

*А. А. Речкин\**

## **Оптимизация конструктивных параметров пневматической ударной машины со стационарно установленным упругим клапаном**

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: lexher68@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрена задача оптимизации конструктивных параметров пневматической ударной машины с эластичным клапаном с целью определения значений, при которых предударная скорость бойка ударной машины будет максимальной при заданных ограничениях на габаритные размеры механизма. Численная оптимизация проведена генетическим методом на одномерной имитационной модели пневматической ударной машины со стационарно установленным кольцевым упругим клапаном в форме усеченного конуса. Кратко описан генетический метод оптимизации. Получены значения параметров машины которые, при наложенных ограничениях, дают максимально возможную предударную скорость бойка ударной машины. Исходя из этих значений определены геометрические характеристики бойка ударной машины при заданной массе.

**Ключевые слова:** пневматическая ударная машина, эластичный клапан, оптимизация, предударная скорость

*А. А. Rechkin\**

## **Optimization of Design Parameters of the Pneumatic Impact Machine with Stationary Installed Elastic Valve**

Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: lexher68@gmail.com

**Abstract.** The problem of optimizing the design parameters of the pneumatic impact machine with an elastic valve is considered to determine the values at which the pre-impact velocity of the striker of the impact machine is maximum under given restrictions. Numerical optimization is carried out using the genetic method on a one-dimensional simulation model of the pneumatic impact machine with a stationary installed ring elastic valve, which have the shape of a truncated cone. The method of genetic optimization is described briefly. The values of the machine parameters are obtained which, under the imposed restrictions, give the maximum possible pre-impact velocity of the striker of the impact machine. Based on these values, the geometric characteristics of the striker of the impact machine at a given mass is determined.

**Keywords:** pneumatic impact machine, elastic valve, optimization, pre-impact velocity

### ***Введение***

Пневматические ударные машины широко применяются в горном деле и строительстве с середины прошлого века до наших дней. Они служат для забивания свай, проходки дегазационных и др. скважин, применяются при горизон-

тально направленном бурении для устройства подземных скважин в грунте и т.д. В последнее время в качестве элементов, управляющих потоком энергоносителя в пневматических ударных машинах стали применяться упругие элементы из резины, полиуретана и т.д. В 1990х годах в ИГД СО РАН были разработаны пневмомолоты «Тайфун» [1] с кольцевым управляющим упругим клапаном, которые зарекомендовали себя как надежные и эффективные машины и выпускаются по сей день. Кольцевой клапан служит для герметизации камеры обратного хода, установлен на бойке и движется вместе с ним. Во время обратного хода наружная поверхность клапана скользит по внутренней поверхности корпуса, что и обеспечивает герметизацию камеры обратного хода. Однако, при этом происходит трение клапана о корпус, вследствие чего уменьшается его ресурс.

В данной работе предложена конструктивная схема со стационарно установленным на наковальне упругим клапаном, имеющим коническую кольцевую форму (рис. 1.) Такая компоновка призвана уменьшить истирание клапана и, следовательно, увеличить межремонтный ресурс.

