

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОЛОТА.  
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ**

САМАРА 2005

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОЛОТА.  
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ

*Методические указания  
к лабораторной работе*

САМАРА 2005

Составители: *С.И. Козий, С.Ф. Глуштенко, Г.А. Батраев*

УДК 621.7.(075)

**Конструкция и принцип действия пневматического молота. Расчет параметров.** Метод. указания к лаб. работам / Самар. гос. аэрокосм. ун-т ; Сост. *С.И. Козий, С.Ф. Глуштенко, Г.А. Батраев*, Самара. 2005. 16 с.

Изложены теоретические основы принципа действия и конструктивных особенностей ковочного пневматического молота, представлены основные технические характеристики молота модели М4129А, показаны схемы привода и конструкция основных деталей и узлов, описан принцип действия и управления, изложена последовательность операций для типовых технологических процессов изготовления деталей.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 150201 "Машины и технологии обработки металлов давлением" и изучающих дисциплину "Оборудование цехов ОМД". Разработаны на кафедре обработки металлов давлением.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Первышин

**Ц е л ь р а б о т ы:** Изучение принципа действия и конструктивных особенностей ковочного пневматического молота модели М4129А.

Задачи лабораторной работы:

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности при обслуживании машин ударного действия.
2. Изучить назначение и техническую характеристику молота модели М4129А.
3. Изучить конструкцию узлов и деталей молота: станину, рабочий и компрессорный цилиндры.
4. Изучить конструкцию привода, принцип действия воздухораспределительных органов и систему управления.
5. Научиться работать на молоте и управлять им.

### **Технологическое назначение и основные параметры ковочных пневматических молотов**

Ковочные пневматические молоты являются универсальным оборудованием, предназначенным для выполнения операцийковки на плоских и вырезных бойках.

Ковочные пневматические молоты согласно ГОСТ 712 - 75 выпускаются с весом падающих частей 30-1000 кг с соответствующей энергией удара от 0,8 до 28 кДж (80...2800 кгм) и применяются при ковке мелких поковок весом от 0,3 до 20 кг.

### **Конструктивные особенности ковочного пневматического молота**

Конструкция ковочного пневматического молота приведена на рис.1.

Станина 11 молота выполнена совместно с рабочим 5 и компрессорным 9 цилиндрами. Шабот 1 отделён от станины и не имеет с ней жёсткой связи. База 2 одновременно служит поршнем и штоком рабочего цилиндра. Поршень 8 компрессорного цилиндра

