

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
докт. техн. наук, доцент
Воротилин Михаил Сергеевич

«06» ноября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» – на диссертацию **СИДОРОВА Михаила Игоревича «Повышение живучести артиллерийских систем на основе моделирования и управления трибохимическими процессами изнашивания»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

Одними из самых значимых требований к артиллерийским системам являются повышенные требования точности, кучности, скорострельности, живучести ствола, а также возможность применения высокоэнергетичных порохов и, как следствие, с повышенным эрозионным воздействием. Выполнение данных требований неизбежно приводит к необходимости совершенствования методов и средств контроля состояния артиллерийских стволов, в первую очередь величины износа, влияющей на прогнозируемость полета снаряда, отсутствие траекторных разрывов, кучность, надежность срабатывания в заданной области пространства и т.д. Основным побудительным мотивом для исследования усовершенствованных и новых пушечных средств метания традиционно является необходимость увеличения дульной кинетической энергии как средства повышения поражающего действия орудия и эффективности всей системы. Как при обычном, так и при сверхскоростном режиме для оптимизации поражающего действия системы следует обращаться к вопросу взаимосвязи массы и скорости. Для некоторых применений увеличенная масса явно является основным параметром, ведущим к значительно увеличенной дульной энергии.

Диссертация Сидорова М.И. посвящена вопросам повышения живучести артиллерийских систем путем разработки теоретических основ управления процессами трения и изнашивания в артиллерийских стволах. Данная

тема в свете вышеназванных проблем **актуальна и имеет большую практическую значимость.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованных литературных источников и 5 приложений. Работа и приложения хорошо проиллюстрированы и содержат много экспериментальных материалов, представляющих значительный интерес для разработчиков и научных работников, занимающихся вопросами создания вооружения и военной техники.

Анализ современных методов испытаний артиллерийских стволов на износ и живучесть, экспериментальных методов трибологических исследований, а также технологических методов повышения живучести, выполненный в **первой главе**, позволил автору сформулировать комплексную проблему и показать необходимость направлений развития исследований. Предложено выполнение научно-практических исследований по трем смежным направлениям, включающим:

- разработку теории и уточненных математических моделей внешнего трения применительно к внутренней баллистике;
- разработку кинетических моделей накопления повреждений в конструкционном материале в качестве основы прогностического метода оценки износа и живучести стволов;
- разработку моделей локального разрушения материала и теоретического описания процесса изнашивания в виде неравновесного фазового перехода.

Во второй главе приведены результаты разработки и апробации математической модели трибохимической кинетики. Представлена модель и приведены результаты исследований фрикционных автоколебаний в зависимости от скорости скольжения взаимодействующих поверхностей материалов деталей узлов трения. Работоспособность предложенной математической модели подтверждена ее экспериментальной проверкой. Решение данного класса задач с использованием предложенной модели с высокой степенью достоверности описывается экспериментальными закономерностями и их физико-химической интерпретацией.

Предложенные автором решения служат фундаментом научно-технического задела, который позволяет повысить информативность полигонных испытаний и существенно снизить их объем.

В третьей главе дан анализ и рассмотрение математических моделей механохимической кинетики накопления повреждений в конструкционных материалах в системе взаимодействующих материалов при трении.

Базируясь на положениях эргодической гипотезы при решении задачи кинетики линейных перекрывающихся цепей ассоциированных дефектов, автором предложены статистические распределения накопления повреждений. Экспериментальная проверка математических моделей кинетики накопления повреждений при различных режимах нагружения, описываемых статистическими распределениями, показала, что оценку вклада отдельных механохимических процессов в общий процесс накопления повреждений можно изучать как совокупность развивающихся и перекрывающихся одно-, дву- и трехмерных микротрещин. Уравнения математической модели кинетики накопления повреждений могут рассматриваться с различными значениями кинетических параметров, при этом, также различно будут аппроксимироваться экспериментальные функции распределения отказов и сценарии развития процессов.

В четвертой главе дан анализ математических моделей динамики разрушения конструкционного материала. В результате анализа существующих математических моделей автором предложена уточненная модель динамики разрушения в форме неравновесного фазового перехода, происходящего на начальных стадиях в режиме спиnodального распада. Описываемый данной моделью процесс износа ствола учитывает структурно-фазовые превращения, химическое и механическое воздействие, термическое воздействие продуктов сгорания пороха на поверхностный слой канала ствола, что проиллюстрировано большим объемом экспериментальных материалов в форме срезов-шлифов артиллерийских стволов.

