

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ РАН



142432, Черноголовка, Московская обл,  
проспект академика Семенова, д. 1  
Тел.: (495) 993-57-07; (496-52) 2-19-30  
Факс: (496-52) 2-56-36; (496-52) 2-35-07

ОКПО 02699837, ОГРН 1035006100502  
ИНН/КПП 5031007735/503101001

Заместителю председателя  
диссертационного совета Д.999.112.02  
при ФГБУН Институт  
машиноведения им. А.А.Благоднарова  
РАН и ФГБОУ ВО Брянский ГТУ  
Албагачиеву А.Ю

-----  
119334, Москва, ул. Бардина, д. 4

22.10.2018 № 12108- 6275 / 1546  
На № \_\_\_\_\_

### Уважаемый Али Юсупович!

Высылаю Вам отзыв на автореферат диссертации Сидорова Михаила Игоревича на тему «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».

Приложение: " Отзыв на автореферат..."- на 8 стр., н/с, 2экз.

Ученый секретарь ИХФ РАН

Психа Б.Л.

« УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора

ИПХФ РАН

Ломоносов И.В.

« 10 » 10 2018 г.

М.П.

### Отзыв на автореферат

диссертации на соискание степени доктора технических наук Сидорова М.И.

#### **«Повышение живучести артиллерийских систем на основе моделирования и управления трибохимическими процессами изнашивания»**

В рамках тактических задач, выполняемых вооруженными силами и специальными подразделениями, наблюдается увеличение количества огневых применений артиллерии. Использование высокоэнергетичных порохов с повышенным эрозионным воздействием, ужесточение темпов стрельбы и условий применения артиллерийских установок приводят к необходимости совершенствования методов и средств контроля состояния артиллерийских стволов. Требования к росту мощности заряда, начальной скорости боеприпаса, скорострельности и ряда других характеристик влекут за собой, при их исполнении, существенное снижение живучести стволов артиллерийских систем, зависящей от интенсивности протекающих в канале ствола механических, термодинамических и химических процессов, влияющих на интенсивность его износа.

Представленная на отзыв работа посвящена изучению различных физических и химических факторов, влияющих на интенсивность износа материала

ствола, анализу процессов и возможности построения адекватных математических моделей, пригодных для описания и прогнозирования накопления повреждений в его канале, т.е. фактически повышению живучести стволов артиллерийских систем. По этой причине работа несомненно **актуальна** и имеет **большую практическую значимость**.

Структурное построение диссертации классическое, – введение, четыре главы, выводы, список литературы, приложения (5 шт.). Материал диссертации и приложений качественно проиллюстрирован рисунками, графическими зависимостями, таблицами с экспериментальными и расчетными данными по результатам исследований.

Во **Введении** к диссертации показано, что математические зависимости, используемые для расчета износа и живучести стволов, преимущественно эмпирические и основаны на обработке экспериментальных результатов испытаний. Испытания же новой техники требуют больших материальных и временных затрат. Поэтому имеется насущная необходимость разработки теоретических основ, включающих совокупность математических моделей, позволяющих осуществить адекватную замену эмпирических методов на расчетные. А отсюда логически следует поставленная цель работы – создание научно-технического задела, теоретическое обоснование и практическая апробация методологии решения задач внутренней баллистики артиллерийских систем, основанной на повышении износостойкости материалов, работающих при высоких потоках энергии.

Характеристика и анализ современных методов испытаний артиллерийских стволов на износ и живучесть даны автором в **первой главе** работы. Наряду с этим рассмотрены трибологические приемы снижения износа, технологические аспекты повышения живучести артиллерийских стволов, подходы к моделированию структуры конструкционных материалов. В качестве особо информативного метода испытаний и получения информации о характере износа рассмотрен экспериментальный метод контрастирования фотоснимков по-

верхности канала ствола. По мере набора большого количества подобных снимков и организации соответствующей базы данных, этот метод позволит осуществлять компьютерное распознавание образов контрастированных фотоснимков и сопоставление с расчетными теоретическими «картинами» формирования структуры материала в зонах интенсивного износа.

На основе анализа информации автором поставлена задача систематизированного исследования, включающего:

разработку теории и математических моделей внешнего трения для корректировки задач внутренней баллистики;

кинетических моделей накопления повреждений в конструкционном материале, являющихся основой прогностических методов оценки износа и живучести стволов;

моделей разрушения материала в зонах износа посредством теоретического описания процесса разрушения в виде неравновесного фазового перехода.

В соответствии с логической направленностью вышеобозначенных задач, во **второй главе** приведены результаты исследования и разработки математических моделей трибохимической кинетики внешнего трения. Определение характера трения при движении снаряда по стволу является одной из важных составляющих внутрибаллистических задач. В то же время, экспериментальный задел, пригодный для использования при проектировании артиллерийских систем большего могущества практически отсутствует, а, чтобы его получить, необходимо проведение дорогостоящих объемных испытаний. Для повышения информативности полигонных испытаний и снижения их объема автор поставил перед собой задачу разработки и апробации теории трения в форме математических моделей трибохимической кинетики.

Представленная уточненная модель топохимической кинетики адгезионного схватывания двух трущихся поверхностей, учитывает два фактора: 1) образование зародышей в зоне пятен контакта, 2) рост ядер схватывания. То есть учитываются две скорости, а именно скорость перемещения и скорость топо-

химической реакции (или же два характерных времени: время перемещения друг относительно друга двух контактирующих поверхностей и время завершения топохимической реакции).