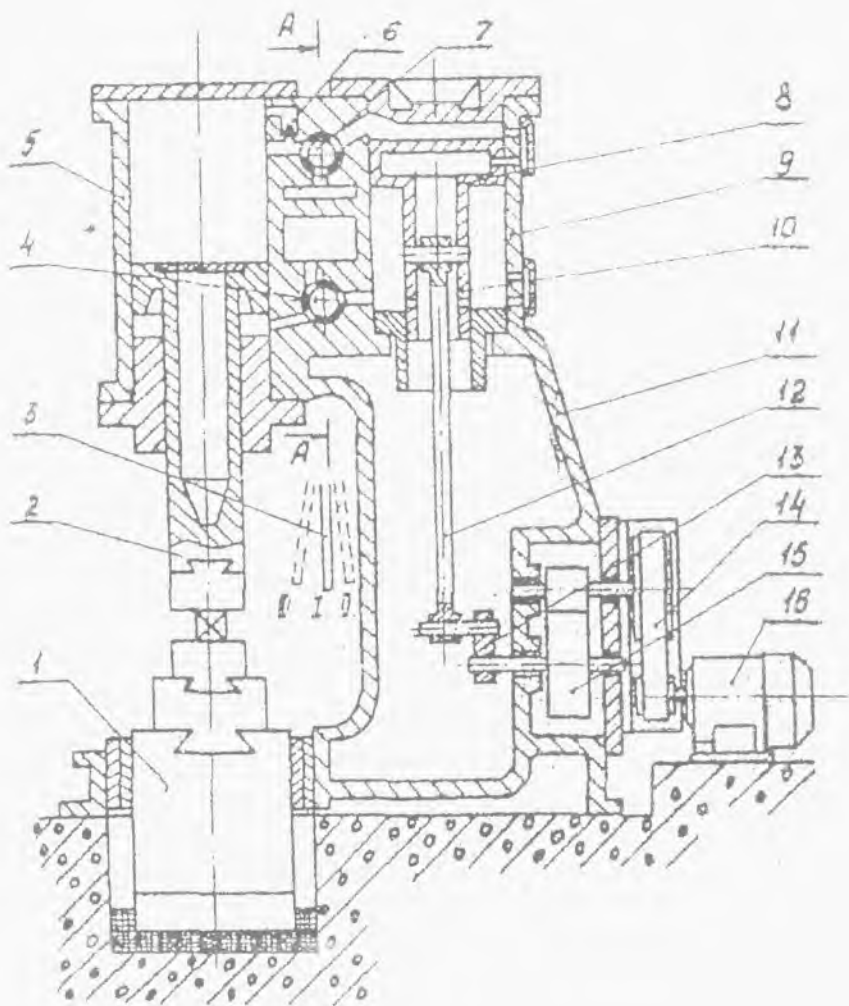


Рис. 1. Конструкция ковочного пневматического молота:

1 - шабот. 2 - подвижные части. 3 - ручка управления. 4 - кран управления. 5 - рабочий цилиндр. 6 - обратный клапан. 7 - кран управления. 8 - поршень компрессорного цилиндра. 9 - компрессорный цилиндр. 10 - отверстие в поршне компрессорного цилиндра. 11 - станина. 12 - шатун. 13 - кривошипный вал. 14 - клиноременная передача. 15 - редуктор. 16 - электродвигатель.

шатунном 12 связан с кривошипом 13, который через зубчатую 15 и ремённую 14 передачи соединён с электродвигателем 16. В поршне 8 и компрессорном цилиндре 9 сделаны отверстия для соединения верхних и нижних полостей цилиндров с атмосферой при крайнем верхнем положении поршня 8 компрессорного цилиндра и только верхних полостей при крайнем нижнем положении поршня 8.

Для управления работой молота имеется механизм воздухораспределения, состоящий из верхнего 7 и нижнего 4 кранов, управляемых через систему рычагов рукояткой 3 (возможно также и педальное управление). В верхней части станины расположен обратный клапан 6. Верхний и нижний краны имеют окна для соединения полостей компрессорного и рабочего цилиндров.

### **Краткое описание конструкции узлов молота**

Молот ковочный пневматический состоит из следующих узлов и деталей: станины, подвижных частей, компрессора, кривошипного вала, плиты подmotorной, системы управления.

**Станина молота** - цельная чугунная, коробчатой формы. Внутри станины в вертикальных цилиндрических расточках монтируются чугунные гильзы рабочего и компрессорного цилиндров, в которых перемещаются подвижные части и компрессорный поршень. Для предотвращения разворота подвижных частей в нижней части рабочего цилиндра имеется букса с направляющими планками. Сверху рабочий и компрессорный цилиндры закрываются крышками. На задней стенке станины монтируются плита подmotorная и кривошипный вал молота.

**Подвижные части** являются основным рабочим органом молота. Они представляют собой поршень рабочего цилиндра, откованный вместе со штоком. На штоке имеются риски, которыми подвижные части удерживаются (направляются) в планках буксы от поворота. Поршень со штоком изготовлен из одной поковки (сталь 45). Чтобы согласовать их расчётные размеры и массу, внутри штока делают отверстие. В нижней половине подвижных частей при помощи клина крепится верхний боёк. Движение подвижных частей осуществляется сжатым воздухом, подаваемым из компрессорного цилиндра.

**Компрессорный поршень** (чугун СЧ - 21) предназначен для создания избыточного давления (от 1,5 до 2,5 МН/м<sup>2</sup>) в верхней и нижней полостях рабочего и компрессорного цилиндров.

В верхней части поршень имеет окно, которое вместе с 32 сверлением в станине служит для соединения верхней полости компрессорного цилиндра с атмосферой в верхней и нижней мёртвых точках поршня.

