

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ УЗЛОВ МАШИН ПО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ РАЗРУШАЕМОГО ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

*Тимофеев Е.Г.<sup>1</sup>, Жуков И.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский горный университет, г.Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** удар, импульс, разрушение, синтез ударников, бурение.

**Аннотация.** Одним из наиболее перспективных методов совершенствования машин ударного действия является синтез геометрических параметров элементов ударных узлов в зависимости от обрабатываемого или разрушаемого объекта. В статье приведен авторский подход к решению задачи синтеза ударников с применением автоматизированных средств, обеспечивающих инженерную точность решения поставленной задачи.

## **DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE IMPACT UNITS ON PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE DESTROYED OBJECT AUTOMATED DESIGN TOOLS**

*Timofeev E.G.<sup>1</sup>, Zhukov I.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Siberian state industrial university, Novokuznetsk;*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg*

**Keywords:** impact, impulse, destruction, synthesis of strikers, drilling.

**Abstract.** One of the most promising methods for improving impact machines is the synthesis of geometric parameters of elements of impact nodes, depending on the object being processed or destroyed. The article presents the author's approach to solving the problem of synthesizing strikers using automated tools that provide engineering accuracy of solving the problem.

Одним из приоритетных направлений промышленного кластера Кузбасса является горнодобывающая отрасль. В большинстве случаев добыча полезных ископаемых (руды, угля и т.п.) ведется подземным методом. Такой подход предполагает проведение проходческих работ, связанных с бурением шпуров, скважин различных назначений (например, для проведения взрывных работ). Для этого применяются механизмы ударного действия (перфораторы, бурильные машины и комплексы) в основу работы, которых положен продольный удар. Генератором энергии в таких установках является механизм, создающий циклическую нагрузку, которая посредством механической или гидравлической системы передается поршню-ударнику

(или просто, ударнику или бойку), он приводится в поступательное движение, соударяется с волноводом (или ударной площадкой инструмента), который передает ударное усилие инструменту, совершающему полезную работу. Принципиальные схемы ударных систем стержневого типа приведены на рисунке 1.

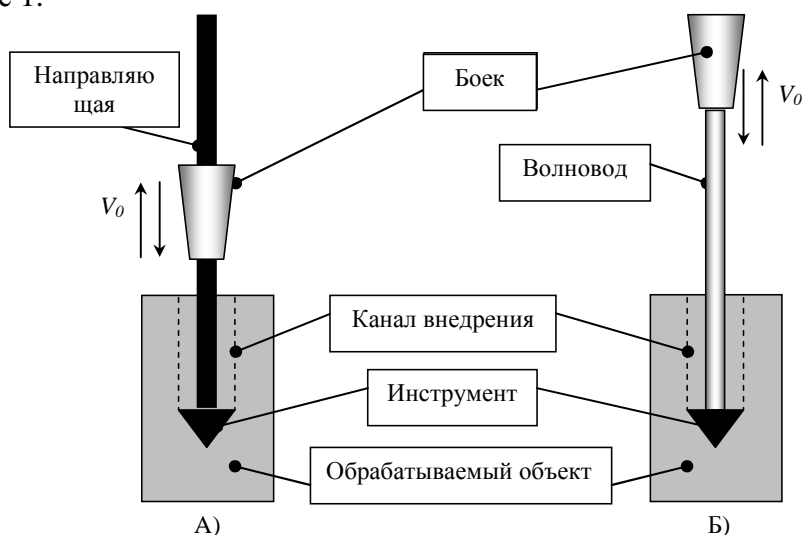


Рис. 1. Принципиальные схемы стержневых ударных систем  
 А) погружного и Б) непогружного типа

Основной задачей данной машины является генерация ударного импульса рациональной формы, который позволит разрушить объект с минимальными затратами энергии, что приводит к увеличению срока эксплуатации всего механизма в целом.

Получается, что одной из первостепенных задач при проектировании ударного механизма является ударный выход системы. Он заключается в форме генерируемого ударного импульса, который для каждого материала имеет свой вид. Данный импульс создается ударником, и доказано, что его форма зависит от геометрии бойка [1]. Поэтому задача проектирования ударной установки, по большому счету, сводится к подбору оптимальной формы бойка. *Постановка задачи:* разработка и автоматизация аналитического метода определения оптимальной формы ударника в зависимости от физико-механических свойств материала разрушаемого объекта.

