

## ОТЗЫВ

официального оппонента Битюрина Анатолия Александровича  
на диссертацию Тимофеева Евгения Геннадьевича  
«Математическое и компьютерное моделирование динамических процессов в  
стержневых системах применительно к машинам ударного действия»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 1.2.2 – Математическое моделирование численные методы и  
комплексы программ

### Актуальность темы исследования

Многочисленные технологические процессы основаны на ударном воздействии на разрушаемый или обрабатываемый объект. Реализующие эту операцию машины генерируют и передают на объект воздействия значительные по величине усилия в виде ударного импульса, от параметров которого напрямую зависит эффективность разрушения или деформирования материалов. Основу машин ударного действия составляет стержневая система «боек – волновод», производительность и энергоэффективность которой зависит от геометрической формы ее элементов.

Представленная работа Е.Г. Тимофеева посвящена математическому моделированию и разработке методов и программных средств, позволяющих в зависимости от геометрической формы соударяющихся тел вычислять и производить оценку ударного импульса с точки зрения технологического назначения системы, устанавливать рациональные геометрические параметры ударных узлов машин, учитывая при этом их взаимосвязь со свойствами объекта воздействия, что с позиции научной новизны и практической значимости является несомненно актуальным.

### Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Тимофеева Е.Г. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 147 наименований, и пяти приложений. Основной текст диссертации изложен на 144 страницах машинописного текста и поясняется 68 рисунками и 10 таблицами.

Во **введении** соискатель обосновывает актуальность исследования, описывает степень разработанности проблемы, формулирует цель и задачи, объект и предмет исследования, представляет методы исследования, научную новизну, достоверность полученных результатов, формулирует положения, выносимые на защиту, описывает личный вклад, практическую ценность, реализацию и апробацию результатов работы.

В **первой** главе «Современное состояние ударных систем сложной геометрической формы» автор описывает и анализирует современные подходы к исследованию динамических процессов в стержневых ударных системах в зависимости от их геометрической формы. Формулирует задачи, связанные с формированием в них ударных импульсов, определяет способы и пути их решения.

Во **второй** главе «Разработка математической модели и численных методов формирования ударного импульса в стержне при ударе по нему

бойком сложной геометрической формы» представлены разработанные автором алгоритмы формирования численных моделей стержневых ударных систем с ударниками простых и сложных геометрических форм. Приводится описание алгоритмов анализа и синтеза геометрии элементов ударного узла. Производится сравнение авторских методов с известными моделями продольного удара.

В **третьей** главе «Комплекс программных средств, разработанных для анализа геометрии бойков ударных систем» описываются разработанные программные средства, обосновывается выбор языка программирования, приводятся его функции, примененные при создании программ. Достоверность результатов, полученных с помощью авторского программного обеспечения, проверяется путем сравнения с известными теоретическими решениями и экспериментальными данными, а также демонстрируются индивидуальные возможности каждой из программ комплекса. Метод анализа геометрии бойков сложных геометрических форм хорошо согласуется с экспериментом и демонстрирует удовлетворительную сходимость получаемых теоретических результатов с экспериментальными.

В **четвертой** главе «Синтез геометрии бойков для ударных узлов машин в зависимости от свойств разрушаемых объектов» дается подробное описание алгоритма решения задачи синтеза, приводится описание программного модуля, позволяющего автоматизировать расчеты. Формулируется и решается задача синтеза ударника по физико-механическим свойствам разрушаемого ударной системой материала. Предлагается новое техническое решение, позволяющее встроить синтезируемый боек в корпус машины путем введения в его конструкцию оболочки и отверстия, наличие которых сохраняет форму генерируемого бойком ударного импульса.

В **заключении** описаны основные результаты исследования и сформулированы выводы по работе.

В **приложениях** приводится подробный расчет ударного импульса от ступенчатого бойка, листинги разработанных автором программ, копии свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, акты о внедрении результатов исследований.

#### **Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации, содержит полученные при проведении исследования результаты и формулировки выводов.

