

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Институт машиноведения имени академика А.А. Благоднарова Российской Академии наук
Уханьский текстильный университет (Китай)
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Иркутский государственный университет путей сообщения
АО «Улан-Удэнский авиационный завод»

**VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН
посвященная 60-летию ВСГУТУ**

Сборник статей

Ответственный редактор
Л.А. Бохоева
доктор технических наук, профессор

Улан-Удэ
Издательство ВСГУТУ
2022

УДК 621.01
ББК 34.41
М 433

Материалы публикуются в авторской редакции

VIII Международная конференция ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ
СОВРЕМЕННЫХ МАШИН: сборник статей/ отв. ред. Л.А. Бохоева. – Улан-
М 433 Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2022. – 673 с.
ISBN 978-5-907599-05-5

В сборнике статей представлены научные доклады участников VIII Международной конференции ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН, проведенной в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления (оз. Байкал), 4-9 июля 2022 г. Рассмотрены проблемы и достижения в области механики современных машин, вопросы импортозамещения, определены новые «точки роста» и прорывные технологии развития по направлениям: функциональные и конструкционные материалы; механика композиционных материалов и конструкций; динамика, прочность и надежность машин; проектирование и автоматизация механических систем; инновационные технологии производства современных машин и оборудования; цифровые технологии в машиностроении и строительстве. Сборник статей предназначен для преподавателей, научных сотрудников, инженеров, докторантов, аспирантов, магистрантов, студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и практической деятельности.

VIII International Conference “PROBLEMS OF MECHANICS OF MODERN
MACHINES”: collection of articles/ ed. by L.A. Bokhoeva. – Ulan-Ude: ESSUTM
М 433 Publishing House, 2022. – 673 p.
ISBN 978-5-907599-05-5

The collection of articles presents scientific papers of the participants of the VIII International Conference “PROBLEMS of MECHANICS of MODERN MACHINES”, held at the East Siberia State University of Technology and Management (Lake Baikal), July 4-9, 2022. The papers deal with a wide range of problems and achievements in modern machines mechanics: issues of import substitution in the field of mechanics of modern machines, new "growth points" and breakthrough development technologies in the following areas: functional and structural materials; mechanics of composite materials and structures; dynamics, strength and reliability of machines; design and automation of mechanical systems; innovative technologies for the production of modern machines and equipment; digital technologies in mechanical engineering and construction. The collection of articles is for teachers, researchers, engineers, doctoral students, postgraduates, undergraduates, students of educational institutions, as well as anyone interested in the subject under consideration to be used in research and implemented in the industrial development.

ISBN 978-5-907599-05-5

© ВСГУТУ, 2022

Казьмин И.Д., Булдаев А.С., Операторные методы принципа максимума в задачах оптимизации квантовых систем.....	259
Шатов М.С., Батуев Ц.А., Грешилов А.Д., Митрюшкин И.С. Разработка оснастки и оборудования для вакуум-формования авиационного остекления из органического стекла.....	266
Большаков Р.С., Елисеев А.В., Каргапольцев С.К., Динамическое состояние механических колебательных систем. возможности формирования.....	272
Бохоева Л.А., Новосельцев П.В., Данилов А.Я., Устройство для контроля рельсового пути.....	280
Буйлов С.В., Буйлова М.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Оценка прочности клеевых соединений армированного полимера с металлом при сложном напряженном состоянии.....	287
Галсанова Э.Ц., Калинин Я.В., Яковлев А.А., Грешилов А.Д., Исследование методик построения новых концепций, технологий горячей листовой штамповки и конструкций гибочного оборудования.....	295
Дубанов А. А., Никифоров С. О., Модель процесса преследования цели объектами, преследующими цель методом погони.....	301
Карпов И.В., Боев А.Ф., Бобарика И.О., Исследование взаимовлияния параметров нагружения выходной решетки системы кондиционирования маневренного самолета с помощью аэродинамического исследования.....	306
Данеев В.В., Дашеев Д.Е., Методы оценки функционирования измерительных органов релейной защиты в переходных режимах коротких замыканий.....	314
Dai Wenhan, Quan Wusheng, Mo Chonggeng, Zou Dehua, Jiang Wei Research on mechanical system design for high voltage transmission line insulators laser deicing robot.....	319
Овечкин И.С., Каргопольцев С.К., Гозбенко В.Е. Развязка уравнений движения механической колебательной системы.....	323