**Кривошипный вал** служит для передачи и преобразования вращательного движения шкива электродвигателя в возвратно-поступательном движении поршня компрессора. На одном конце вала смонтирован маховик, на другом - на эксцентрично выполюсненном пальце установлен радиальный сферический подшипник, к корпусу которого крепится шатун компрессорного цилиндра. Опорами вала служат шариковый радиальный подшипник.

**Плита подмоторная** служит для крепления электродвигателя. Она состоит из литых чугунных (СЧ) кронштейнов, имеющих возможность перемещаться относительно станины, для обеспечения затяжки клиновых ремней.

Смазка цилиндров централизованная от шлунжерного насоса с механическим приводом. Смазка головки шатуна и корпуса индивидуальная.

### **Режимы работы и воздухораспределение**

Молоты отечественного производства могут осуществлять следующие режимы работы:

- автоматические последовательные удары;
- холостой ход;
- держание подвижных частей на весу;
- прижим поковки.

Для осуществления этих режимов применяется механизм воздухораспределения (рис.3), состоящий из трёх кранов: верхнего, среднего и нижнего. Верхний и нижний краны служат для управления работой молота, а средний - для перевода компрессора на холостой режим. Между верхним и нижним кранами в станине молота имеется камера с обратным клапаном.

## Принцип действия молота

Пневматический ковочный молот работает с помощью воздуха, поступающего из атмосферы в компрессорный цилиндр и подвергающегося попеременному сжатию и разрежению при возвратно-поступательном движении поршня компрессора.

Привод поршня компрессора осуществляется от электродвигателя через редуктор и кривошипно-шатунный механизм. Воздух является рабочим телом и обуславливает упругую связь между компрессорным и рабочим поршнями. С этой точки зрения воздух является пружиной, обеспечивающей движение рабочего поршня в определённой зависимости от движения поршня компрессора.

При работе молота количество двойных ходов в единицу времени рабочего и компрессорного поршней **одинаково**. Максимальное число ударов молота равно числу оборотов кривошипного вала.

## Циклограмма работы приводного пневматического молота

Движение поршня компрессора является движением с одной степенью свободы, определяемым углом поворота кривошипного вала " $\alpha$ " (рис 2).

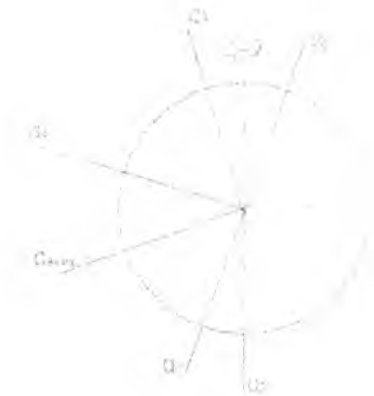


Рис.2 Цикловая диаграмма приводного пневматического молота



За начальное положение принимается крайнее верхнее положение компрессорного поршня  $\alpha=0$ . Рабочий поршень занимает крайнее нижнее положение (боек размещен на поковке). В исходном состоянии верхняя и нижняя полости компрессорного цилиндра соединены с атмосферой и начальное давление в них устанавливается равным атмосферному ( $p_0=0,1 \text{ МН/м}^2$ ). Такое же давление устанавливается в верхней и нижней полостях рабочего цилиндра, поскольку эти полости сообщаются с помощью кранов с соответствующими полостями компрессорного цилиндра.

При движении поршня компрессорного цилиндра вниз от начального положения давление в нижних полостях общих цилиндров увеличивается, а в верхних - уменьшается. При возрастании давления в нижних полостях до величины, достаточной для преодоления силы веса подвижных частей (боек в сочетании со штоком и поршнем), сопротивление трения и давление воздуха в верхней полости рабочего цилиндра уменьшается, рабочий поршень начнет движение вверх. Угол поворота кривошипного вала, соответствующий моменту отрыва подвижных частей от поковки, обозначен  $01$  (рис.2). Изменение давления воздуха в верхней и нижней полостях цилиндров принимается адиабатическим, т.е. без теплообмена с внешней средой.