#### **Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Автор работы предложил новые научно обоснованные модели и программные средства, имеющие существенное значение для проектирования и модернизации ударных узлов машин ударного действия.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Раскрыта возможность математического моделирования динамических ударных процессов в стержневой системе путем представления

- ударяющего тела любой сложной геометрической формы в виде сплошного многоступенчатого цилиндрического стержня. При этом способы задания исходных геометрических параметров соударяющихся тел являются многовариантными.
2. Разработан численный метод расчета и анализа параметров генерируемых волновых ударных импульсов бойкам различных геометрических форм с целью выявления перспективных конструктивных решений. Отличительной особенностью авторского метода является то, что он позволяет получать результаты как в численном, так и в графическом представлении.
  3. Построен алгоритма синтеза, основанный на обратном применении графодинамического метода расчета ударных импульсов, для решения задачи нахождения форм стержней, составляющих ударный узел машины, в зависимости от свойств объекта воздействия. Отличительная особенность данного алгоритма заключается в том, что позволяет с высокой точностью синтезировать ударник под эксплуатационное назначение машины.
  4. Реализована возможность сохранения формы и длительности импульса, генерируемого ударником, представляющим собой тело вращения с криволинейной образующей боковой поверхности, путем оснащения его оболочкой и внутренней полостью с одинаковым распределением объема по длине бойка. Данное конструктивное решение отличается от имеющихся тем, что боек, несмотря на внесенные изменения в конструкцию, генерирует заданный ударный импульс.

#### **Научные положения, выносимые на защиту**

На защиту автор выносит следующие положения.

1. Математическая модель ударной стержневой системы, основанная на замене бьющего тела любой сложной геометрической формы в виде тела, разбитого на цилиндры одинаковой длины сплошного поперечного сечения вращения, позволяет определять форму ударных импульсов с высокой степенью точности.
2. Численный метод, базирующийся на математических основах графодинамического метода, описывающего процесс соударения стержней, позволяет с высокой степенью точности рассчитать и проанализировать ударные импульсы от бойков любой геометрической формы, для выявления наиболее оптимальных и перспективных.
3. Численно-аналитический метод, базирующийся на алгоритме обратного применения графодинамического метода анализа соударения стержней, дает возможность определять геометрическую форму стержней ударного узла по физико-механическим свойствам разрушаемого объекта.
4. Снабжение бойка, имеющего боковую поверхность, заданную криволинейной образующей, цилиндрической оболочкой и внутренней полостью позволяет сохранить параметры ударного импульса и обеспечить продольную устойчивость бойка в корпусе машины.
5. Авторский комплекс программ позволяет проводить вычислительные эксперименты по анализу или синтезу форм стержней ударного узла

машины, геометрические параметры которых задаются как функциональными математическими зависимостями, так и трехмерными компьютерными моделями.

### **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе**

Сформулированные в диссертационной работе научные положения соответствуют поставленной цели. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованы результатами теоретических и экспериментальных исследований, определяемых поставленными задачами и содержанием диссертации. Степень достоверности результатов подтверждается применением известных положений теории продольного удара; одномерной волновой теории Сен-Венана и графодинамического метода решения задач о продольном соударении стержней; основ численной теории решения задач программирования

Анализ содержания диссертации Тимофеева Е.Г. позволяет утверждать, что все сформулированные научные положения соискателем доказаны, а диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой.

Основные результаты исследований опубликованы в 18 научных работах. И них 3 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 2 публикации, индексируемые Scopus. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровней.

### **Значимость результатов, полученных при проведении диссертационного исследования**

Значимость полученных соискателем результатов для развития науки в области моделирования динамических процессов в ударных системах технологического назначения заключается в разработке методов математического и компьютерного моделирования волновых ударных импульсов возникающих в названных системах с учетом сложности геометрической формы соударяющихся тел, а также в реализации задачи синтеза геометрических параметров ударного узла машин во взаимосвязи со свойствами деформируемого или разрушаемого объекта.

Основное практическое значение диссертации заключается в разработке программного обеспечения, предназначенного для анализа и синтеза геометрии ударных узлов машин ударного действия, представляющих собой стержневые системы любой сложной геометрической формы. На разработанный программный комплекс получены официальные свидетельства о регистрации.

Практическое приложение выводов и рекомендаций, полученных по результатам исследований по теме диссертации, подтверждается актами о внедрении в производство и учебный процесс.