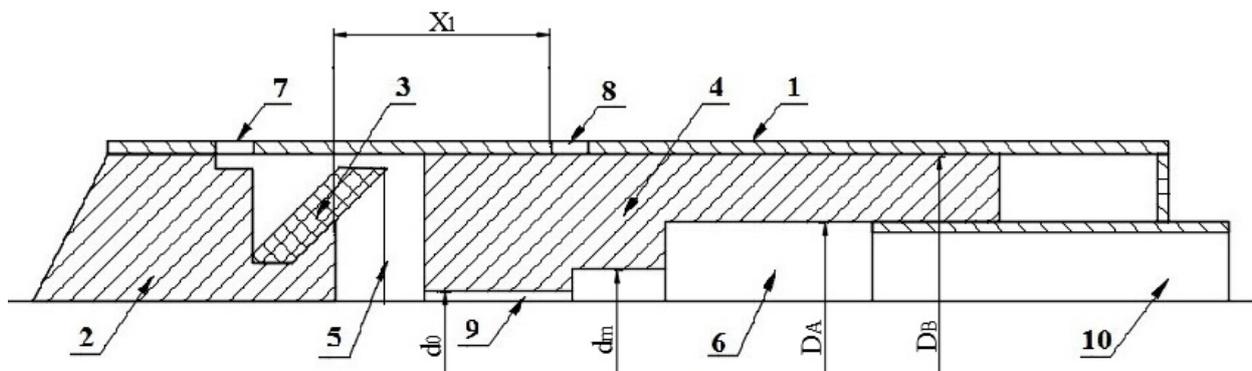


Рис. 1. Принципиальная схема ударной машины: 1 — корпус; 2 — наковальня; 3 — клапан; 4 — боек; 5 — камера обратного хода; 6 — камера прямого хода; 7 — первое выхлопное отверстие; 8 — второе выхлопное отверстие; 9 — межкамерный дроссель; 10 — подача воздуха

В работах [2-4] была дана оценка применимости такого клапана, выбрана рациональная форма и показано влияние сопротивления упругих сил клапана на энергетические характеристики.

### ***Методы и материалы***

Предварительный расчет рабочего цикла ударной машины, выполненной по такой схеме проведем, в программе одномерной симуляции. Расчетная схема представлена на рис. 2.

Будем предполагать, что:

- камера обратного хода герметизируется, как только передняя поверхность бойка соприкасается с контактной поверхностью клапана;

- давление в камере обратного хода на всем его протяжении удерживает клапан в закрытом состоянии и герметизирует камеру обратного хода;
- по достижении передней плоскостью бойка вторых выхлопных отверстий камера обратного хода разгерметизируется, клапан при отсутствии давления открывает первые выхлопные отверстия.

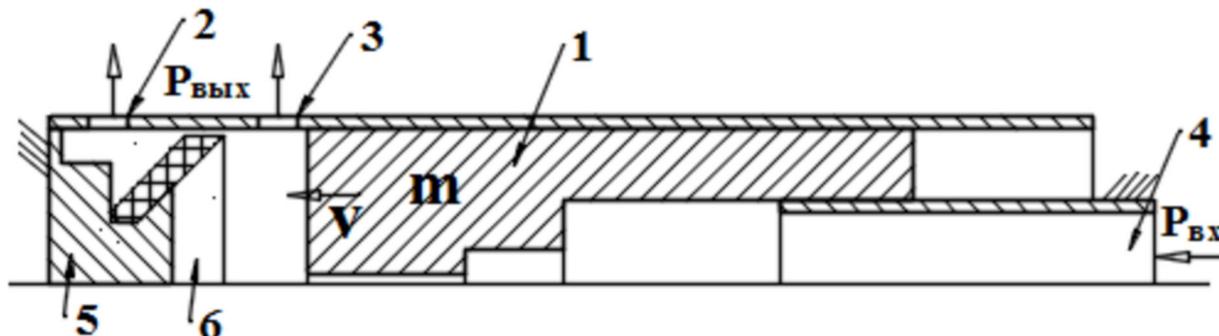


Рис. 2 Расчетная схема: 1 – боек ударной машины, 2 – первый выхлопной канал, 3 – второй выхлопной канал, 4 – подача воздуха, 5 – наковальня, 6 – упругий клапан

В данной программе мы не учитываем деформацию клапана под действием бойка и давления воздуха, а также изменение объема камеры при деформации клапана.

Имитационная модель задачи приведена на рис.3.

