

**КАРИМБАЕВ Т.Т., ТОРОЕВ А.А., АБДИЕВА С.К., СЫЯБЕКОВ А.К.**

<sup>1</sup>КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Международный университет инновационных технологий

**KARIMBAEV T.T., TOROEV A.A., ABDIEVA S.K., SYYABEKOV A.K.**

<sup>1</sup>KSUSTA n. a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

<sup>2</sup>International University of Innovative Technologies, Bishkek, Kyrgyz Republic

[argenchik@mail.ru](mailto:argenchik@mail.ru)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЛОТА С МПСсРП СРЕДСТВАМИ ПЛАТФОРМЫ .NET FRAMEWORK**

### **MODELING THE PROCESS OF INTERACTION OF THE MAIN ELEMENTS OF THE HAMMER WITH THE MPSSRP MEANS OF THE .NET FRAMEWORK PLATFORM**

*Бул эмгекте бөлүнүп жылгычтуу өзгөрүлмө түзүлүштөгү механизмдүү ургу машинанын схемасы келтирилди, анын иштөө принциби баяндалды. Кыймылдаткычка динамикалык жүктөрдү азайтуу үчүн жетелегич менен соккучтун өз ара аракеттешүүсү аба жаздыкча аркылуу жүргүзүлүшү сунушталды. Макалада аба жаздыкчалуу жетелегич менен соккучтун конструкциялык элементтеринин ортосундагы жылчыктарынан абанын чыгышынын процесстерин үлгүлөөгө мүмкүндүк берген көз карандылыктар каралды. Мотордун кубаттуулугунун сокку уруучу тарабынан иштелип чыккан максималдуу ылдамдыкка тийгизген таасири аныкталды.*

**Өзөк сөздөр:** моделдөө, бөлүнүп жылгычтуу өзгөрүлмө түзүлүштөгү механизм, аба жаздыкча, ийри муунак, жетелегич, сокку, динамикалык жүк, .NET Framework.

*В данной работе приведена схема ударной машины с механизмом переменной структуры с разделяющимся ползуном, описан принцип ее работы. Для снижения динамических нагрузок на привод предлагается взаимодействие поводка с бойком осуществлять посредством воздушной подушки. В статье рассмотрены зависимости, позволяющие смоделировать процесс истечения воздуха из воздушной подушки через зазоры между конструктивными элементами поводка и бойка. Выявлены влияние мощности двигателя на развиваемую бойком максимальную скорость.*

**Ключевые слова:** моделирование, механизм переменной структуры с разделяющимся ползуном; воздушная подушка; поводок; боек; динамическая нагрузка, платформа .NET Framework.

*In this work, a diagram of a shock machine with a variable structure mechanism with a separable slider is shown, the principle of its operation is described. In order to reduce dynamic loads on the track water, it is proposed to interact the carrier with the striker by means of an air cushion. The article considers dependencies that allow to model the process of air flow from the air cushion through gaps between structural elements of the carrier and striker. The influence of the engine power on the maximum speed developed by the striker is revealed.*

**Key words:** modeling, variable structure mechanism with a separable slider, air cushion, crank, lead, baizes, dynamic load, .NET Framework.

В настоящее время проводятся работы по созданию ударных машин на основе механизмов переменной структуры с разделяющимся ползуном (МПСсРП) [1-3]. В данной конструкции ползун кривошипно-ползунного механизма состоит из взаимодействующих друг с другом поводка и бойка. Поводок имеет левую и правую торцевые поверхности, посредством которых он передает движение бойку. В исходном положении поводок правым торцом прижимает боек к упору. При рабочем ходе поводок из правого крайнего

положения перемещается влево. В это время боек остается прижатым к упору. Перемещающийся поводок, перекрыв своей левой торцевой поверхностью полость воздушной подушки, сжимает находящийся в ней воздух (рис. 1). С этого момента начинается разгон бойка.

