

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Каледина Валерия Олеговича

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

Диссертационная работа Тимофеева Е.Г. посвящена проблеме цифровизации подготовки производства машин ударного действия в части разработки экономичных математических моделей динамических ударных процессов в бойках и волноводах, численных методов расчёта ударных импульсов и комплексов программ для обоснования рационального выбора формы и размеров деталей ударных узлов.

В течение последних десятилетий уделяется значительное внимание автоматизации и программной реализации вычислительного эксперимента в связи с потребностью проектирования и оптимизации сложных технических систем различного назначения, в том числе – машин ударного действия. Компоненты общей технологии математического моделирования машин на основе вычислительного эксперимента разработаны и поддерживаются программно-техническими решениями. В то же время широко распространённые универсальные программные комплексы, применяемые для вычислительного эксперимента в динамике машин, недостаточно учитывают специфику частных проблемных областей, что приводит к затруднениям при их использовании конечными пользователями. Можно отметить неоправданно высокие затраты вычислительных ресурсов при использовании недостаточно быстрых методов решения определяющих уравнений, а также сложность комплексирования с программами расчёта процессов, не исчерпываемых механическими факторами, вследствие закрытости кода и протоколов обмена. Важным аспектом проблемы является необходимость повышения технологической независимости при цифровизации машиностроения, требующего программного обеспечения отечественной разработки.

Поэтому диссертация Е.Г. Тимофеева, ставящая целью разработку экономичных математических моделей импульсных процессов, численных методов решения уравнений динамики, а также программных средств для

выбора рациональной геометрии деталей машин ударного действия на основе вычислительного эксперимента, **актуальна** для науки и производства.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертация Е.Г. Тимофеева общим объемом 186 страниц, содержащая 68 рисунков и 10 таблиц, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 147 наименований, списка опубликованных работ по теме диссертации из 18 наименований, в том числе 14 статей и 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, и пяти приложений.

Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011. Текст работы изложен логично, соблюдено единство стиля и оформления. Материалы исследований представлены и иллюстрированы в достаточном объеме.

Во **введении** отражена актуальность темы диссертационной работы, представлена основная характеристика работы, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, практическая значимость результатов и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** анализируется объект моделирования – стержневые ударные механизмы с бойками сложной геометрии, приводится квалифицированно выполненный обзор математических моделей и методов моделирования ударных процессов, сформулированы основные задачи анализа и синтеза ударных механизмов, решаемые методами вычислительного эксперимента.

Во **второй главе** изложены разработанные математические модели, включая:

- геометрическую модель (ступенчатую аппроксимацию формы бойка с криволинейной образующей и бойка с внутренними полостями);
- уравнения, определяющие положение фронта ударной волны и продольную силу в зависимости от осевой координаты и времени;
- алгоритм решения обратной задачи – синтеза ступенчатого бойка, состоящий в определении размеров составляющих его дисков.

Анализируются отличия предложенного алгоритма от известных.

В **третьей главе** описывается разработанный комплекс программных средств решения прямых задач расчета ударных импульсов, генерируемых бойками различных геометрических форм: тел вращения с гладкой образующей, многоступенчатых и содержащих внутренние полости. Приведены результаты серии расчётов ударного импульса для бойков различной формы, в том числе – реальных промышленных изделий. Результаты теоретического расчёта сопоставляются с экспериментальными

данными, отмечается их удовлетворительное согласие. Проведено сравнение разработанных программ для ЭВМ с известными аналогами.

В четвертой главе изложена предлагаемая автором методика решения обратной задачи – синтеза бойков на основе вычислительного эксперимента с использованием разработанных программ. Сформулирован критерий оптимизации – минимум энергии отражённой волны. В математическую модель дополнительно введён процесс взаимодействия буровой коронки с разрушаемой средой и предложено учитывать свойства среды в виде экспериментально определяемой диаграммы её деформирования при внедрении инструмента. Разработан программный модуль проектировочных расчётов. Подробно рассмотрен пример применения методики синтеза формы бойка, оптимального для разрушения гранита, что позволило получить новое техническое решение.

В заключении сформулированы основные результаты выполненного исследования и выводы по работе.

В приложения вынесены данные иллюстративного характера в виде таблиц и рисунков, листинги компьютерных программ, копии свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, а также сведения об использовании результатов в промышленности и в образовательном процессе.

Диссертация Тимофеева Е.Г. носит завершённый характер. Работа написана ясным языком с использованием профессиональной терминологии и качественно оформлена.

Соответствие автореферата содержанию диссертации

Автореферат даёт достаточно полное представление о диссертации и отражает её основные идеи и выводы.

Научная новизна работы, достоверность и обоснованность основных результатов исследования

Наиболее существенным результатом диссертации является разработка комплекса математических моделей и программно-алгоритмических средств, ориентированных на проектирование элементов машин ударного действия.

Следующие результаты работы обладают **научной новизной**.