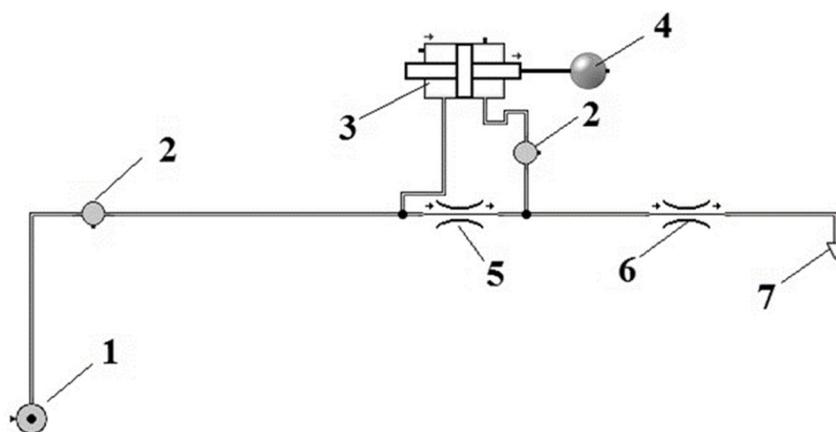


Рис. 3. Имитационная модель: 1- компрессор, 2 – объем воздуха в системе, 3 – пневмоцилиндр, 4 –масса бойка, 5 – межкамерный дроссель, 6 – выхлопной дроссель, имитирующий работу клапана, 7 – выхлоп.

Роль клапана играет управляющий дроссель, который закрыт от момента соприкосновения бойка с клапаном до конца обратного хода.

Задача состоит в определении рациональных параметров машины при которых достигается максимальная предударная скорость. Для этого проведем чис-

ленную оптимизацию, с помощью модуля, подключаемого к имитационной модели. Зафиксируем из конструктивных соображений наружный диаметр бойка  $D_b=0.078$  м и массу бойка  $m=6.1$  кг.

Смысл численной оптимизации состоит в поиске максимума предупредительной скорости при допустимых значениях варьируемых параметров и установленных ограничениях. Примем ограничение, что  $V_{max} < 4$  м/с. Варьировать будем следующие параметры:

- диаметр дросселя  $d_0$  от 0.001 до 0.006 м с шагом 0.001 м,
- диаметр бойка перед дросселем  $d_m$  от 0.010 до 0.026 м с шагом 0.001 м,
- диаметр камеры прямого хода  $D_A$  от 0.030 до 0.056 м с шагом 0.001 м,
- длину рабочего хода  $X_1$  от 0.045 до 0.05 м с шагом 0.001 м.

В качестве метода оптимизации был выбран генетический метод, показавший хорошую сходимость [5]. Генетический метод оптимизации относится к эволюционным алгоритмам, основанным на принципах биологической эволюции. Он использует механизмы естественного отбора, скрещивания и мутации для нахождения решения задачи оптимизации. На первом этапе задается инициализация популяции: создается начальная популяция решений, которая представляет собой набор случайно сгенерированных индивидов  $(d_0^0, d_m^0, D_A^0, X_1^0) \dots (d_0^K, d_m^K, D_A^K, X_1^K)$ , где  $K$ -размер популяции, каждый из которых представляет собой решение задачи. «Генами» являются здесь указанные выше варьируемые параметры, принадлежащие заданным промежуткам. Далее вычисляется функция приспособленности для каждого индивида в популяции (предупредительная скорость). Функция приспособленности определяет качество индивида. Выбор родительских индивидов происходит с учетом их приспособленности. Чем выше значение функции приспособленности, тем больше шансов у индивида быть выбранным в качестве родителя. Далее путем комбинирования «генов» родительских индивидов создается «потомство». Например, из двух «родителей» с индексами 2 и 4 создается потомство  $(d_0^2, d_m^4, D_A^2, X_1^4), (d_0^4, d_m^2, D_A^4, X_1^2)$ . Для обеспечения разнообразия в популяции и исключения преждевременной сходимости в потомство вводятся случайные изменения генов (мутации), например  $(d_0^4, d_m^4, D_A^4, X_1^2)$ , а старая популяция заменяется новой. Такой порядок действий повторяется до достижения условия остановки, которым может быть определенное значение функции приспособленности (в данном случае максимальной предупредительной скорости) или назначенное число опытов.

