

УДК 621.979

**М. А. СОБОЛЬ**, студентка, НТУ «ХПІ»;

**В. Я. ДАНИЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;

**А. Ю. СЕВЕРИН**, студент, НТУ «ХПІ»;

**А. А. КОЛТАКОВА** студентка, НТУ «ХПІ»

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОВОЗДУШНЫХ ШТАМПОВОЧНЫХ МОЛОТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ**

Уменьшение серийности производства на заводах, привело к нецелесообразности использования отработанного пара с теплоэлектростанций. Поэтому некоторые предприятия переходят на сжатый воздух, модернизируя заводскую воздушную систему. В работе проведен сравнительный анализ работ переменных движущих сил на паре и сжатом воздухе, на основании которых предложены рекомендации, которые позволят производителям усовершенствовать систему управления кузнечных молотов, и повысить энергию удара.

**Ключевые слова:** энергоноситель, дросселирование, падающие части, золотник, втулка золотника, индикаторная диаграмма.

**Введение.** В последнее время в связи с экономической ситуацией, изменением цен на энергоносители, а также способу управления хозяйственной деятельностью в стране поменялись режимы и условия работы паровоздушных штамповочных молотов, а именно отсутствие дешевого пара с теплоэлектростанций. Уменьшение серийности производства на заводах привело к нецелесообразности использования отработанного пара с теплоэлектростанций, т.к. такой вид энергоносителя невыгодно использовать при малой загрузке оборудования. В таких условиях способы и приемы эксплуатации, которые привыкли использовать технологи и механики кузнечных цехов, устарели и стали приводить к убыточности производства. Поэтому некоторые предприятия переходят на индивидуальный привод, использующий в качестве энергоносителя не пар, а сжатый воздух. Замена влажного пара на сжатый воздух, который обладает другим коэффициентом адиабаты и отличается некоторыми другими свойствами, отразилась на режимах работы кузнечных молотов, например, наблюдается падение производительности, уменьшение энергии полного удара, перерасход пара, что и явилось поводом для рассмотрения, данного вопроса. Попытки переналадить молот или повысить давление воздуха не приводили к положительному результату.

**Анализ последних исследований и литературы.** Основоположником теории расчета паровоздушных молотов является профессор И. А. Тимё

(1899 г.). Разработку этой теории продолжали профессора А. П. Гавриленко, П. К. Мукачев (1902 г.), Н. С. Верещагин, Я. Н. Маркович (1913 г.), Е. П. Унксов (1935г.), А. И. Зимин (1937, 1940, 1953 гг.), И. В. Климов (1969 г.) и другие. На основе эксперимента было установлено, что уже в процессе впуска энергоноситель расширяется, что приводит к дросселированию потока во впускных окнах и увеличению скорости поршня. Основное научное положение теории А. И. Зимина состоит в замене сложного процесса впуска энергоносителя упрощенным процессом расширения.

Экспериментальные исследования паровоздушных молотов, проведенные в производственных и лабораторных условиях под руководством А. И. Зимина в МВТУ им. Н. Э. Баумана и ЦНИИТмаше, а также под руководством Я. Н. Марковича в Горьковском индустриальном институте, были использованы для уточнения термомеханических расчетов. В работах А. И. Зимина [1], В. Ф. Щеглова [2], И. В. Климова [3] и П. А. Дунаева и других авторов были разработаны способы составления предположительных индикаторных диаграмм, отражающих закономерности, выявленные при экспериментах. А. И. Зимин в 1937–1940 г. внес коренное усовершенствование в теорию паровоздушных молотов, перейдя от теоретических к уточненным, близким к реальным и названными им предположительными индикаторными диаграммами. Настоятельная необходимость проведения экспериментальных исследований объяснялась тем, что теоретическая индикаторная диаграмма, раскрывающая качественную сторону работы пара в молотах, не могла служить для количественных определений, которые являются основными в инженерных расчетах.