Решение описанной выше задачи, необходимо проводить в два этапа: *первый* – это оценка физико-механических параметров материала разрушаемого объекта и определение внешнего вида первой волны оптимального ударного импульса; *второй* – определение приведенной формы [2] бойка по внешнему виду первой волны оптимального ударного импульса. Рассмотрим их более подробно.

Оценка физико-механических параметров материала разрушаемого объекта и определение внешнего вида первой волны оптимального ударного

импульса. Цель: получение функции, описывающей первую волну оптимального ударного импульса аналитическим способом. Данная задача была решена И.А. Жуковым и Е.В. Сарахановой, опишем это решение согласно [3]. В основу решения этой задачи положена диаграмма «сила-внедрение», получаемой при статической нагрузке образца из обрабатываемого материала. Такую диаграмму можно снять на испытательном комплексе типа ИК-500.01, по методике, описанной в работе [4]. Данная диаграмма подвергается аппроксимации для получения зависимости вида:  $P=P(h)$  Допустив упрощение, что отраженного от обрабатываемого объекта импульса не возникает, составляется уравнение вида

$$P = \frac{SE}{a} \frac{dh}{dt}, \quad (1)$$

где  $P$  – усилие, вызываемое падающей волной продольных колебаний;  $S$  – площадь контакта «инструмент-образец»,  $E$  – модуль упругости материала инструмента,  $a$  – скорость звука в материале инструмента,  $h$  – глубина внедрения инструмента в породу.

Выражая из (1)  $h$ , как функцию вида  $h=h(P)$ , дифференцируя данную функцию по времени и подставляя в выражение (1) получаем дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$\frac{a}{SE} dt = \frac{dh(P)}{dP} \frac{dP}{P}, \quad (2)$$

интегрируя уравнение (2) получаем:

$$\int_{t_0}^t \frac{a}{ES} dt = \int_{F_0}^F \frac{dh(P)}{dP} \frac{dP}{P}, \quad (3)$$

где  $t_0$  – начальное значение времени, а  $F_0$  – начальное значение прикладываемой силы (силы удара). Из выражения (3) определяется зависимость  $F(t)$ , которая и представляет собой необходимый для разрушения объекта оптимальный импульс, общий вид данной зависимости приведен на рисунке 2. Данный расчет авторами автоматизирован путем составления компьютерной программы «Синтез ударного импульса по зависимости «сила-внедрение» для разрушения горной породы ударом» [5].

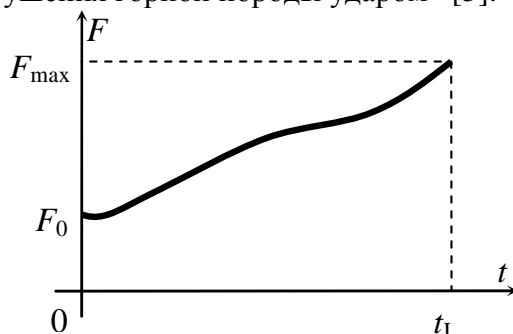


Рис. 2. Общий вид ударного импульса, построенной по зависимости  $F(t)$  (здесь:  $t_1$  – длительность первой волны ударного импульса,  $F_0$  – начальное значение ударного усилия,  $F_{\max}$  – амплитудное значение ударно усилия)

*Определение приведенной формы бойка по внешнему виду первой волны оптимального ударного импульса.* Приведенная форма ударника это тело вращения, которым можно заменить реальный боек, генерирующее такой же ударный импульс, что и реальный ударник. Ее легко смоделировать в декартовой системе координат при помощи функции вида  $y=f(x)$ , задающей образующую бойка (см. рисунок 3). Цель: получение функции вида  $f(x)$ , задающей образующую боковой поверхности приведенной формы ударника. Данная задача получила название: задача синтеза геометрической формы ударника по первой волне ударного импульса им генерируемого.

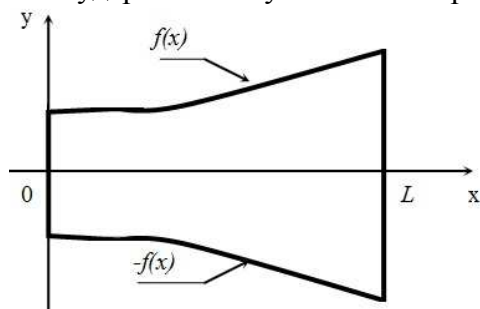


Рис. 3. Модель приведенной формы ударника, выполненная в декартовой системе координат  $XOY$  (здесь:  $f(x)$  – функция, задающая образующую бойка,  $L$  – длина бойка)

Решение этой задачи базируется на численном методе определения ударного импульса по приведенной форме ударника [6], который является продолжением графо аналитического метода расчета ударного импульса, генерируемого цельнотельным ударником, являющимся телом вращения переменного сечения [7]. Данный подход представляет собой обратную задачу. Ее исходными данными являются ударный импульс, заданный в виде функции вида  $F(t)$ , и материал синтезируемого бойка, заданный двумя параметрами:  $E$  – модулем упругости и  $\rho$  – плотностью. Синтезирование бойка производится путем его составления из цилиндрических ступеней одинаковой длины и различного диаметра.