### **Результаты**

В результате расчетов (рис. 4) получим максимальную возможную предупредительную скорость  $V_{max} = 3.99$  м/с при следующих параметрах:  $D_A=0.055$  м,  $X_1=0.049$  м,  $d_0=0.006$  м,  $d_m=0.010$  м. Цифрами на графике показаны максимально возможные значения скорости, красными точками – значения, выходящие за ограничение.

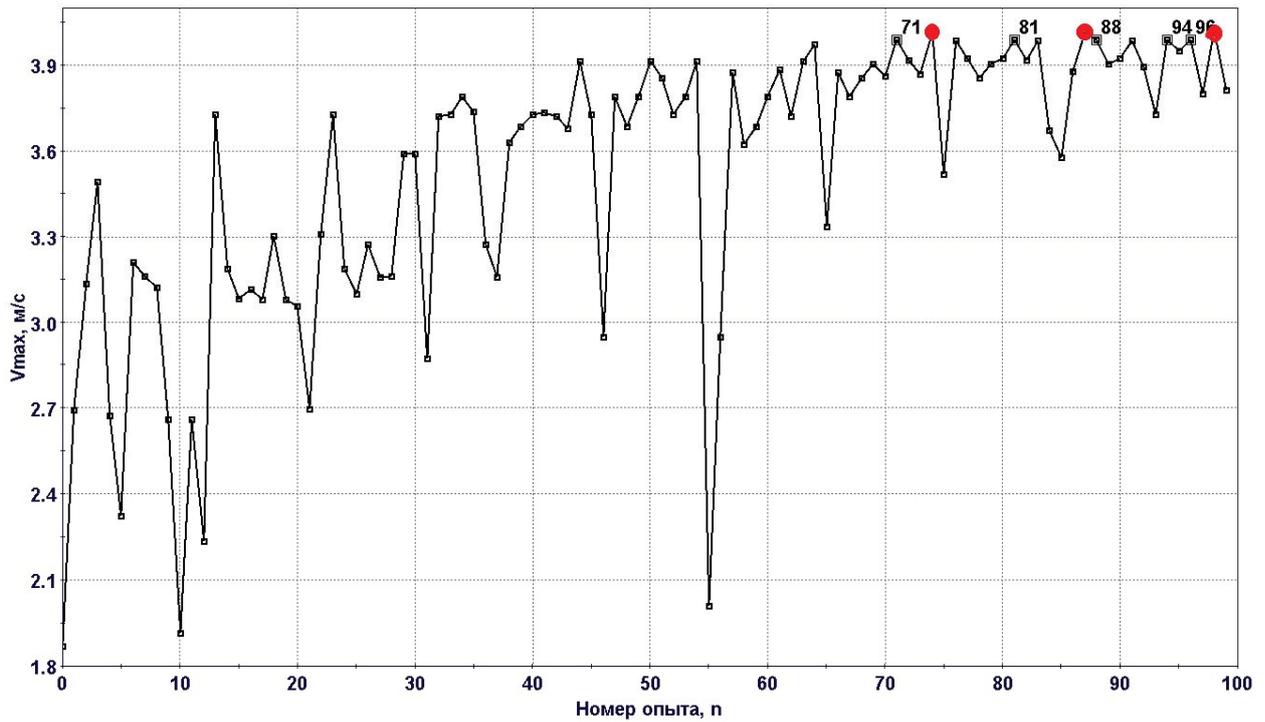


Рис. 4 График оптимизации.

Энергия удара при этом составит  $E = 48.561$  Дж. Проведем расчет ударной машины при найденных параметрах (рис. 5). Получим частоту ударов  $f = 17$  Гц, тогда ударная мощность составит 825.54 Дж/с.