При угле поворота кривошипного вала на угол  $\alpha=\pi$ , когда поршень компрессорного цилиндра займет крайнее нижнее положение, верхние полости цилиндров соединяются с атмосферой и давление воздуха в них резко повышается до атмосферного.

Дальнейшее движение обоих поршней происходит в одном направлении - вверх.

При  $\alpha=\alpha_3$ , в момент создания буфера, рабочий поршень закрывает верхний канал и разобщает верхние полости цилиндров. В результате возрастания сопротивления сжатого воздуха в буфере и падения давления в нижних полостях движение рабочего поршня замедляется с мгновенным остановом рабочего поршня при  $\alpha=\alpha_{\text{верх}}$ .

После чего, под действием сжатого воздуха в буфере, рабочий поршень начнет двигаться вниз. Давление воздуха в буфере, изменяясь по адиабате, отличается от давления воздуха в верхней полости компрессорного цилиндра (оно больше по величине).

При опускании рабочего поршня давление энергоносителя в буфере понижается, и в момент, когда оно становится равным

давлению в верхней полости компрессорного цилиндра, происходит соединение верхних полостей цилиндров через обратный клапан б (рис.1). Угол  $\alpha_4$ , при котором рабочий поршень открывает сообщающее отверстие верхних рабочего и компрессорного цилиндров, называется углом выхода рабочего поршня из буфера. При дальнейшем вращении кривошипного вала компрессорный поршень приближается к крайнему верхнему положению, а рабочий поршень к крайнему нижнему.

Удар подвижных частей по поковке обычно происходит при угле  $\alpha_5$ , который много меньше  $2\pi$ .

При повороте кривошипного вала от угла  $\alpha_5$  до угла  $\alpha_1$  рабочий поршень остается внизу, осуществляя так называемый прилипающий удар.

На круговой цикловой диаграмме (рис.2) обозначены следующие четыре участка:

$\alpha_1$ - $\alpha_2$  - подъем рабочего поршня с момента отрыва подвижных частей от поковки до момента соединения верхней полости компрессорного цилиндра с атмосферой;

$\alpha_2$ - $\alpha_3$  - подъем рабочего поршня от предыдущего момента до момента создания буфера;

$\alpha_3$ - $\alpha_4$  - подъем и последующее движение рабочего поршня вниз с момента создания буфера до выхода из него;

$\alpha_4$ - $\alpha_5$  - движение рабочего поршня вниз от выхода из буфера до момента удара.

В молотах отечественного производства  $\alpha_1=40$ ,  $\alpha_{\text{верх}}=270$ ,  $\alpha_5=340$  ....360.

### **Автоматические последовательные удары**

Цикл является основным, при котором краны I-II соединяют верхние и нижние полости рабочего и компрессорного цилиндров попарно. Для этого у кранов I-II соответствующие клапаны 1 и 2, 3 и 4 должны быть открытыми.

При ходе поршня компрессорного цилиндра вниз из нижней его полости сжатый воздух нагнетается в нижнюю полость рабочего цилиндра. Подвижные части поднимаются вверх. В то же время в

верхних полостях рабочего и компрессорного цилиндров создается растяжение, которое способствует подъему подвижных частей вверх.

Молот совершает  $n$  ударов в минуту, равных количеству оборотов кривошипного вала.

Автоматические удары могут совершаться с различной по величине энергией, от наибольшей до нуля, при простом соприкосновении бойков. Сказанное осуществляется одновременным поворотом верхнего II и нижнего I кранов (рис.3) и дросселированием воздуха, проходящим через каналы 1 и 2, 3 и 4. Оба крана кинематически связаны одной рукояткой и поворачиваются на одинаковый угол.