Первый вариант решения этой задачи не имел должного успеха, он позволил лишь произвести грубую оценку функции образующей боковой поверхности приведенного бойка. Это связано с подходом к решению задачи. Авторы составили систему уравнений и попытались ее решить. Такой подход не дал должного результата, в силу громоздкости уравнений составляющих систему, он позволил производить расчет диаметров всего 10-14 цилиндрических ступеней, что, как показала практика, явилось недостаточным для определения функции  $f(x)$  и позволяло лишь предполагать ее внешний вид. Решение этой задачи было автоматизировано путем составления компьютерной программы «Синтез геометрии бойков ударных механизмов» [8].

Более глубокое (поитеррационное) исследование численного метода определения ударного импульса позволило создать численно-аналитический

метод расчета диаметров цилиндрических ступеней, составляющих синтезируемый ударник. Рассмотрим алгоритмическую схему этого расчета согласно [9]:

1) область определения графика ударного импульса (функции  $F(t)$ , см. рис. 2) разбить на равные промежутки (как показывает практика, их количество должно быть 70-80 штук).

2) сформировать массив численных значений  $F_i$  согласно выражению:

$$F_{2i-1} = F_{2i} = \frac{1}{t_1} \int_{(i-1)t_1}^{it_1} F(t) dt, \quad (4)$$

где  $i$  – порядковый номер промежутка,  $t_1$  – длина одного промежутка.

3) по алгоритму численно-аналитического метода произвести расчет численных значений одномерного массива, содержащего диаметры цилиндрических ступеней синтезируемого бойка  $d_i$ .

Итогом расчета является приведенная форма ударника, состоящая из цилиндрических ступеней одинаковой длины и различного (или равного, что зависит от геометрии задачи) ударника. Примерный вид синтезируемого бойка приведен на рисунке 4.

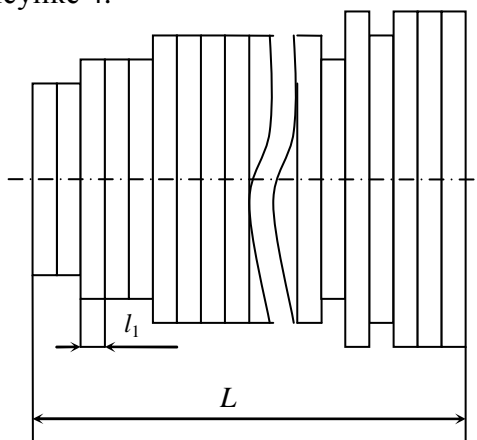


Рис. 4. Примерный вид синтезируемого ударника длиной  $L$ , составленного из цилиндрических ступеней одинаковой длины  $l_1$  и различных (или одинаковых) диаметров, вычисленных численно-аналитическим методом

После наложения на данный рисунок прямоугольной системы координат (ось абсцисс совпадает с осью симметрии) и аппроксимации получается функция, описывающая образующую боковой поверхности  $f(x)$  с достаточно высокой точностью. Данный расчет полностью автоматизирован путем написания компьютерной программы на языке программирования математической среды MAPLE 14.

Итогом работы является компьютерная программа, написанная на языке программирования математического редактора MAPLE 14, объединяющая два расчетных этапа: «Синтез геометрических параметров ударных узлов машин в зависимости от физико-механических свойств разрушаемого объекта» [10].