Секция «Инновационные технологии производства современных машин и оборудования»

Секция «Цифровые технологии в машиностроении и строительстве»

Котовщиков И.О., Моделирование процесса активного теплового контроля авиационных изделий из композиционных материалов.....	331
Дубанов А. А., Никифоров С. О., Моделирование процесса преследования с областью захвата цели у преследующих объектов.....	337
Wang Jian , Mei Shunqi Preparation and properties of carbon nanotube conductive silicone rubber.....	342
Груздев А. С., Проект системы автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей авиационной техники.....	346
Батулин В.Н., Хадеева С.С., К вопросу организации производства деталей в механическом производстве машиностроительного предприятия.....	354
Тихов-Тинников Д. А., Федотов А. И., Батжаргал Н., Обоснование параметров экспериментальных исследований боковых реакций в пятне контакта колеса с дорогой.....	359
Панасенко А. Н., Панасенко С. А., Моделирование процесса ударного взаимодействия стержневой системы и упругого тела.....	365
Тимофеев Е.Г., Князев А.С., К вопросу о программном обеспечении для анализа и синтеза геометрии бойков машин ударного действия.....	372
Дамдинова Т.Ц., Абатнин А.А. Геометрическое моделирование объектов по облаку точек.....	380
Куликова Т.К., Степанов-Бомбоев М.С., Елаева Н.К., Применение метода традиционной вытяжки листовых деталей на прессах высокого давления.....	387

К ВОПРОСУ О ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДЛЯ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ГЕОМЕТРИИ БОЙКОВ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Тимофеев Е.Г., Князев А.С.,
Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Россия, Кемеровская область, г.Новокузнецк, ул. Кирова зд. 42 , +7(904)371-16-21
e-mail: veefomit77777@yandex.ru

В работе описаны алгоритмы, положенные в основу автоматизированных методов анализа и синтеза геометрии бойков машин ударного действия. Описаны разработанные программные средства позволяющие проводить анализ и синтез геометрии бойков с высокой точностью. Проведена оценка сходимости экспериментальных и теоретических решений. Рассмотрен пример синтеза ударника по физико-механическим свойствам гранита и предложен способ реализации синтезированного бойка, как элемента ударного узла машины.

Ключевые слова: удар, боек, ударный импульс, алгоритм, комплекс программ

TO THE ISSUE OF SOFTWARE FOR ANALYSIS AND SYNTHESIS OF IMPACT MACHINE ANVIL-BLOCK GEOMETRY

Timofeev E.G., Knyazev A.S.
Siberian State Industrial University
654007, Russia, Kemerovo Region, Novokuznetsk, st. Kirova zd. 42 , +7(904)371-16-21
e-mail: veefomit77777@yandex.ru

The work describes the algorithms that are the basis for automated methods for analyzing and synthesizing the geometry of anvil-blocks for percussion machines. The developed software tools allowing to analyze and synthesize the geometry of homogeneous anvil-blocks with high accuracy are described. The convergence of experimental and theoretical solutions was evaluated. An example of firing pin synthesis on the physicomachanical properties of granite is considered and a method of implementing the synthesized firing pin as an element of the impact assembly of the machine is proposed.

Keywords: impact, anvil-block, shock impulse, algorithm, set of programs

Модернизация и разработка машин ударного действия [1-2] ставит перед инженером ряд задач, решение которых приводит к увеличению их производительности, что, во многом, достигается увеличением передачи генерируемой энергии от машины к объекту воздействия. Это напрямую связано с анализом динамических процессов, протекающих в ударных узлах при генерировании энергии.