И. В. Климов [3] разработал методы оптимизации параметров распределения энергоносителя, Ю. В. Беляев, Г. Я. Зайденберг, О. Г. Власов, Л. И. Живов, А. Г. Овчинников [4] исследовали динамику механической системы молота в процессе ударного деформирования поковок, разрабатывали отдельные вопросы теории расчета конструктивных параметров, прочности и долговечности деталей молотов.

Однако, все ранее выполненные работы и расчёты касались молотов, работающих на паре. В отдельных работах сравнивались параметры энергоносителей, указывалось, что расчёт проводится аналогично, изменяется только показатель адиабаты и температурный режим. При переходе на воздух необходимо либо произвести переналадку молота, либо повысить давление энергоносителя.

**Цель исследования, постановка проблемы.** Цель данной работы – проанализировать работу распределительного механизма паровоздушного штамповочного молота на паре и сжатом воздухе, составить программу и

выполнить термомеханический расчет, сделать анализ, полученных результатов и дать рекомендации.

**Материалы исследований.** Для определения параметров паровоздушного молота и построения предположительных индикаторных диаграмм была разработана программа расчета в среде MicrosoftOfficeExcel. Благодаря этой среде была разработана программа, которая обладает простотой в использовании и достаточной точностью в получении результатов. При расчете работы молота на воздухе программа также способна учитывать коэффициент адиабаты  $k$  и вести расчет для разных масс падающих частей. В работе рассматривались молоты с массой падающих частей от 0,63 т. до 5,0 т, как наиболее используемые в кузнечных цехах.

Как известно, рабочий процесс в цилиндре молота определяется соотношениями между периодами работы энергоносителя, т.е. между впуском – выпуском и расширением – сжатием. При выполненном расчете параметры парораспределения  $\gamma, \gamma', \beta, \beta', (1-\gamma-\beta)$  и  $(1-\gamma'-\beta')$  оказываются фиксированными; они реализуются в конструкции золотника и механизма управления. Поэтому при установленных периодах отсечек и заданных давлениях впуска – выпуска работа расширения нижнего воздуха, по сравнению работой расширения нижнего пара, например, при ходе вверх, оказывается заниженной, а работа сжатия верхнего воздуха –увеличенной по сравнению с процессом влажного пара. В результате поршень и, следовательно, падающие части не дойдут до к.в.т. Для того, чтобы обеспечить подъем падающих частей на полный ход, необходимо затратить то же количество энергии, что при работе влажным паром. Использовать внутреннюю энергию воздуха при заданной степени расширения и давлении выпуска невозможно. Недостающее количество энергии можно увеличить за счет дополнительного введения свежего энергоносителя в цилиндр молота. Это достигается увеличением периода впуска нижнего воздуха посредством регулировки установочного положения парораспределительного механизма (необходимо опустить золотник).

Переключение молота, рассчитанного на воздух, на работу влажным паром может привести к сильному удару поршня о крышку цилиндра, если не предусмотреть изменений в регулировке парораспределительного механизма. Проще всего уменьшить проходные сечения дросселя и, следовательно, увеличить предварительное дросселирование – (мятие) пара, тем самым снижая давление свежего пара, поступающего в цилиндр. Эффективная энергия удара при этом не уменьшается, так как работа верхнего пара почти не изменяется, а противодействие нижнего пара даже несколько падает. Для сжатого воздуха и перегретого пара адиабата расширения – сжатия является степенной функцией

гиперболического типа:  $pv^k=const$ . Известно, что при  $k>1$  кривая такого рода ниспадает к оси абсцисс тем интенсивнее, чем больше показатель степени.

Поскольку для воздуха  $k=1,4$ , а для перегретого пара  $k=1,3$ , то при одном и том же падении давления от начального уровня степень расширения оказывается наименьшей для сжатого воздуха, несколько больше – для перегретого пара, и самая большая она у влажного пара. Сжатие же на одну и ту же степень вызывает у воздуха самое высокое повышение давления; для перегретого пара оно несколько меньше.

