3</sup> .	} Вмѣстѣ 47,40 см <sup>3</sup> .
<i>b</i>	. . . . .	16,10 "	
<i>c</i>	. . . . .	15,20 "	

При обратномъ ходѣ, когда въ молоткѣ комбинируется впускъ со сжатіемъ, воздуха войдетъ

<i>a</i>	. . . . .	16,10 см <sup>3</sup> .
<i>b</i>	. . . . .	15,75 "
<i>c</i>	. . . . .	15,70 "
<i>d</i>	. . . . .	15,45 "
<i>e</i>	. . . . .	14,80 "
<i>f</i>	. . . . .	13,70 "
<i>g</i>	. . . . .	13,50 "
<i>h</i>	. . . . .	12,88 "
<i>i</i>	. . . . .	11,90 "
<i>j</i>	. . . . .	11,27 "
<i>k</i>	. . . . .	10,31 "
<i>l</i>	. . . . .	10,10 "
<i>m</i>	. . . . .	9,35 "
<i>n</i>	. . . . .	4,85 "

Итого . . . 174,65 см<sup>3</sup>.

а за весь ходъ воздуха войдетъ  $47,40 + 174,65 = 222,05$  см<sup>3</sup>.

Для второго полного хода расходъ воздуха будетъ 52,75 см<sup>3</sup>. ходѣ рабочемъ) и 170,72 см<sup>3</sup> (при ходѣ обратномъ), а всего 223,47 см<sup>3</sup>. или въ среднемъ

$$\frac{222,05 + 223,47}{2} = \frac{445,52}{2} = 222,76 \text{ см}^3.$$

Въ минуту при 2070 полныхъ ходахъ это составитъ  $222,76 \times 2070 = 461113$  см<sup>3</sup>, или около 461 литра, измѣреннаго при атмосферномъ давленіи. Измѣренія, произведенныя при помощи счетчика, поставленнаго на питательномъ рукавѣ, дали 500—530 литр.

*Развиваемая молоткомъ работа.* Для вычисленія этой работы можно пользоваться обычной формулой

$$L = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p \cdot c.$$

гдѣ *p* представляетъ давленіе *c*—длину хода, а  $\frac{\pi D^2}{4}$  поверхность, подверженную давленію *p*. Подставляя въ предыдущую формулу цифровыя данныя, то получимъ

$$9,51 \times 1,94 \times 0,0406 = 0,748 \text{ кгр. м.}$$

$$9,51 \times 0,18 \times 0,0406 = 0,0693 \text{ „}$$

---


$$\text{Итого . . . } 0,8173 \text{ кгр. м.}$$

на одинъ ударъ. Но въ теченіе 1 сек. молотокъ можетъ произвести  $2070 : 60 = 34,5$  удара, а потому работа его будетъ равна

$$0,8173 \times 34,5 : 75 = 0,376 \text{ лош. силы.}$$

Чтобы опредѣлить коэффициентъ полезнаго дѣйствія молотка, надо знать ту работу, которую необходимо затратить при политропическомъ сжатіи (политропа близка въ данномъ случаѣ къ адиабатѣ) для приведенія одного литра воздуха атмосфернаго давленія до сжатія въ 5 кгр./см<sup>2</sup> абс. Примѣрно эта работа равна 19,4 кгр. м. Но минутный расходъ воздуха у насъ опредѣленъ въ 461 лтр. Слѣдовательно, теоретически въ 1 сек. это количество воздуха можетъ дать работу

$$\frac{19,4 \times 461}{60 \times 75} = 1,98 \text{ лош. с.,}$$

а такъ какъ мы получили всего 0,376 л. с., то коэффициентъ полезнаго дѣйствія равенъ

$$\eta = 0,376 : 1,98 = 0,185.$$

Въ хорошо сконструированныхъ пневматическихъ молоткахъ съ клапанами этотъ коэффициентъ доходитъ иногда до 0,40.