В области математического моделирования:

- разработаны математические модели ударно-волновых процессов в основных деталях машин ударного действия – бойках, стержневых волноводах и ударном инструменте, учитывающие механические свойства как самих деталей, так и разрушаемого материала и основанные на

дискретном представлении криволинейных деталей в виде набора цилиндрических дисков, через которые при ударе проходят прямые и отражённые продольные волны. Это представление является достаточно общим, учитывает наиболее существенные факторы моделируемого явления и применимо к широкому классу деталей машин, не ограниченному рассмотренными в диссертации конструкциями горных машин.

В области численных методов:

- разработан экономичный численно-аналитический метод решения прямой задачи расчёта параметров импульса, не требующий непосредственного решения дифференциального уравнения движения, позволяющий определять форму ударного импульса, передаваемого в разрушаемый материал бойком криволинейной либо ступенчатой формы, в том числе при наличии в нём внутренних полостей;

- разработан алгоритм решения обратной задачи проектирования бойка по критерию минимума энергии отражённой волны.

В области комплексов программ:

- разработан и реализован в открытой кроссплатформенной среде программирования Lazarus комплекс взаимосвязанных программ, включающий подсистемы, обеспечивающие решение прямой задачи анализа ударного импульса, и дополняющий их модуль решения обратной проектировочной задачи. На программы для ЭВМ, входящие в комплекс, получены четыре свидетельства о регистрации;

- с использованием разработанного программно-алгоритмического обеспечения выполнено комплексное исследование, направленное на проектирование оптимального бойка для разрушения гранита.

Степень обоснованности выводов и рекомендаций. Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректным применением апробированных методов и постановок задач динамики машин и механизмов, имитационного моделирования, структурного и объектно-ориентированного программирования, автоматического синтаксического анализа и интерпретации программ, и подтверждается сопоставлением результатов расчётов с независимо полученными теоретическими решениями и данными физического эксперимента.

Апробации и публикации

Основные положения и результаты исследования опубликованы в 8 научных статьях, в том числе в 3 изданиях, рекомендованных текущей редакцией Перечня ВАК, в 2 изданиях, индексируемых в базе Scopus, и в 3

статьях в прочих изданиях. Получено 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Результаты исследования докладывались и обсуждались на одной всероссийской и пяти международных научных конференциях.

Значимость результатов, полученных в диссертации, рекомендации по использованию результатов

Научная значимость диссертации состоит в развитии методов математического моделирования волновых процессов в машинах ударного действия, создании алгоритмов, программ и методик проектирования деталей ударных узлов.

Практическая ценность диссертации заключается в возможности использования разработанных математических моделей, алгоритмов и программного комплекса при технической подготовке производства усовершенствованных машин ударного действия. Практическая значимость дополнительно обосновывается тем, что применение предлагаемой методики позволило автору диссертации получить новое техническое решение – четырёхступенчатый ударник с оболочкой, на который подана заявка в Роспатент.

Практическая значимость диссертации подтверждена актом о внедрении методики анализа и синтеза конструктивных параметров бойков горных машин ударного действия в ФГБУН «Институт горного дела им. М.А. Чинакала Сибирского отделения РАН» и актом о внедрении результатов диссертационной работы в учебном процессе ФГОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Могут быть использованы: программы анализа волновых процессов при ударе (глава 3 диссертации), программа и методика проекторочного расчёта бойка (глава 4, п. 4.4-4.6).

Рекомендуется расширенное внедрение результатов диссертации в организациях, занимающихся созданием и модернизацией машин ударного действия, в том числе: ООО «Горный инструмент», г. Новокузнецк; АО «Кыштымское машиностроительное объединение», г. Кыштым Челябинской обл.; ООО «Технопарк «Импульс»», г. Москва.

Замечания по диссертации

По диссертации и автореферату необходимо высказать следующие замечания.

1. Название рисунка 2.1.1: «а) Модель простого бойка; б) представление смоделированного бойка» оставляет неясным, что именно моделируется – форма бойка?

2. На стр. 55 не приведены формулы для определения диаметров дисков, составляющих боёк, и не указаны условия, из которых они определяются. Это затрудняет понимание изложения.

3. Недостаточно исследована зависимость погрешности решения от величины временного шага. Принципиально ли, что он равен времени прохождения волны на расстояние, равное высоте аппроксимирующего цилиндра, и как зависит погрешность от шага дискретизации формы криволинейной поверхности?

4. Не анализируется концентрация напряжений в бойках и ударном инструменте, что ограничивает полученные результаты областью технологических характеристик ударного узла, оставляя за рамками рассмотрения прочность при ударе.

5. Разработанные авторские программы представлены в приложении в виде исходного кода. Однако для их использования конечными пользователями было бы целесообразно привести также интерфейсы программ, форматы входных и выходных данных, а также описать архитектуру программного комплекса, привести диаграммы классов, объектов и взаимодействий.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают оценку научной и практической значимости проведенного исследования.

Содержание работы по области исследования соответствует паспорту специальности 1.2.2: п. 3 – Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента, п. 7 – Качественные или аналитические методы исследования математических моделей (технические науки) и п. 8 – Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Заключение

Диссертация Тимофеева Евгения Геннадьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и программно-алгоритмические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