В машинах ударного действия генерирование энергии производится посредством продольного удара, где боек – тело вращения переменного сечения разгоняется приводом машины и наносит удар по волноводу, где формируются продольные волны смещений, энергия которых, посредством волновых импульсов передается к инструменту, совершающему полезную работу. Эффект разрушения определяется не только величиной генерируемой энергии, но и формой ударного импульса. Факт влияния формы импульса был официально заявлен Е.В. Александровым в открытии №13 в 1964 г. [3]. Дальнейшие исследования показали [4], что для каждого объекта разрушения существует свой оптимальный ударный импульс, амплитуда которого возрастает пропорционально росту

сил сопротивления, возникающих в объекте воздействия. При передаче энергии оптимальным ударным импульсом величина отраженной энергии является минимальной, это увеличивает эффект разрушения и повышает срок службы машины.

Для генерирования оптимального ударного импульса необходим боек переменного сечения, величина которого возрастает по его длине в сторону неударного торца. Аналитическое решение задачи определения формы ударных импульсов осуществляется графодинамическим методом [5]. Обратное применение данного метода позволяет синтезировать боек по известной форме ударного импульса и произвести оценку его геометрии [6]. Как показывает практика, при модернизации машин ударного действия целесообразно проводить анализ геометрии ударников, а при создании новых машин целесообразней синтезировать бойки под объекты воздействия. Исходя из этого, анализ и синтез геометрии бойков машин ударного действия является актуальным. Применение ЭВМ позволяет увеличить точность и скорость проведения расчетов, поэтому задача разработки программных средств анализа и синтеза представляется одной из важнейших.

Цель работы: повышение эффективности анализа и синтеза бойков машин ударного действия путем разработки алгоритмов и программного обеспечения, автоматизирующего данный процесс.

Идея работы: алгоритмическая структура графодинамического метода расчета ударных импульсов от бойков различной геометрической формы, позволяет разработать алгоритмы анализа и синтеза геометрии бойков машин ударного действия.

В ходе работы был проведен комплексный анализ графодинамического метода в итоге, был разработан численный метод для определения формы ударного импульса от бойков сложной геометрической формы, блок-схема его алгоритма представлен на рис. 1.

На базе этого метода был создан программный комплекс, состоящий из трех расчетных программ, написанных в среде программирования Lazarus на языке Object Pascal:

I программа «Ударный импульс 2.0» (Свидетельство о регистрации №2015662766). Данная программа моделирует и визуализирует эскиз ударника, боковая поверхность которого задана одной кривой вида $y=f(x)$, путем составления его из цилиндрических ступеней известной длины (рис. 2-а), и рассчитывает генерируемый им ударный импульс.

II программа «Удар многоступенчатым бойком» (Свидетельство о регистрации №2017613900). Данная программа моделирует и визуализирует эскиз ударника, боковая поверхность которого задана несколькими кривыми вида $y=f(x)$ с известными областями определения (рис. 2-б) и рассчитывает генерируемый им ударный импульс.

III программа «Удар бойком сложной геометрической формы» (Свидетельство о регистрации №2019619495). Данная программа формирует и визуализирует эскиз приведенной формы бойка [7] (рис. 2-в), модель, которого выполнена в стороннем CAD приложении, по численным значениям площадей сечений S_i , записанных в текстовый файл, и рассчитывает генерируемый им ударный импульс.

Программы комплекса отличаются только способом формирования бойка, расчет ударного импульса и определение его характеристик производится по одному алгоритму. Представление результата динамической части задачи является одинаковым (рис.3).

Преимуществом всех программ является их независимость от сторонних программных приложений. Кроссплатформенность определяет возможность их работы программ на всех возможных операционных системах семейств: Windows, Linux, MacOS. Программы функционируют при условии соблюдения следующих требований к ресурсам ЭВМ: 100Mb HDD, 512Mb RAM. Все программы комплекса не требуют установки, они выполнены в виде одного файла, который просто копируется в любое место по желанию пользователя без каких-либо ограничений. Более подробно обо всей алгоритмической базе комплекса описано в работе [8].