Надо еще замѣтить, что если средняя скорость отскакиванія примѣрно равна 0,90 м., то у полезной работы молотка часть живой силы не утилизируется. Эта потеря будетъ равна

$$T = \frac{mV^2}{2} = \frac{0,0524 \times 0,90^2}{2} = 0,0424 \text{ кгр. м.}$$

Значить, использованными являются лишь

$$0,748 - 0,0424 = 0,706 \text{ кгр. м.}$$

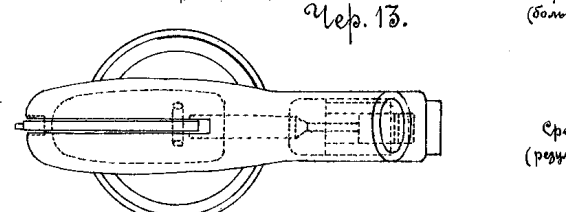
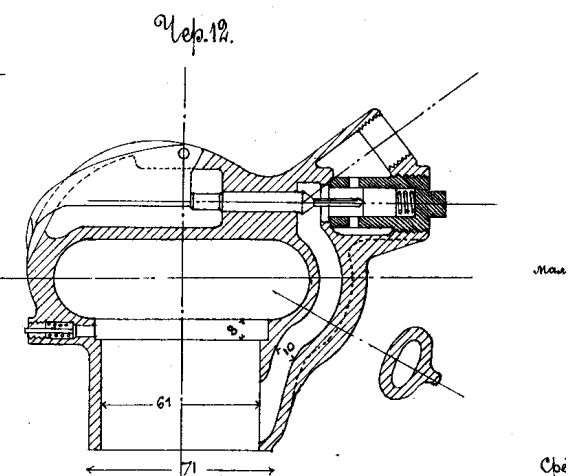
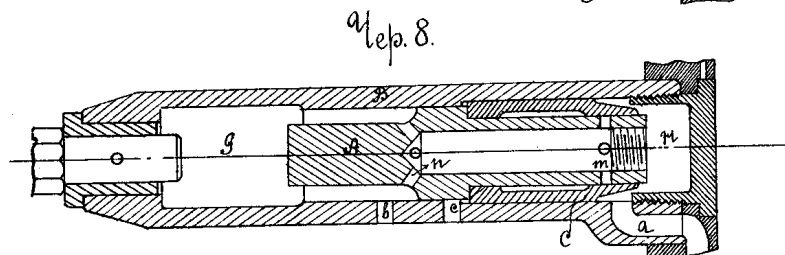