В работе рассматриваются только переменные движущие силы, так как постоянные силы не изменяются от применяемого энергоносителя, а это давление нижнего энергоносителя на площадь поршня снизу –  $p_n \alpha F$  и давление верхнего энергоносителя на площадь поршня сверху –  $p_v F$ .

Результаты расчета работы переменных сил пара и воздуха при ходе вверх и полном ударе представлены на рис. 1, а и б. Работа переменных сил при ходе вверх на воздухе меньше, что приведет к снижению скорости и недоходу падающих частей к крайней верхней точке (к.в.т).

Работа переменных сил при полном ударе меньше на воздухе, что приводит к снижению скорости в конце хода, а, следовательно, и уменьшению энергии удара.

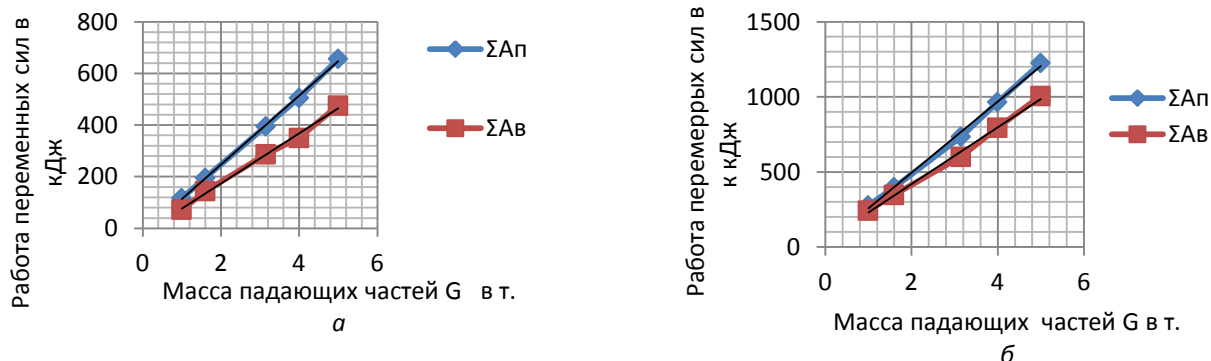


Рис. 1 – График изменения работ переменных сил: а – при ходе вверх, б – при ходе вниз – полном ударе

Расчет работы переменных сил показал, что при возрастании показателя степени функции  $pv^k=const$  внешняя механическая работа, совершенная энергоносителем при расширении, уменьшается, а работа, затрачиваемая на его сжатие, увеличивается.

Уменьшение мощности при работе молота на воздухе по сравнению с молотом, работающем на паре в процентном соотношении рассчитываются по формуле:

$$X = \frac{A_{\text{в}} \cdot 100\%}{A_{\text{п}}},$$

где  $A_{\text{в}}$  и  $A_{\text{п}}$  – работа, выполненная падающими частями молота, работающего соответственно на воздухе и на паре.

Мощность при работе молота на воздухе по сравнению с молотом, работающим на паре уменьшается и в процентном соотношении составляют примерно 12,5...17,5 %. Чем больше МПЧ молота, тем больше процент потерь.

Изменение площади поршня от тоннажа молота, показана на рис. 2

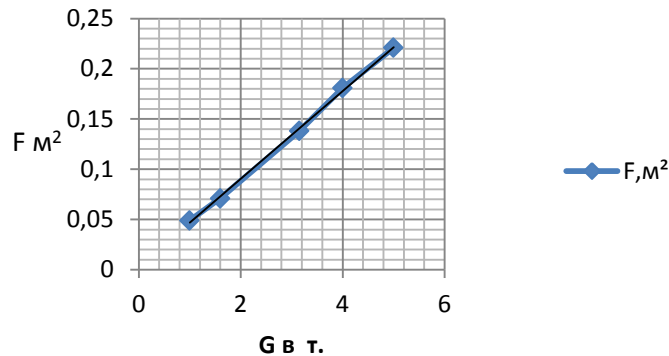


Рис. 2 – График зависимости площади поршня от тоннажа молота

Как видно из рис 2, площадь поршня увеличивается пропорционально увеличению массы падающих частей.