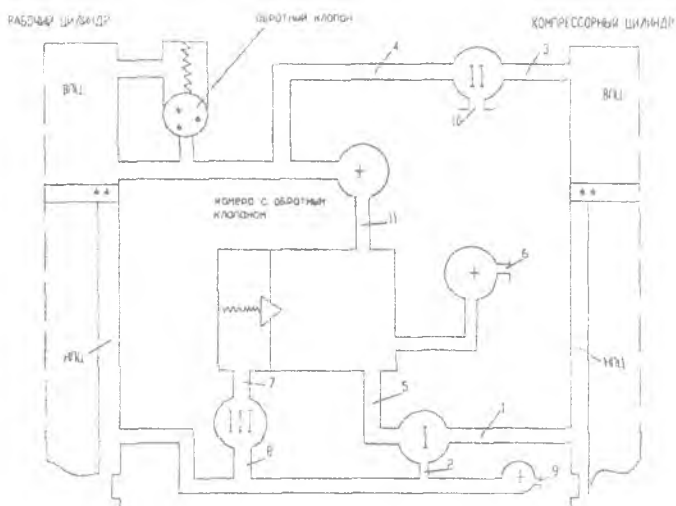


Рис.3 Схема воздухораспределения в приводном пневматическом молоте

*Холостой ход.* Нижние и верхние полости компрессорного цилиндра сообщены с атмосферой через открытый канал 6 (рис.3). Цикл применяется при пуске молота и в кратковременные периоды ожидания нагретых заготовок. Управление осуществляется поворотом среднего крана III.

*Держание подвижных частей на весу.* Цикл является переходным от цикла холостой ход.

Краны I-II поворачивают на  $40^\circ$  по часовой стрелке. Сверху рабочего поршня должно быть атмосферное давление, а снизу -

давление, необходимое для удержания подвижных частей на весу. Это давление сохраняется независимо от положения поршня компрессорного цилиндра. Сжатый воздух, направляющийся из нижней полости компрессорного цилиндра по каналу 1 сечения I нижнего крана попадает через открытый канал 5 в камеру и через обратный клапан и открытые клапаны 7 и 8 - в нижнюю полость рабочего цилиндра.

При движении поршня компрессорного цилиндра вверх обратный клапан пружиной закрывается. Верхние полости обоих цилиндров соединены с атмосферой открытым клапаном 10 верхнего крана II.

*Прижим поковки.* Осуществляется давление воздуха, поступающего из нижней полости компрессорного цилиндра через каналы 1, 5 и 11 в верхнюю полость рабочего цилиндра. Под поршнем рабочего цилиндра через открытый канал 9 устанавливается атмосферное давление, каналы 2, 4 и 7 закрыты. Канал 10 открыт, что обеспечивает соединение верхней полости компрессорного цилиндра с атмосферой. Для предотвращения удара рабочего поршня о верхнюю крышку цилиндра предусмотрено буферное устройство. При подъеме рабочего поршня оставшийся между поршнем и крышкой воздух сжимается и образует буфер, препятствующий удару поршня о крышку и способствующий ускорению возврата подвижных частей из крайнего верхнего положения. Обратный шариковый клапан препятствует выходу воздуха из объема, занимаемого буфером. При работе молота происходит утечка воздуха, поэтому предусмотрено воздухомнакопление компрессорного цилиндра через внутреннюю полость поршня. Поршень имеет прорезь, совмещающуюся в крайнем верхнем и нижнем положениях поршня со специальными каналами в станине молота и последовательно соединяющую верхнюю и нижнюю полости компрессора с атмосферой.

### **Техника безопасности при работе на молоте**

1. Не приближать руки к рабочей зоне во время работы молота.
2. Не включать молот в работу, не освободив рабочее место от посторонних предметов.

3. Не производить необходимые замеры и другую работу, например протирку при включенном электродвигателе.
4. Производить при работе молота на полных автоматических ударах только центральные удары.
5. Работать во избежание повреждения глаз в защитных очках.
6. При малейшей неисправности выключить электродвигатель.
7. Работать клещами только в рукавицах и при наличии фартука.

### Расчет основных параметров приводного пневматического молота

Расчету подлежат:

- вес подвижных частей;
- оптимальные сечения паковки;
- число ударов молота в минуту;
- начальная скорость соударения;
- эффективная кинетическая энергия подвижных частей;
- эффективная мощность молота;
- эффективная мощность электродвигателя.