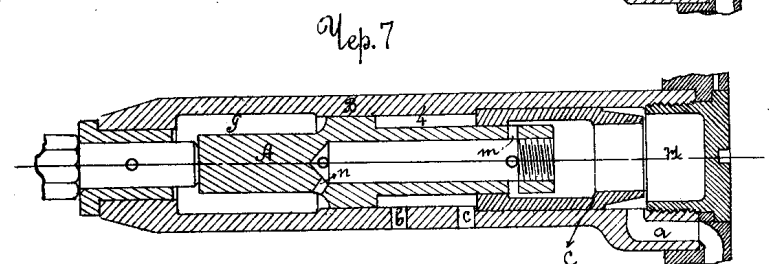
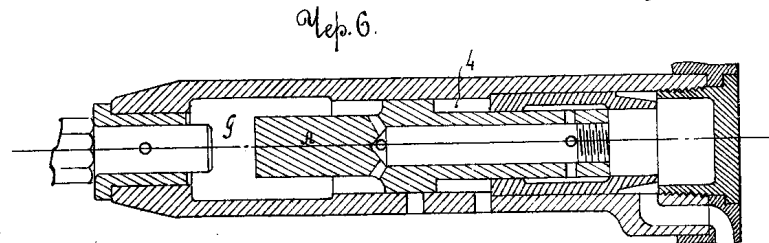
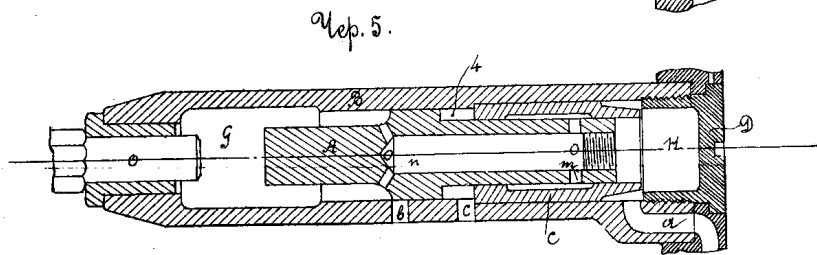
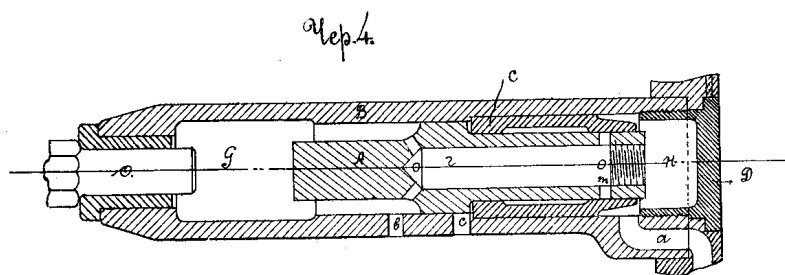
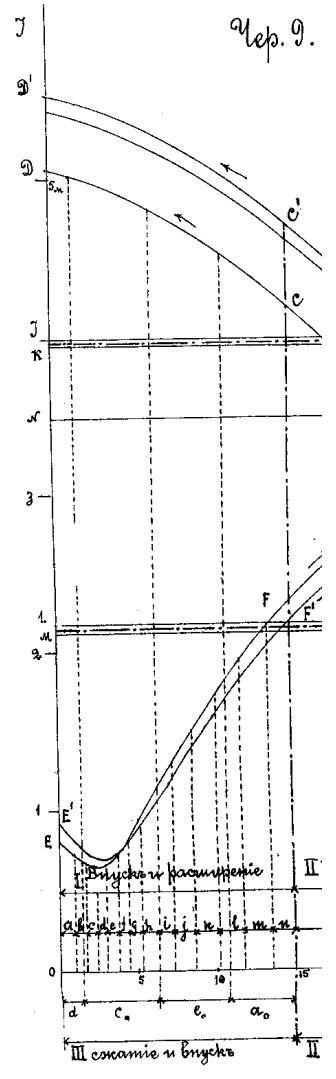
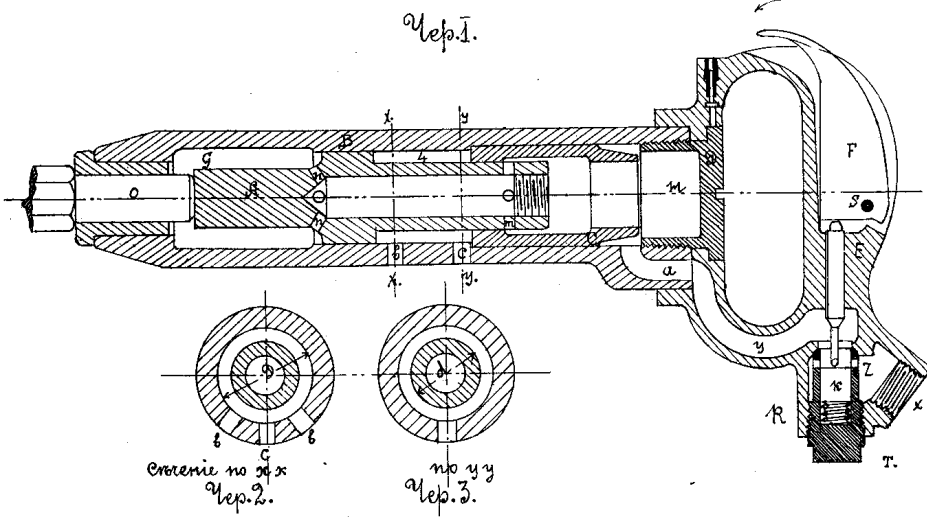
или въ лошадиныхъ силахъ

$$\frac{0,706 \times 34,5}{75} = 0,325 \text{ л. с.}$$

Такимъ образомъ, коэффициентъ полезнаго дѣйствія

$$\eta = 0,325 : 1,98 = 0,164.$$





Различные положения поршня А.

Рычаг поршня.

Маг.  
Спи  
(болт)  
Спи  
(резь)