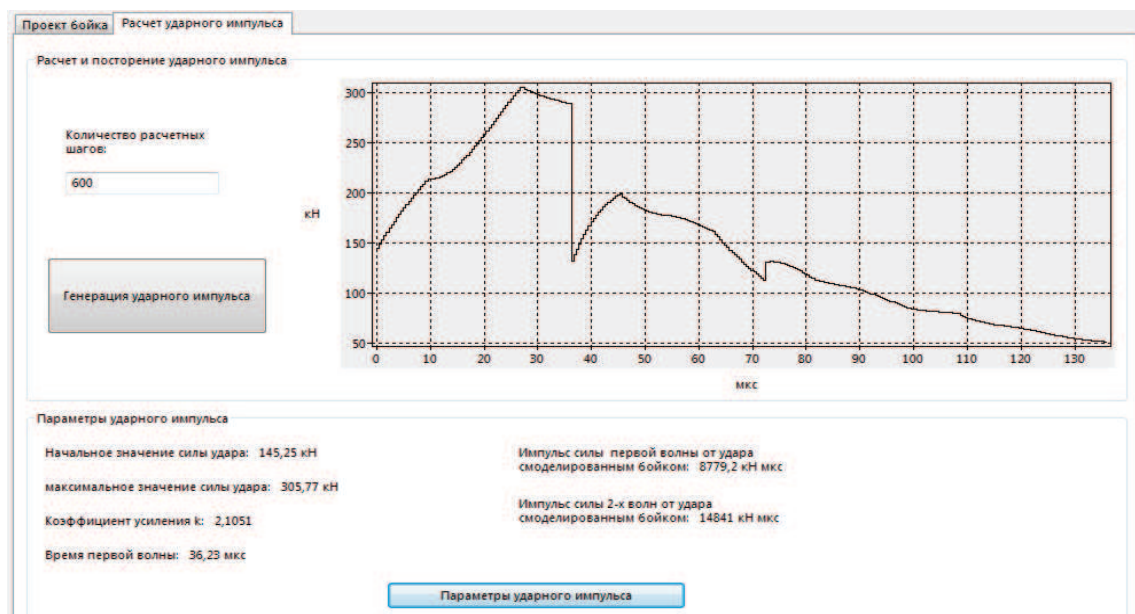


Рисунок 3 - Расчет ударного импульса и определение его характеристик

Оценка достоверности и точности разработанного комплекса программ производилась путем сопоставления результатов теоретических вычислений с экспериментальными данными, полученными в процессе исследования динамических процессов в погружной пневмоударной машине.

Экспериментальное исследование проводилось в лабораторных условиях на вертикальном копре, позволяющем варьировать энергию удара, с использованием бойков погружного пневмоударника (рис. 4). Для измерения величин и получения осциллограмм использовался преобразователь ZET 230 с программным обеспечением ZetLAB. Масштаб осциллограмм определялся тарировочным прямоугольным импульсом, возбуждаемым цилиндрическим бойком в волноводе равного с ним диаметра.



Рисунок 4 - Образцы бойков погружного пневмоударника

В ходе проведенных экспериментов были получены осциллограммы ударных импульсов (рис. 5), на которые были наложены теоретические решения, выполненные с использованием разработанного комплекса программ. Статистическая обработка данных показала удовлетворительную сходимость с погрешностью $7,3 \pm 2,1\%$.