Расчёт скорости перемещения падающих частей вверх при одних и тех же параметрах для пара и воздуха сведен в таблицу. Полученные данные рассчитаны в среде SMATHStudioHandheld. по известным зависимостям

Таблица. Скорость в конце хода вверх

G, т	V10п м/с	V10в м/с
1,0	0.245	-2.462
1.6	0.421	-1.891
3.15	-0.397	-2.059
4,0	0.408	-2.154
5,0	0.103	-2.069

где  $V_{10\text{п}}$   $V_{10\text{в}}$  – скорость падающих частей в конце хода вверх, м/с, соответственно пара и воздуха.

Скорость падающих частей при ходе вверх для воздуха значительно ниже, чем для пара, что приводит к явному недоходу падающих частей до к.в.т. Допустимым значением скорости является условие :  $-0,5 < V_{10} < +0,5$  м/с.

Удельная работа, выполняемая поршнем различных типоразмеров молотов на паре и воздухе для хода вверх и полного удара, показана на рис. 3.

Полученные результаты показывают, что работа, отнесенная к единице площади поршня, меняется незначительно с её увеличением и на паре больше.

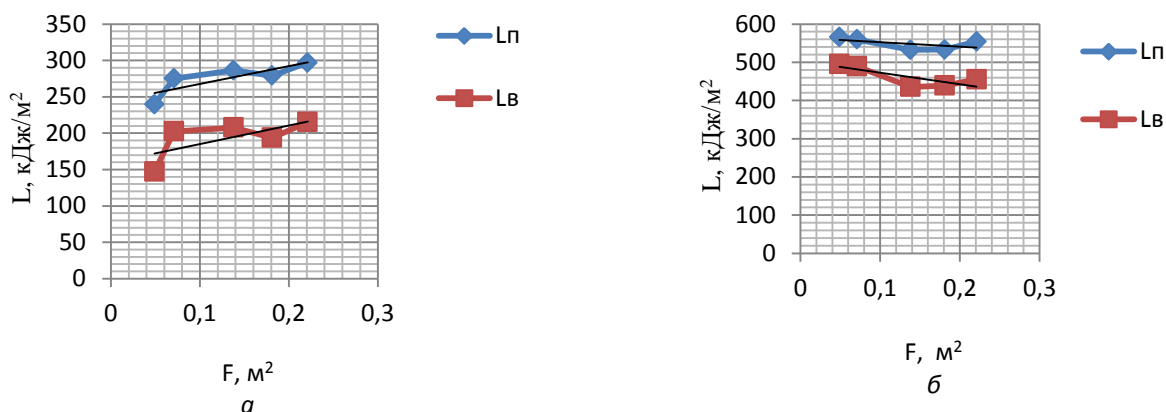


Рис. 3 – Удельная работа, выполняемая поршнем, различных типоразмеров молотов: а – при ходе вверх; б – при ходе вниз – полный удар

Величина коэффициента  $\gamma$  принимается в пределах  $\gamma=0,7...0,9$  для молотов с обычным парораспределением и  $\gamma=0,75...0,9$  для молотов без выпуска энергоносителя при циклах качания [1]. Влияние коэффициента  $\gamma$  (впуска энергоносителя в НПЦ) на работу переменных сил показано на рис. 4 и свидетельствует о том, что это влияние существенно, однако, не зависит от энергоносителя. Причём, следует отметить, что этот параметр не имеет влияния на полный удар.