Результаты работы позволяют промышленным предприятиям, занятым производством машин ударного действия, определять рациональные геометрические параметры их ударных узлов, обеспечивая эффективность

преобразования энергии удара в полезную энергию обработки материалов; модернизировать технологическое оборудование подбора рациональной формы ударника за счет предварительного моделирования волнового ударного импульса, генерируемого в ударной системе машины.

### **Замечания по диссертационной работе**

Оценивая положительно результаты диссертационного исследования, следует высказать несколько замечаний.

1. Одноступенчатый боек можно смоделировать и проанализировать во второй программе комплекса, в связи с чем не понятно, зачем автор выделил анализ этого типа ударников в отдельную программу.
2. Существуют такие ударные системы, в которых происходит неторцевое соударение элементов, т.е. соприкосновение в момент удара бойка и волновода происходит не по всей площади ударного торца, как, например, это может произойти при практическом использовании представленного в диссертации технического решения бойка с оболочкой, если оболочку развернуть в сторону ударного торца. Из текста работы не ясно, как в этом случае необходимо создавать расчетную модель бойка и можно ли использовать в таких задачах авторское программное обеспечение.
3. Проводя проверку корректности разработанных численных методов и программного комплекса, автор сравнивает получаемые решения с известными аналитическими решениями и пишет о том, что погрешность варьируется в зависимости от формы ударника примерно от 2 до 12%. Чем обусловлен такой разброс?
4. В программном комплексе, предназначенном для анализа динамических ударных процессов, соискатель во вкладке «Проект бойка» называет изображение ударника «Эскиз бойка». С точки зрения значения термина «эскиз детали» более правильным было бы назвать это изображение «Модель приведенной формы бойка».
5. В описании алгоритма синтеза не приведен расчет длины синтезируемого бойка.
6. Первый этап решения задачи синтеза заключается в определении оптимального ударного импульса. При этом ни в диссертации, ни в автореферате не приведены критерии оптимальности.
7. В тексте работы автор допускает некоторые неточности. На рис. 1.3.2 некорректно изображена ось  $Ox$ , как не совпадающая с геометрической осью стержня. После формулы (2.1.1) соискатель называет переменные  $L_k$  длинами областей определения функций – слово «длина» следовало убрать. На схемах в таблицах 2.3.1.1, 2.3.1.2, 2.3.2.1 и на рисунках 2.3.2.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 2.4.5 нет осевых линий. Вместо ссылки на рисунок 2.4.4 дана ссылка на несуществующий рисунок 2.3.3.4. Подпись к рисунку 3.1.1.3 приведена на следующей странице за рисунком. В формуле (4.7.5) в качестве десятичного разделителя используются и знак точки, и знак запятой.

Отмеченные недостатки не снижают значимость выполненной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о присуждении ученых степеней**

Диссертация Тимофеева Е.Г. представляет собой, написанную на актуальную тему, законченную научно-квалификационную работу, отличающуюся научной новизной и практической значимостью, выполненную на высоком научно-техническом уровне, имеющую существенно значение для развития знаний в области математического и компьютерного моделирования волновых ударных импульсов в стержневых системах.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Предложенные соискателем решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. В диссертации соискатель корректно ссылается на литературные источники.

Содержание диссертации соответствует пунктам 3, 7, 8 паспорта специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, ее основные положения опубликованы на должном уровне.

Все изложенное позволяет заключить, что диссертация **«Математическое и компьютерное моделирование динамических процессов в стержневых системах применительно к машинам ударного действия»** соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, в том числе пунктам 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. № 842, а ее автор **Тимофеев Евгений Геннадьевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доцент кафедры Промышленного и гражданского строительства ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,  
кандидат технических наук, доцент

  
Битюрин  
Анатолий  
Александрович  
21.03.2024

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук защищена по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32

Телефон: (8422) 43-06-43. E-mail: [sekret@ulstu.ru](mailto:sekret@ulstu.ru)

Сайт организации: <https://ulstu.ru>



\_\_\_\_\_ подписью \_\_\_\_\_ заверяю

\_\_\_\_\_ начальник управления кадрового обеспечения