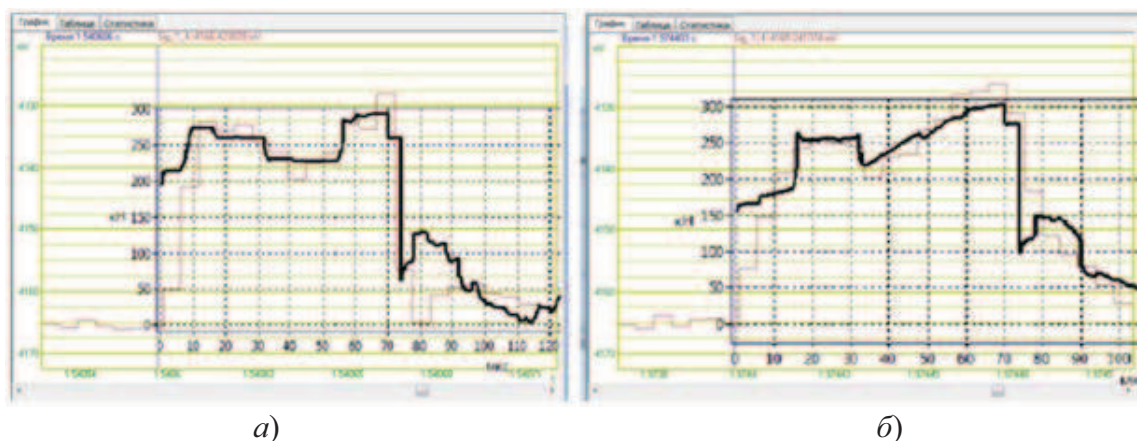


Рисунок 5 - Сравнение теоретических и экспериментальных ударных импульсов

Для разработки алгоритма синтеза геометрии бойков по падающему ударному импульсу на базе математики графодинамического метода был проведен поитерационный анализ разработанного численного метода нахождения формы ударного импульса. В результате был создан численно-аналитический алгоритм для синтеза геометрии ударника по форме оптимального ударного импульса (рис.6). Он был автоматизирован на языке программирования математического приложения Maple-14, путем написания *maple*-процедуры «Синтез геометрии бойков ударных механизмов». Путем слияния с *maple*-процедурой «Синтез ударного импульса по зависимости «сила – внедрение» для разрушения горной породы ударом» [9] был написан программного модуль: «Синтез геометрических параметров ударных узлов машин в зависимости от физико-механических свойств разрушаемого объекта», который защищен свидетельством, как программа для ЭВМ (свидетельство о регистрации №2019619331).

Проверка работоспособности программного модуля была проведена для синтеза ударника, генерирующего оптимальный ударный импульс, форма которого была определена по физико-механическим свойствам гранита, согласно следующей алгоритмической схеме:

1. Снятие диаграммы «сила-внедрение» при статической нагрузке образца на испытательном комплексе типа ИК-500.01;
2. Анализ ударной системы, который определил необходимые для синтеза значения следующих параметров: диаметр волновода, плотность и модуль упругости материала ударника и волновода, предупредную скорость бойка.
3. Синтез оптимального ударного импульса по зависимости «сила-внедрение»;
4. Синтез бойка, переменного сечения, генерирующего оптимальный ударный импульс.

В итоге был синтезирован получена функция, задающая образующую боковой поверхности ударника, представляющего собой тело вращения переменного сечения (рис. 7).

Большим недостатком синтезируемых бойков является то, что они не встраиваются в корпус ударной машины. Для того чтобы стать частью ударного узла, необходимо снабдить ударник поршневой ступенью, обеспечивающей запас продольной устойчивости бойка. На настоящий момент существует несколько методов решения этой проблемы, они описаны в [10]. Все эти методы имеют общий недостаток, который заключается в том, что приведенная форма ударников, снабженных оболочкой, отличается от приведенной формы синтезированного бойка, что изменяет значение амплитуды и длительности ударного импульса. Чтобы этого не происходило, необходимо снабдить боек такой оболочкой, которая не изменяет приведенной формы ударника. Для этого ударник снабжается коническо цилиндрическим отверстием, объем которого равен объему

оболочки, при этом сохраняется равенство площадей поперечных ступеней встраиваемого бойка и ударника, представляющего его приведенную форму по всей длине (рис. 8).