Характер развития процесса разрушения конструкционного материала на начальной стадии, как показали результаты численного анализа, в одномерном случае аналогичен процессу спиnodального расслоения на фазы, наблюдаемому при высокоградиентной кристаллизации. Автором обосновано предположение, что двумерные и трехмерные «расчетные» структуры будут подобны одномерным, т.к. структуры математических моделей, описываю-

щих процессы разрушения как неравновесные фазовые переходы, в основном аналогичны. Приведенное в главе и приложениях большое количество фотографий срезов-шлифов артиллерийского ствола наглядно демонстрирует форму структур, формирующихся при накоплении повреждений в ходе настрела в материале канала артиллерийского ствола и может служить базой данных при последующих аналитических расчетах по модели с использованием соответствующей компьютерной техники.

Общие выводы содержат описание итогов и основных результатов работы, в ходе которой автор в соответствии с целью выполнил комплекс задач, направленный на повышение живучести артиллерийских стволов, включающий:

- оценку и анализ различных технологических методов повышения износостойкости и живучести артиллерийских стволов;
- мониторинг и апробацию математических моделей трибохимической кинетики внешнего трения и фрикционных автоколебаний, механохимической кинетики накопления повреждений и изнашивания;
- разработку математической термодинамической модели разрушения материалов и ее адаптацию к решению задач оценки энергетического состояния материала;
- разработку методик и получение экспериментальных данных по накоплению повреждений в материале, и на их основе – разработку комплекса технологических и эксплуатационных мероприятий по управлению процессами, обеспечивающими снижение изнашивания материалов артиллерийских систем.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Непонятно, какое влияние на структурно- фазовые превращения оказывают рост давления и температуры? Точки фазовых превращений возрастают или снижаются?

2. В приведенных математических зависимостях частично отсутствует расшифровка символьного обозначения входящих параметров и их физических размерностей. То же касается и отдельных графических иллюстраций.

3. Не ясно, на какой уровень дульной энергии в разработанных моделях можно производить расчеты при проектировании новых стволов.

4. В какой части ствола преобладают трещины от нормальных напряжений и как предлагаемые методы защиты от износа обеспечивают защиту от их образования?

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования, теоретической и практической значимости выполненных автором работ.

Диссертация Сидорова Михаила Игоревича на тему «Повышение живучести артиллерийских систем на основе моделирования и управления трибохимическими процессами изнашивания», по структуре, содержанию и объему является научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований решена научная проблема, позволяющая с большей вероятностью прогнозировать износ ствола с увеличением настрела, имеющая важное народнохозяйственное значение. Результаты исследования вносят значительный вклад в понимание роли каждого параметра многофакторной задачи повышения тактико-технических и эксплуатационных характеристики современных и перспективных артиллерийских систем.

Теоретические исследования подкреплены большим количеством экспериментальных данных, подтверждающих их обоснованность и достоверность. Результаты работы достаточно широко освещены в научно-технической литературе: в 2 монографиях, 78 научных работах, из которых 17 статей, в изданиях, рекомендованных ВАК России, 4 публикации в изданиях, включенных в международную реферативную базу Scopus, а также докладывались более чем на 10 международных конференциях. На разработки получено 14 патентов и 4 положительных решения на выдачу патентов.

Результаты внедрения и полигонных испытаний технологий повышения износостойкости материалов стволов, основанных на выполненных научно-технических разработках, показали повышение живучести и остаточного ресурса стволов до 2,4 раз.

Область исследований и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Результаты работы отмечены премией Правительства Российской Федерации, что подтверждает их широкомасштабное внедрение и использование, которое имеет существенное значение для укрепления обороноспособности страны.

На основании вышеизложенного считаем, что по своей актуальности, уровню новизны и значимости для науки и производства диссертационная работа полностью соответствует квалификационным требованиям «Положения о присуждении ученой степени, (в том числе п.п. 9 и 10), утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842), а ее автор Сидоров Михаил Игоревич, заслуживает присуждение ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

Диссертация заслушана на заседании кафедры «Стрелково-пушечное вооружение» 17 октября 2018 года, протокол № 2.

Доктор технических наук,
и.о. заведующего кафедрой
«Стрелково-пушечное вооружение»

Зеленко
— Виктор Кириллович

Доктор технических наук,
доцент, профессор кафедры
«Стрелково-пушечное вооружение»

Никольский
Владимир Витальевич

ФГБОУ ВО «Тульский государственный
университет»
Проспект Ленина, д. 92, г. Тула, 300012
Тел. (4872) 35-34-44
e-mail: info@tsu.tula.ru, <http://tsu.tula.ru>