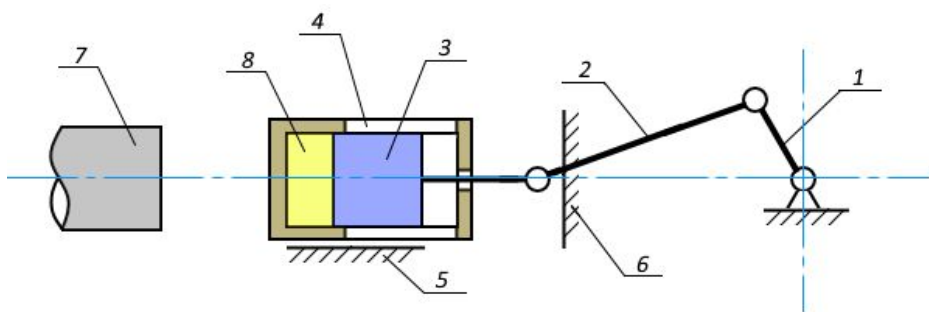


Рис. 1. МПСРП с воздушной подушкой: 1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – поводок, 4 – боек, 5 – корпус, 6 – упор, 7 – инструмент, 8 – воздушная подушка.

Разогнанный поводком боек после достижения поводком максимальной скорости продолжает двигаться с набранной скоростью в сторону инструмента, в то время как поводок замедляется и затем меняет направление движения на противоположное. После нанесения удара по инструменту боек движется в сторону кривошипа. Характер движения бойка после нанесения удара по инструменту зависит от свойств обрабатываемой среды и элементов конструкции ударной машины. Поводок, перемещаясь в сторону кривошипа, входит своей правой торцевой поверхностью с бойком. В этот момент срабатывает фиксирующее устройство (на рисунке не показано), и до соприкосновения с упором боек с поводком движутся совместно. При достижении бойком с поводком упора заканчивается холостой ход, механизм переходит к выполнению следующего рабочего хода. Наличие воздушной подушки обуславливает упругое безударное взаимодействие поводка с бойком, при этом боек движется с меньшими ускорениями, что приводит к снижению усилий, требуемых для его разгона.

В начальный момент возникновения воздушной подушки давление в ней равно атмосферному, а объем воздуха в ней определяется диаметром и длиной полости бойка, в которой образуется воздушная подушка. Если в первом приближении считать процесс изотермическим, то, согласно закона Бойля-Мариотта,

$$pV = C_n = const, \tag{1}$$

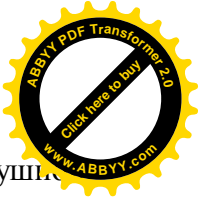
где:  $p$  – давление в полости, образующей воздушную подушку;  
 $V$  – объем полости воздушной подушки.

Допустим к моменту закрытия полости воздушной подушки в ней находился воздух в нормальных условиях, т.е.  $p_0 = 1 \text{ атм.} = 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Тогда, мы можем вычислить значение постоянной  $C_n$ , а затем, зная перемещение ползуна  $\Delta x$  относительно бойка, определим изменение объема полости воздушной подушки и силу взаимодействия между ползуном и бойком.

$$F_{n\delta} = \frac{C_n S}{V_0 - \Delta x \cdot S}, \tag{2}$$

где  $V_0 = S l$  – полный объем полости воздушной подушки.

Воздушная подушка образуется в полости бойка при ее перекрытии торцевой поверхностью поводка. В связи с тем, что сопрягаемые поверхности поводка и бойка, участвующие в образовании воздушной подушки, перемещаются относительно друг друга, между ними должен быть зазор. Следовательно, воздух при сжатии будет через



этот зазор выходит из воздушной подушки в атмосферу, а объем воздуха в воздушной подушке уменьшается. При истечении газа из отверстия при постоянном давлении массовый расход определяется следующей зависимостью [4]:

$$M = \mu \omega \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 \rho_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (3)$$

- где:  $\omega$  – площадь сечения отверстия;  
 $p_1$  – давление внутри воздушной подушки;  
 $p_2$  – давление воздуха окружающей среды;  
 $\rho_1$  – плотность газа в воздушной подушке;  
 $k = c_p / c_v$  – показатель адиабаты;  
 $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;  
 $c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме;  
 $\mu$  – коэффициент, учитывающий влияние сжатия струи, скорости на подходе к отверстию и конструктивные особенности выходного отверстия.

С повышением давления внутри резервуара массовый расход растет, достигая своего максимума.

$$M_{max} = \mu \omega \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} p_1 \rho_1} = \psi_{max} \omega \sqrt{p_1 \rho_1}, \quad (4)$$

где для воздуха  $\psi_{max} = 0,685$ .