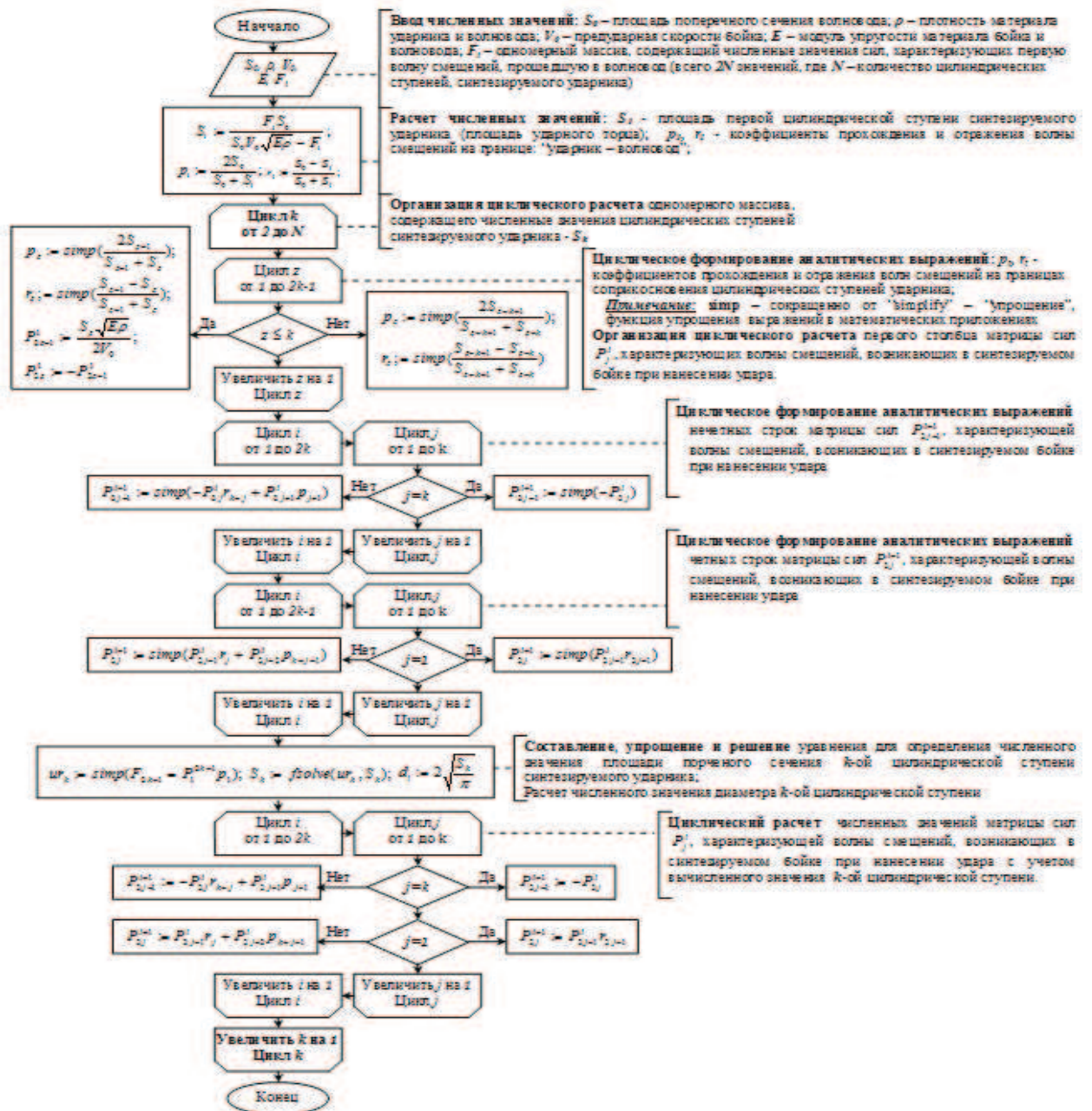


Рисунок 6 - Блок-схема алгоритма синтеза бойка по первой волне оптимального ударного импульса

В ходе работы на базе математики графодинамического метода были получены алгоритмы, позволяющие осуществлять анализ и синтез бойков, генерирующих энергию при продольном ударе. Их автоматизация позволила разработать программные средства, ставшие необходимым инструментом, позволяющим модернизировать и разрабатывать бойки для ударных узлов машин ударного действия, с целью повышения их производительности. Разработан метод реализации синтезированного бойка, как элемента ударного узла машины, выполненного в виде ударника, имеющего монтажную оболочку, наличие которой сохраняет генерируемый ударный импульс.