### Определение веса подвижных частей молота

Номинальный вес (в кг) подвижных частей (без учета веса бойка) рассчитывается по формуле

$$G_n = k \left( D_{pn}^2 \cdot l_1 + d_{pш}^2 \cdot l_2 \right),$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий удельный вес материала подвижных частей;

$$G_n \text{ 70кг; } k=4,5 \times 10^{-3};$$

$$G_n \text{ 150кг; } k=3,5 \times 10^{-3};$$

$D_{p.n}$  - внешний диаметр рабочего цилиндра;

$l_1$  - толщина рабочего поршня;

$d_{p.ш}$  - внешний диаметр штока рабочего цилиндра;

$l_2$  - диаметр штока.

Полученное значение веса подвижных частей округляется до ближайшего из двух значений по табл. 1.

Таблица 1

## Весовые характеристики молотов

$G_n$ , кг	75; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 560; 750; 1000
------------	---

Действительный вес (в кг) подвижных частей (с учетом веса бойка)

$$G = 1,1 G_n$$

## Определение оптимального сечения поковки

Данный расчёт оптимального сечения поковки производится на основании табл. 2.

Таблица 2

## Оптимальное сечение поковки

$G_n$ , кг	75	100	150	200	250	300	400
Сторона квадрата поковки $h_{пок}$ , мм	50	60	70	80	85	90	100

## Определение числа ударов молота в минуту

Число ударов молота в минуту находится из выражения

$$n = n_{эл.двиг} \cdot i_{пер}$$

где  $n_{эл.двиг}$  - номинальное число оборотов электродвигателя в минуту;  
 $i_{пер}$  - передаточное отношение от электродвигателя до кривошипного вала.

Число ударов  $n$  в минуту  $\left( \frac{уд}{мин} \right)$  можно найти из выражения

$$n = 355,5 \sqrt{\frac{1}{G} \left( \frac{f_1^2}{V_{01}} + \frac{f_2^2}{V_{02}} \right)},$$

где  $f_1$  - нижняя кольцевая площадь рабочего поршня, см<sup>2</sup>;

$f_2$  - верхняя площадь рабочего поршня, см<sup>2</sup>;

$V_{01}$  - начальный объем нижних полостей цилиндров при наличии поковки, см<sup>3</sup>;

$V_{02}$  - начальный объем верхних полостей цилиндров при наличии поковки (см<sup>3</sup>).

Нижняя кольцевая площадь рабочего цилиндра (см<sup>2</sup>),

$$f_1 = 0,785(D_{p.ц}^2 - d_{p.ш}^2),$$

где  $D_{p.ц}$  - диаметр рабочего цилиндра;

$D_{p.ш}$  - диаметр штока рабочего цилиндра.

Верхняя площадь рабочего поршня (см<sup>2</sup>)

$$f_2 = 0,785D_{p.n}^2 \quad (\text{или } D_{p.n}^2).$$

Начальный объем нижних полостей цилиндров (см<sup>3</sup>) при наличии поковки

$$V_{01} = [12f_1 + f_3(h_k + 0,5)]1,09 + f_1 \times h_{пок},$$

где  $h_k$  - ход компрессорного поршня,

$$h_k = 2R;$$

$R$  - радиус кривошипа;

$f_3$  - нижняя кольцевая площадь поршня компрессора (см<sup>2</sup>),

$$f_3 = 0,785(D_{ц.к}^2 - d_{ш}^2),$$

где  $D_{ц.к}$  - диаметр цилиндра компрессора;

$d_{ш}$  - диаметр шатуна;

$h_{пок}$  - высота поковки.

Начальный объем верхних полостей цилиндров (см<sup>3</sup>) при наличии поковки

$$V_{02} = [f_2 \times H + f_4 \times 0,5]1,04 - f_2 \times h_{пок},$$

где  $f_4$  - верхняя площадь поршня компрессора (см<sup>2</sup>),

$$f_4 = 0,785D_{ц.к}^2.$$

### Определение начальной скорости подвижных частей в момент удара

Начальная скорость определяется в м/с.

$$v_0 = \frac{0,3 \times v - 110}{n},$$

$$\text{где } \sigma = \frac{685 \times n_k}{G} \left[ \frac{f_1 \times f_3}{V_{01}} + \frac{f_2 \times f_4}{V_{02}} \right],$$

$n$  - число ударов в минуту.