Дальнейшее увеличение давления внутри резервуара не изменит массовый расход воздуха. Полученные зависимости позволяют определить массовый расход воздуха из полости бойка, но при постоянном давлении в полости бойка. В ударной машине давление в воздушной подушке интенсивно изменяется, но для инженерных расчетов можно допустить, что давление в воздушной подушке в течение короткого интервала времени порядка  $1 \cdot 10^{-6}$  с остается постоянным.

Для выявления влияния параметров двигателя на динамику работы ударной машины с МПСсРП разработана математическая модель, в которой машина представлена в виде трехмассовой системы (рис. 2).

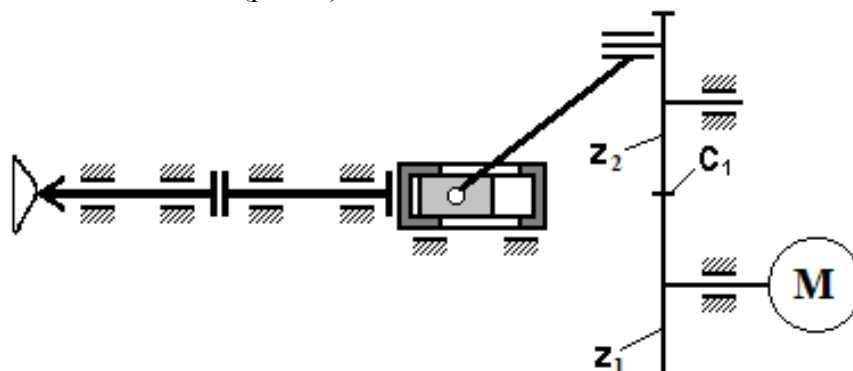


Рис. 2. Схема ударной машины с МПСсРП

При выходе на устойчивый режим работы математическая модель МПСсРП имеет следующий вид:



$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 = a - b \dot{\varphi}_1 - c_1 (\varphi_1 - \varphi_2); \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + \frac{\dot{\varphi}_2^2}{2} \cdot \frac{dJ_{2n}}{d\varphi_2} = c_1 (\varphi_1 - \varphi_2) - M_c; \\ m_3 \ddot{x}_3 = F_c \end{cases}$$

(5)

где:  $\varphi_i$  – угол поворота  $i$  – ого элемента;

$\dot{\varphi}_i$  – угловая скорость  $i$  – ого элемента;

$\ddot{\varphi}_i$  – угловое ускорение  $i$  – ого элемента;

$C_1$  – жесткость зубчатого зацепления;

$M_c$  – момент сопротивления;

$\ddot{x}_3$  – ускорение бойка;

$F_c$  – сила сопротивления движению бойка.

Разработана программа на платформе .NET Framework в среде Visual Studio (рис.3), позволяющая моделировать движение звеньев рассматриваемого молотка. Программа выводит основные текущие параметры ударной машины, с интервалом в один градус воспроизводит текущие положения механизма, причем движения звеньев могут быть показаны в непрерывном или пошаговом режиме. Визуализация движения звеньев ударной машины способствует лучшему пониманию характера их движения и взаимодействия друг с другом, в то время, как сделать это на основе только табличных данных может быть затруднительно.