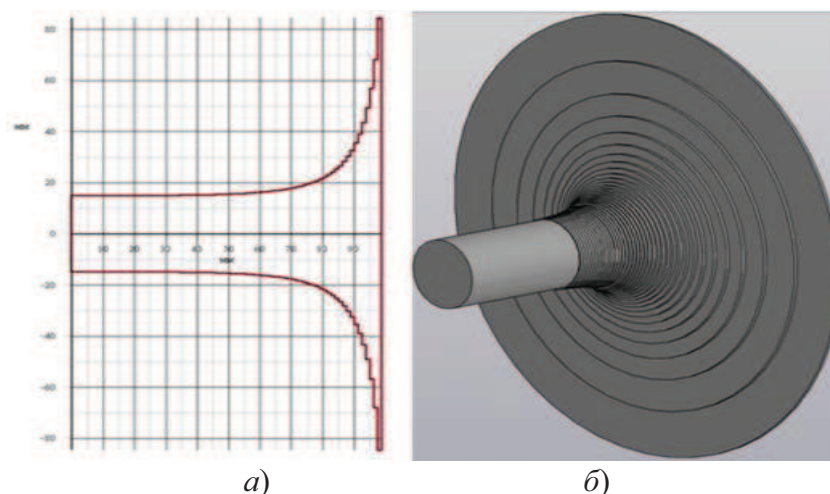


Рисунок 7 - а) эскиз синтезированного бойка; б) 3D модель синтезированного бойка

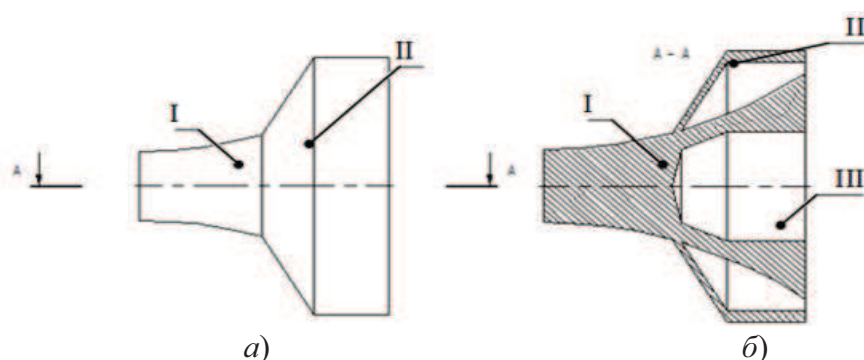


Рисунок 8 - а) боек, снабженный оболочкой (I – тело вращения вогнутой линии; II – коническо цилиндрическая оболочка); б) разрез А-А (III – коническо цилиндрическое отверстие)

Библиография

1. Бегаен И.А. Бурильные машины. Расчет, конструкции, долговечность / И.А. Бегаен, А.Г. Дядюра, А.И. Бажал. – М.: Недра, 1972. – 368 с.
2. Алимов О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников – М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
3. Открытие 13 СССР. / Е.В. Александров. – Приоритет от 30.10.1957, опубл. 19.03.1964, Бюл. №7. – 1 с.
4. Дворников Л.Т. Энергоемкость процесса разрушения горных пород как основной критерий оценки эффективности конструкций породоразрушающего инструмента/ Л.Т. Дворников, В.И. Клишин, С.М. Никитенко, и др.// Научные технологии обработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. - №3. – С. 548-551.
5. 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. – 272 с.
6. Жуков И.А. Теоретические основы синтеза форм бойков ударных систем технологического назначения / И.А. Жуков, Е.В. Сараханова// Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 2. – С. 173-177.
7. Жуков И.А. Фундаментальные основы исследования ударных систем и компьютерные инструментальные средства для их разработки и модернизации // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – № 2. – С. 71-76.
8. Жуков И.А. Математическое и компьютерное моделирование ударных процессов в стержневой системе машин ударного действия / И.А. Жуков, Е.Г. Тимофеев //

Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12 (часть 1) – С. 43-49, doi 10.17513/snt.38409.