### Список литературы

1. Открытие 13 СССР / Е.В. Александров. – Приоритет от 30.10.1957, опубл. 19.03.1964, Бюл. №7 – 1с.
2. Иванов К.И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К.И. Иванов, В.А. Латышев, В.Д. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 272с.
3. Сараханова Е.В. Алгоритм определения форм ударного импульса по зависимости «сила-внедрение» для крепких горных пород / Е.В. Сараханова, И.А. Жуков // МашиноСтроение. – 2010. – №20. – С. 93-98.
4. Жуков И.А. Научно-методические основы определения физико-механических свойств горной породы при исследовании разрушения хрупких сред ударом // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – С. 96-100.
5. Свидетельство ПВМ №2012611835. Синтез ударного импульса по зависимости «сила-внедрение» для разрушения горной породы ударом / Жуков И.А., Сараханова Е.В. (РФ) – №2011660043; поступление 26.12.2011; зарегистр. 17.02.2012.
6. Zhukov I.A., Repin A.A., Timofeev E.G. Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 134 (2018) 012071 doi :10.1088/1755-1315/134/1/012071
7. Жуков И.А. Анализ форм бойков ударных систем графоаналитическим методом / И.А. Жуков, Л.Т. Дворников // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №1. – С. 15-19.
8. Свидетельство ПВМ №2007614717. Синтез геометрии бойков ударных механизмов / Дворников Л.Т., Жуков И.А. (РФ) – №2007613793; поступление 24.09.2007; зарегистр. 14.11.2007.
9. Тимофеев Е.Г. Алгоритм синтеза ударников переменного сечения по геометрии первой волны импульса ими генерируемого / Е.Г. Тимофеев, И.А. Жуков // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2018): труды XVIII Междунар. молодёж. Конфер., 16-18 окт. 2018г., Москва. – М.: ИПУ РАН, 2018. – С. 215-217.
10. Свидетельство ПВМ №2019619331. Синтез геометрических параметров ударных узлов машин в зависимости от физико-механических свойств разрушаемого объекта / Тимофеев Е.Г., Жуков И.А., (РФ) – №2019618249; поступление 05.07.2019; зарегистр. 16.07.2019.

### References

1. Opening 13th USSR / E.V. Aleksandrov. – The priority from 30.10.1957, publ. 19.03.1964, Bull. No. 7. – 1p.
2. Ivanov K.I. Drilling techniques in the development of mineral deposits / K.I. Ivanov, V.A. Latyshev, V.D. Andreev. – 3rd ed., reprint and additional. – M.: Nedra, 1987. – 272p.
3. Sarakhanova E.V. Algorithm for determining the forms of a shock pulse based on the "force-embedding" relationship for strong rocks / E.V. Sarakhanova, I.A. Zhukov // Mechanical engineering. – 2010. – No. 20. – P. 93-98.
4. Zhukov I.A. Scientific and methodological bases for determining the physical and mechanical properties of rocks in the study of the destruction of brittle media by impact // Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources: collection of scientific articles. – Novokuznetsk: SibSIU, 2009. – P. 96-100.
5. Certificate No. 2012611835. Synthesis of a shock pulse according to the "force-introduction" dependence for rock destruction by impact / Zhukov I.A., Sarakhanova E.V. – No. 2011660043; received 26.12.2011; registered 17.02.2012.
6. Zhukov I.A., Repin A.A., Timofeev E.G. Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 134 (2018) 012071 doi :10.1088/1755-1315/134/1/012071

7. Zhukov I.A. Analysis of boycott forms of shock systems by graphoanalytic method / I.A. Zhukov, L.T. Dvornikov // Bulletin of computer and information technologies. – 2009. – No. 1. – P. 15-19.
8. Certificate No. 2007614717. Synthesis of geometry of anvil blocks of impact mechanisms / Dvornikov L.T., Zhukov I.A. – No. 2007613793; received 24.09.2007; reg. 14.11.2007.
9. Timofeev E.G. The synthesis Aalgorithm drummers variable cross section geometry of the first wave of momentum they generated / E.G. Timofeev, I.A. Zhukov // System of design, technological preparation of production and management stages of the life cycle of industrial product (CAD/CAM/PDM - 2018): proceedings of the XVIII Intern. the first one. Confer., October 16-18, 2018, Moscow. – M.: IPU RAS, 2018. – P. 215-217.
10. Certificate No. 2019619331. Synthesis of geometric parameters of impact units of machines depending on the physical and mechanical properties of the destroyed object / Timofeev E.G., Zhukov I.A. – No. 2019618249; received 05.07.2019; registered 16.07.2019.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Тимофеев Евгений Геннадьевич</b> – аспирант, Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк, Россия	<b>Timofeev Evgeniy Gennadievich</b> – postgraduate student, Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia
<b>Жуков Иван Алексеевич</b> – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, г.Санкт-Петербург, Россия, tmmiok@yandex.ru	<b>Zhukov Ivan Alekseevich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, professor of Department of mechanical engineering, Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia
Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк, Россия	Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia

Получена 06.08.2020