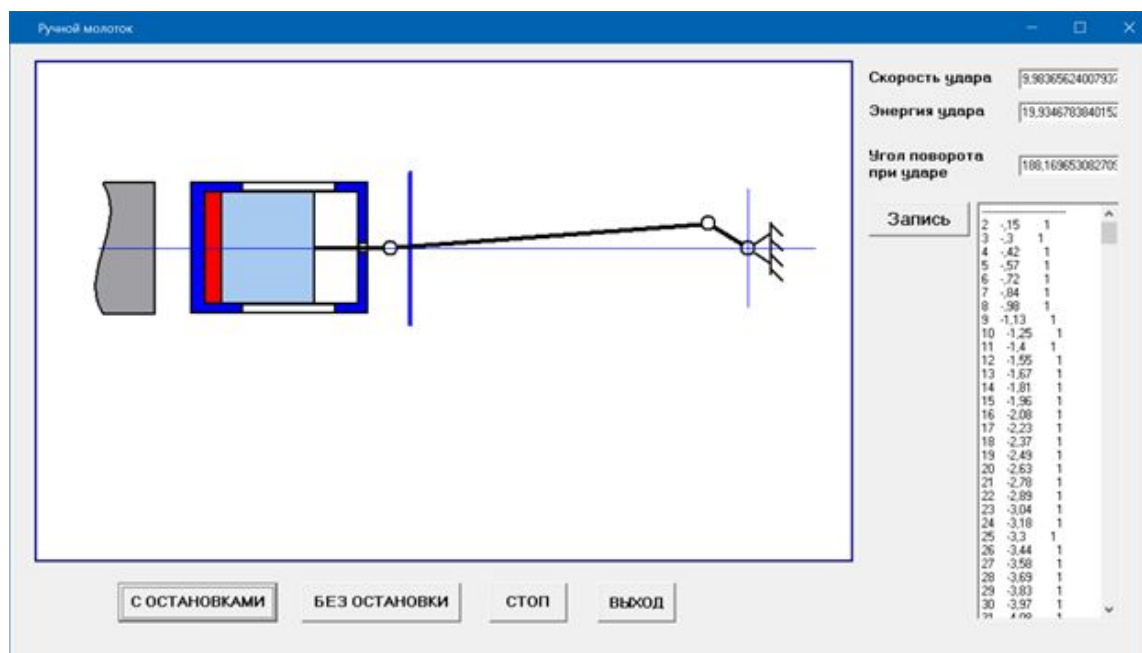
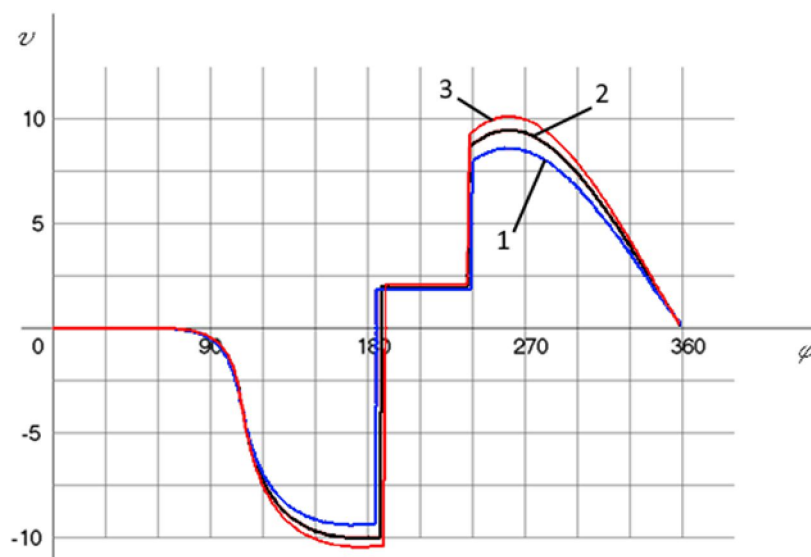


Рис. 3. Главное окно программы для моделирования работы молота

Рассмотрим влияние мощности двигателя на процесс разгона бойка МПСсРП, при этом прием жесткость двигателя постоянной. На рисунке 4 представлен полученный



график момента движущих сил на кривошипе от его угла поворота при различных номинальных мощностях.



1 –  $N = 2000$  Вт, 2 –  $N = 3700$  Вт, 3 –  $N = 5000$  Вт

Рис. 4. Изменение скорости бойка при изменении мощности двигателя

Анализ графиков показывает, что с увеличением мощности двигателя скорости звеньев растут, максимальная скорость бойка может превысить предельно допустимую из соображений долговечности скорость. Напротив, снижение мощности вызывает уменьшение скоростей звеньев, что может привести к уменьшению энергии удара.

### Список литературы

1. Джуматаев М.С., Каримбаев Т.Т., Баялиев А.Ж. Ударный механизм. Патент №1742, 2015.
2. Джуматаев М.С. Анализ влияния длины воздушной камеры на динамические параметры ударной машины с разделяющимся ползуном [Текст] /М.С. Джуматаев, Т.Т. Каримбаев, А.Ж.Баялиев // Машиноведение, Научно-технический журнал. – Бишкек: 2017. - вып.2 (6). - стр. 58 – 63.
3. Каримбаев Т.Т. Исполнительный орган ударных машин на основе дезаксиального кривошипно-ползунного механизма с разделяющимся ползуном [Текст] / Т.Т.Каримбаев, Б.Т.Укуев // Машиностроение и компьютерные технологии. Научно-технический журнал. - Москва: 2018. – вып.7. - С. 1 – 12.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика [Текст] / А.Д.Альтшуль и др. – М.: Строиздат, 1987. – С. 321-324.