9. Свидетельство ПЭВМ №2012611835. Синтез ударного импульса по зависимости «сила-внедрение» для разрушения горной породы ударом/ Жуков И.А., Сараханова Е.В. - №2011660043; поступление 26.12.2011; зарегистрир. 17.02.2012.

10. Жуков И. А. К проблеме учёта и встраивания сложных форм бойков ударных систем / И. А. Жуков, В. В. Молчанов, Я. А. Андреева // Современные проблемы теории машин. – 2014. – № 2. – С. 6-9.

Bibliography

1. Begagoen I.A. Drilling machines. Calculation, structures, durability / I.A. Begagoen, A.G. Dyadyura, A.I. Bazhal. - M.: Nedra, 1972. - 368 p.

2. Alimov O.D. Drilling machines / O.D. Alimov, L.T. Dvornikov - M.: Mechanical engineering, 1976. - 295 p.

3. Opening 13 of the USSR . / E.V. Alexandrov. - Priority from 30.10.1957, publ. 19.03.1964, Bul. №7. - 1 p.

4. Dvornikov L.T. Energy intensity of the rock destruction process as the main criterion for assessing the efficiency of rock-destroying tool structures / L.T. Dvornikov, V.I. Klishin, S.M. Nikitenko, and doctor // Knowledge-intensive technologies for processing and using mineral resources. – 2016. - №3. - P. 548-551.

5. Ivanov K.I. Drilling techniques in the development of mineral deposits / K.I. Ivanov, V.A. Latyshev, V.D. Andreev. - 3rd ed., Rev. and additional - M.: Nedra, 1987. - 272 p.

6. Zhukov I.A. Theoretical foundations of synthesizing the forms of strikers of shock systems of technological purpose / I.A. Zhukov, E.V. Sarakhanova // Izvestia of Tomsk Polytechnic University. – 2009. - T. 315. – № 2. - P. 173-177.

7. Zhukov I.A. Fundamental foundations of research of shock systems and computer tools for their development and modernization // Actual problems in mechanical engineering. – 2015. – № 2. - P. 71-76.

8. Zhukov I.A. Mathematical and computer modeling of shock processes in a rod system of percussion machines / I.A. Zhukov, E.G. Timofeev // Modern science-intensive technologies. – 2020. - No. 12 (part 1) - P. 43-49, doi 10.17513/snt.38409.

9. PC Certificate No. 2012611835. Synthesis of impact impulse by force-introduction relationship for rock destruction by impact / I.A. Zhukov, E.V. Sarakhanova - No. 2011660043; 26.12.2011 receipt; registered 17.02.2012.

10. Zhukov I. A. To the problem of accounting and embedding complex forms of strikers of shock systems / I. A. Zhukov, V. V. Molchanov, Ya. A. Andreeva // Modern problems of machine theory. – 2014. – № 2. - P. 6-9.

**VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН
посвященная 60-летию ВСГУТУ**

Сборник статей

Ответственный редактор
Л.А. Бохоева
доктор технических наук, профессор

Ответственный за выпуск
Н.Н. Анчилов
старший преподаватель

Подписано в печать 01.07.2022. Формат 60х84 1/8.
Объем 110 МБ. Усл.печ.л. 78,23. Электронное издание. Заказ № 130.

Издательство ВСГУТУ
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д.40В, строение 1

ISBN 978-5-907599-05-5



9 785907 599055 >