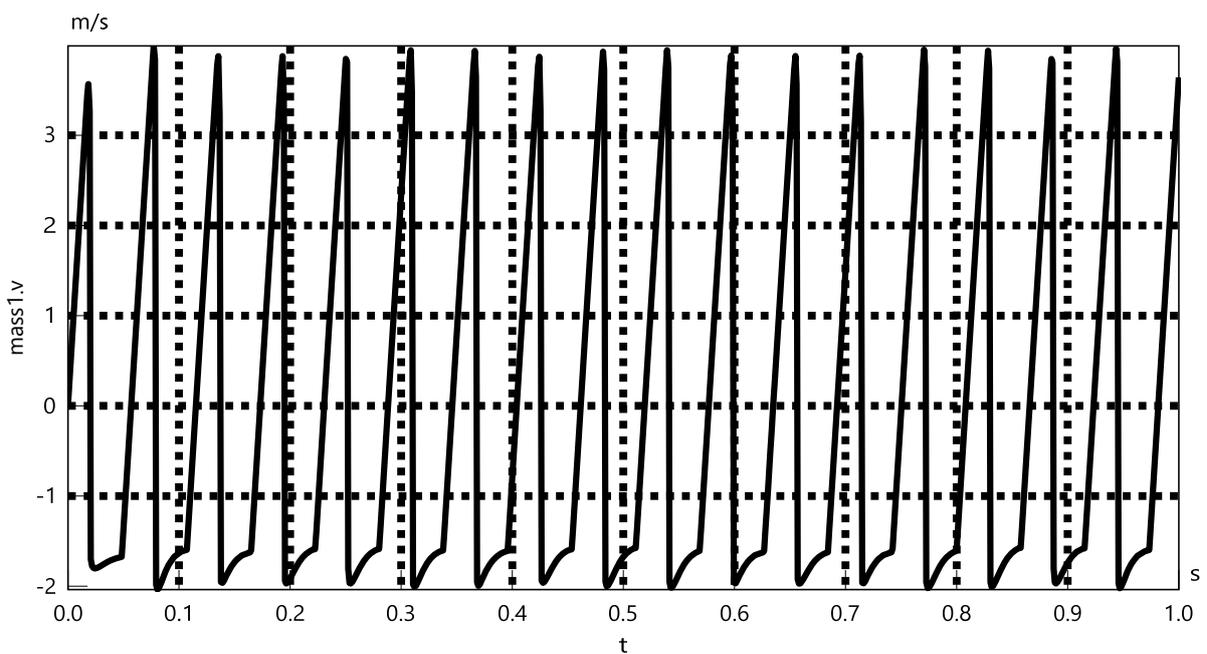


Рис. 5. График скорости бойка ударной машины.

Рассчитаем по полученным результатам геометрические характеристики бойка ударной машины (рис. 6).