На (рис. 4) и (5) приведены зависимости  $S=S(\alpha)$  и  $v_0=v_0(\alpha)$ .

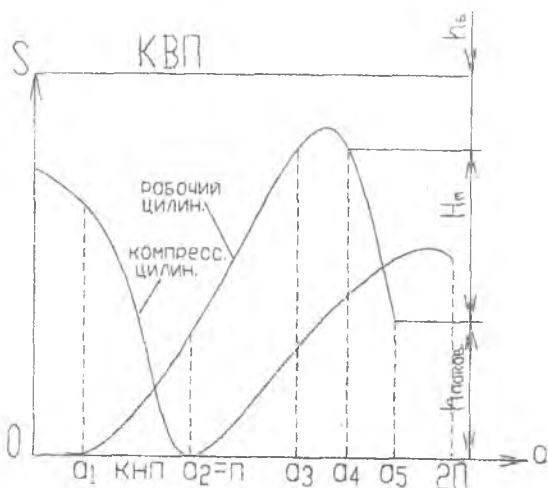


Рис. 4 Зависимость  $S=S(\alpha)$

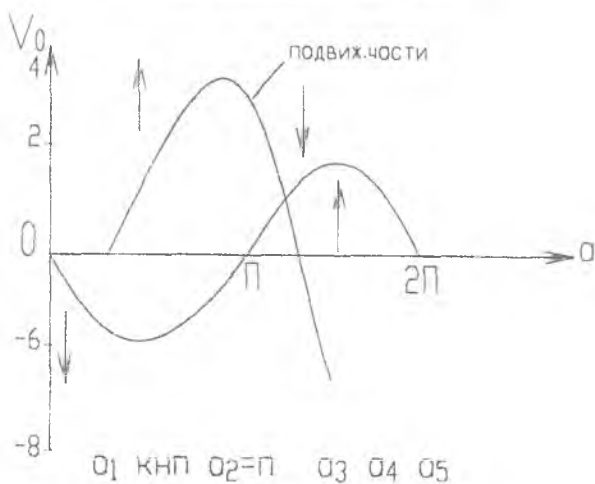


Рис. 5 Зависимость  $v_0=v_0(\alpha)$



### Определение эффективной энергии удара молота (кГм)

$$A_v = m \frac{v_0^2}{2}$$

### Определение эффективной мощности молота (кВт)

$$N_{\text{мол}} = 1,63 \times 10^{-4} \times A_v \times n$$

### Определение мощности электродвигателя (кВт)

$$N_{\text{эл.двиг}} = 10^{-2} \times a \times n$$

где  $a$  - коэффициент мощности, выбирается по табл. 3.

Таблица 3

Значение коэффициента мощности

$G_n$ , кг	75	100	150	200	250	300	400	500	750	1000
$a$	2,5	4	7	10	12	17	23	33	52	70

### Содержание отчета

1. Краткое описание цели работы, технологического назначения молота, принципа действия, циклограммы работы, режимов работы, конструкции основных узлов.
2. Кинематическая схема привода.
3. Подробная техническая характеристика молота (из паспорта молота).

### Вопросы для самопроверки

1. Технологическое назначение молота.
2. Принцип его действия.
3. Циклограмма работы.
4. Режим работы.
5. Момент соединения полости компрессорного цилиндра с атмосферой.
6. Основные узлы и их назначение.
7. Основные параметры молота.

*Учебное издание*

**КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МОЛОТА.  
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ**

*Методические указания  
к лабораторным работам*

*Составители: Козий Сергей Иванович,  
Глуштенко Станислав Федотович,  
Батраев Геннадий Андреевич*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а  
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Подписано в печать 04.10.2005 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 0,8. Усл.кр.- отт. 0,9. Уч. – изд.л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ №. Арт.С-4(Д2)/2005.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

РИО Самарского государственного аэрокосмического  
университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.