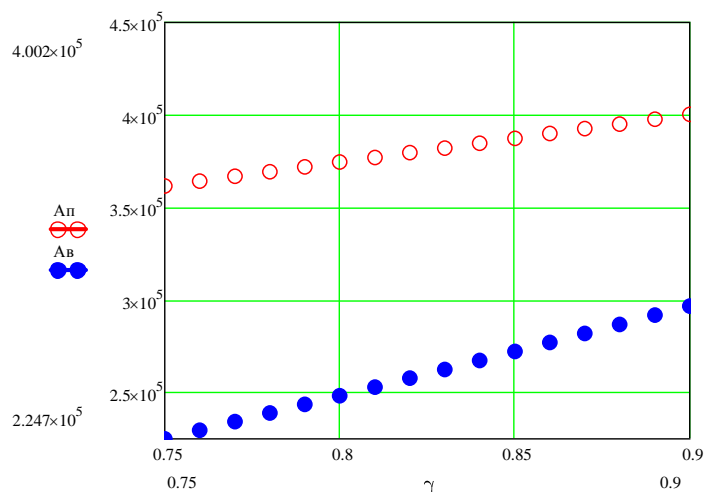


Рис. 4 –График зависимости работы молота на паре и воздухе от коэффициента  $\gamma$

ГОСТом рекомендовано значение давления энергоносителя для штамповочных молотов в пределах  $p=0,6...0,9$  МПа.

Приведенный ниже результат расчета зависимости работы молота на паре и воздухе от давления для молота с МПЧ 3.15 т при ходе вверх и полном ударе представлено на рис. 5.

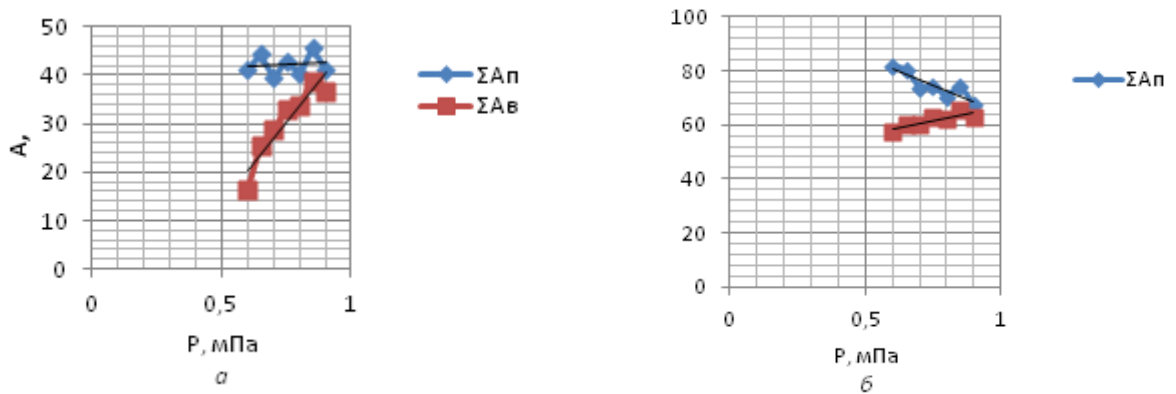


Рис. 5 – График зависимости работы от переменных сил молота на паре и воздухе от давления: *а* – при ходе вверх; *б* – при ходе вниз – полный удар.

Из приведенных графиков видно, что повышение давления не оказывает существенного значения на работу от переменных сил при полном ударе (рис.5, б) и особенно это касается воздуха.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что при расширении работа пара больше, чем работа на воздухе; при сжатии работа на воздухе больше, чем работа на паре. Следовательно, и суммарная работа всех действующих сил на воздухе будет меньше, чем на паре. Объясняется это физическими параметрами энергоносителя, а также скоростью процесса наполнения и опорожнения полости, т.е. падение давления при расширении начинается раньше на воздухе, чем на паре. Как известно, скорость мятия для пара:  $W_{\text{пара}} = 80$  м/с, для воздуха  $W_{\text{возд}} = 60$  м/с. Следовательно, необходимо изменить процесс дросселирования энергоносителя для введения дополнительного количества воздуха, что не всегда удастся обеспечить регулировками системы управления. В некоторых случаях это возможно для хода вверх изменением коэффициента  $\gamma$ , однако при полном ударе такое изменение существенного влияния не окажет. Как видно из рис. 5, повышение давления воздуха в магистрали будет существенным при ходе вверх и значительно меньше влиять при полном ударе.