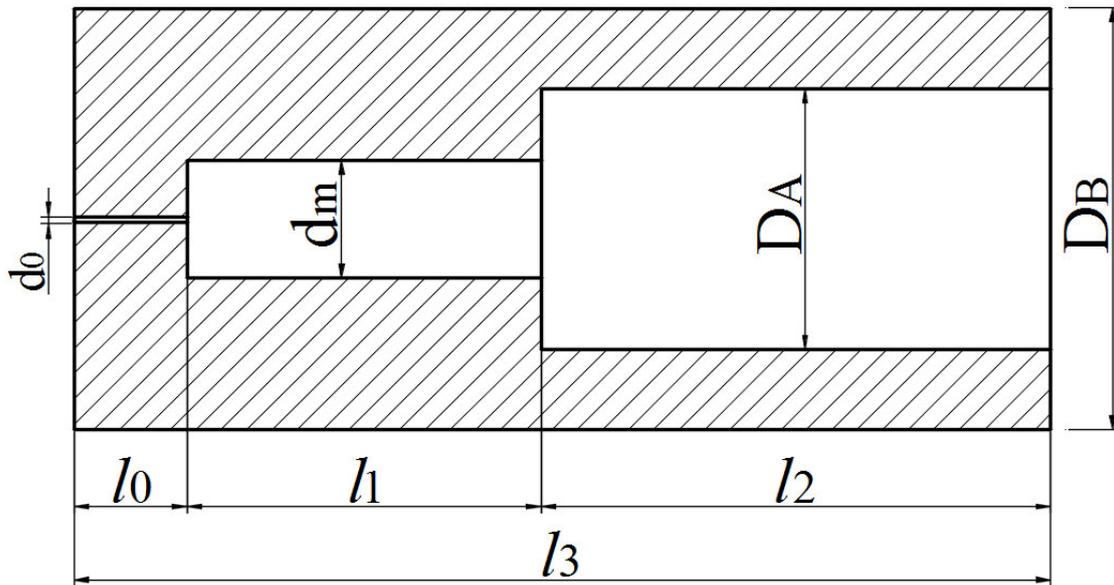


Рис. 6 Геометрические характеристики бойка ударной машины

Подставляя формулы для объема цилиндрического тела в формулу для нахождения массы через плотность и объем, получим:

$$\frac{\pi}{4} (D_B^2 (l_0 + l_1 + l_2) - d_0^2 l_0 - d_m^2 l_1 - D_A^2 l_2) \rho = m$$

Преобразуем:

$$\frac{\pi}{4} ((D_B^2 - d_0^2) l_0 + (D_B^2 - d_m^2) l_1 + (D_B^2 - D_A^2) l_2) \rho = m$$

Примем  $l_1 = l_2$ , тогда

$$((D_B^2 - d_0^2) l_0 + (2D_B^2 - d_m^2 - D_A^2) l_1) = \frac{4m}{\pi\rho}$$

Выразим отсюда  $l_1$ :

$$l_1 = \frac{\left( \frac{4m}{\pi\rho} - (D_B^2 - d_0^2) l_0 \right)}{2D_B^2 - d_m^2 - D_A^2}$$

Примем  $l_0 = 0.015$  м, плотность стали  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>, массу бойка  $m = 6.1$  кг.

Проведя расчеты, получим  $l_1 = l_2 = 0.1$  м,  $l_3 = 0.215$  м.

### Заключение

С помощью метода численной оптимизации для заданной массы и наружного диаметра бойка получены значения конструктивных параметров, обеспечивающие максимальную предупредную скорость пневматической ударной машины выбранной конструктивной схемы с учетом наложенных ограничений. Ис-

ходя из полученных оптимальных значений параметров определены геометрические размеры бойка ударной машины.

Таким образом, использование метода численной оптимизации при проектировании ударных машин позволяет быстро получать точные оптимальные параметры машины по заданным проектировщиком отдельным характеристикам и/или допустимым пределам изменений каких-либо характеристик, которые выбираются из целевых, конструктивных или иных соображений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляницкий Б.Н., Червов В.В. Повышение эффективности использования энергоносителя в пневмомолотах для подземного строительства // ФТПРПИ. - № 5. – 2014. – С. 143-157.
2. Данилов Б. Б., Речкин А. А. Оценка применимости в пневмо-ударных машинах и оптимизация формы стационарно установленного упругого клапана. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021. — Новосибирск: СГУГиТ, 2021: Т. 2. №3— С. 189 – 194.
3. Речкин А.А., Данилов Б.Б. Влияние формы опорной поверхности стационарно установленного упругого клапана на изменение предударной скорости бойка ударной машины // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. — Новосибирск: СГУГиТ, 2022: Т. 2. № 3. С. 279-285.
4. Данилов Б.Б., Речкин А.А. Зависимость изменения энергии бойка от формы сечения стационарно установленного упругого клапана при их взаимодействии в ударной машине // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук - Т. 9. № 2. – 2022. - С. 128-133.
5. Саймон Дэн. Алгоритмы эволюционной оптимизации / пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 1002 с.: ил.

© А. А. Речкин, 2024