Для увеличения работы расширения на воздухе необходимо увеличить площадь проходного сечения окон золотниковой втулки. Исходя из конструктивных особенностей системы управления, высота окон золотниковой втулки остается неизменной  $a_{\text{п}} = a_{\text{в}}$ .

Ввиду того, что суммарная работа, выполненная на паре больше, чем на воздухе, величину проходного сечения определяем, исходя из равенства работ движущих сил на паре и на воздухе ( $A_{\text{воз}} = A_{\text{пар}}$ ). Ширина окон золотниковой

втулки для молота, работающего на воздухе, можно определить, исходя из равенства:

$$a_{\text{МНП}}b_{\text{НП}}=a_{\text{МНВ}}b_{\text{НВ}}$$

где:  $a_{\text{МНП}}$  и  $a_{\text{МНВ}}$  – высота открытой части нижнего окна золотниковой втулки молота, работающего соответственно на паре или воздухе;  $b_{\text{НП}}$  и  $b_{\text{НВ}}$  – ширина нижнего окна золотниковой втулки молота, работающего соответственно на паре или воздухе

После определения ширины окна желательно проверить её на прочность. По рекомендациям А. Г. Овчинникова [4] суммарная длина  $b_{\text{Н}}$ ,  $b_{\text{В}}$  или  $b_{\text{С}}$  любого из рядов окон принимается в размере не более диаметра рабочего цилиндра.

**Выводы.** Работа переменных сил при увеличении показателя степени функции адиабаты при расширении уменьшается, а при сжатии увеличивается. Снижение суммарной работы переменных сил при работе на воздухе для различных типоразмеров молотов составляет примерно 12,5...17,5%.

С увеличением тоннажа молота площадь поршня увеличивается по линейному закону, а удельная работа на 1 см<sup>2</sup> остается примерно постоянной для различных типов молотов.

Скорость падающих частей в конце хода вверх при работе на воздухе падает быстрее, что приводит к явному недоходу падающих частей до к.в.т.

Скорость падающих частей при полном ударе на воздухе снижается примерно на 0,5 м/с для всех типов молотов, что приводит к снижению эффективной энергии удара.

Увеличение проходных сечений верхних и нижних окон золотниковой втулки приведет к снижению дросселирования воздуха, а, следовательно к повышению энергетических показателей.

**Список литературы:** 1. *Зимин А. И.* Машины и автоматы кузнечно-штамповочного производства. Молоты Ч. 1 – М. Mashgiz, 1953. – 460 с. 2. *Щёголев В. Ф.* Совершенствование кузнечного оборудования ударного действия. – М.: Машиностроение, 1968. – 224 с. 3. *Климов И. В.* Основы теории и теплового расчёта паровоздушных молотов. – М.: Машиностроение, 1970. – 158 с. 4. *Живов Л. И., Овчинников А. Г.* Кузнечно-штамповочное оборудование, К. Вища шк., 1985. – 280 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Zimin A. I.* Mashiny i avtomaty kuznicho-shtampovochnoho proizvodstva. Moloty Ch. 1 – Moscow: Mashgiz, 1953. – 460 p. 2. *Schegolev V. F.* Sovershenstvovanie kuznechnogo oborudovaniya udarnogo dejstviya. – Moscow: Mashinostroenie, 1968. – 224 p. 3. *Klimov I. V.* Osnovy teorii i teplovogo rascheta parovozdushnyh molotov. – Moscow: Mashinostroenie, 1970. – 158 p. 4. *Zhivov L. I., Ovchinnikov A. G.* Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie, Kiev. Vischa shk., 1985. – 280 p.

Поступила (received) 29.10.2014