С учетом температуры в зоне контакта трущихся поверхностей автором проведен анализ условий возникновения фрикционных автоколебаний в системе "снаряд-ствол", и представлены результаты исследования и моделирования этого процесса.

Сопоставление данных, полученных расчетным путем с использованием модели топохимической кинетики, с экспериментальными, дало удовлетворительную сходимость результатов. Модель топохимической кинетики достаточно достоверно описывает ряд экспериментальных закономерностей и позволяет дать их физико-химическую трактовку. Таким образом, результаты апробации модели позволяют заключить, что предложенная математическая модель является работоспособной.

Наряду с трибохимическим механизмом накопления повреждений и износа материала ствола, процессу выстрела и движения снаряда по его каналу сопутствует и механохимическая составляющая, также ответственная за износ и разрушение под нагрузкой в сложных термических и коррозионных условиях. Возможности математического описания механохимической кинетики накопления повреждений в конструкционных материалах изучены автором в **третьей главе**.

Автором предложено построение математических моделей с учетом эргодической гипотезы, т.е. по статистике отказов (разрушения образцов) предполагается восстановление хода процесса накопления повреждений. Предложено сначала выполнить построение гипотетической модели кинетики накопления повреждений, а затем осуществить подбор кинетических констант модели по экспериментальным данным статистики разрушения образцов. Сравнение нескольких вариантов приемлемой аппроксимации экспериментального распре-

деления с модельным дает возможность предложить сценарий развития разрушения.

Решение задач кинетики линейных перекрывающихся цепей ассоциированных дефектов с различными переменными параметрами дало возможность построения статистических распределений накопления повреждений. Однако, автором справедливо замечено, что сценарии развития процесса разрушения могут быть различными, т.к. одни и те же экспериментальные функции распределения отказов могут быть аппроксимированы уравнениями математической модели кинетики накопления повреждений с различными значениями кинетических параметров.

Верификация математических моделей, описывающих кинетику накопления повреждений и разрушения образцов при различных режимах нагружения в статистической форме, убедительно показала наличие возможности оценки вклада отдельных механохимических процессов в общий процесс накопления повреждений как систему перекрывающихся одно-, дву- и трехмерных микротрещин.

Несомненный научно-практический интерес представляет и математическое моделирование динамики разрушения конструкционного материала в форме неравновесного фазового перехода, проходящего на начальных стадиях в режиме спиnodального распада, чему посвящена **четвертая глава** диссертации.

Описательная картина износа ствола, положенная в основу предложенной математической модели, учитывает механическое и термическое воздействие порохового газа на поверхностный слой канала ствола, с учетом химических и структурных воздействий.

Предположив, что разрушение может трактоваться как неравновесный фазовый переход, в начальный момент реализуемый как спиnodальный распад, совместное термическое и механическое воздействие пороховых газов на по-

верхностный слой канала ствола в модели автор представил в рамках термодинамического подхода.

Для одномерного случая по данной модели выполнен расчет начальной стадии разрушения конструкционного материала, показавший, что характер развития процесса разрушения, следующего вслед за зарождением и накоплением повреждений в материале, аналогичен процессу спинодального расслоения на фазы, наблюдаемому при высокоградиентной кристаллизации.

Математические модели, описывающие подобные явления как неравновесные фазовые переходы, имеют идентичные структуры. На основании этого утверждения сделан вывод, что подобными будут «расчетные» структуры для двумерных и трехмерных случаев.

В этой главе представлены экспериментальные материалы в виде иллюстраций структур срезов-шлифов артиллерийского ствола, формирующихся при накоплении повреждений в ходе настрела. Этот материал представляет собой и содержательную часть для формирования возможных компьютерных баз данных, пригодных для процедур автоматизированного сопоставления их с расчетными.

Итог работы и тезисное описание ее основных результатов приведены в разделе **Общие выводы.**

Разработанный автором научно-технический задел, направленный на обеспечение живучести артиллерийских систем, наряду с большим количеством экспериментальных материалов, включает разработанные и верифицированные:

модели механохимической кинетики накопления повреждений и изнашивания;

модели трибохимической кинетики внешнего трения;

модели теории неравновесных фазовых переходов для оценки энергетического состояния материала ствола и параметров его работоспособности.

По тексту автореферата имеется несколько замечаний:

1. Из автореферата неясно, о каких составах смазки, используемых в промышленности, идет речь?
2. Как на процессы трения и износа влияет давление?
3. Отдельные замечания редакционного характера.

Однако, данные замечания не снижают ценности выполненной работы.

Теоретические исследования подкреплены и подтверждены большим количеством фактических экспериментальных данных, полученных при личном участии автора.

Результаты работы опубликованы в 78 статьях, апробированы в качестве докладов и обсуждений на многих международных научно-технических конференциях. Содержание работы соответствует паспорту специальности: 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

Полигонные испытания технологий повышения износостойкости материалов стволов, основанные на выполненных научно-технических разработках, показали повышение живучести и остаточного ресурса стволов от 2 до 4 раз.

Результаты работы имеют важное значение для обороноспособности страны, что подтверждается их внедрением и использованием в условиях ФКП "НИИ Геодезия", и на ряде других предприятиях ОПК, а также они отмечены премией правительства Российской Федерации.

Ознакомление с информацией, представленной в автореферате диссертационной работы на соискание учёной степени доктора технических наук по теме «Повышение живучести артиллерийских систем на основе моделирования и управления трибохимическими процессами изнашивания», позволяет прийти к выводу, что по структуре, содержанию и объёму на защиту представляется законченная квалификационная работа, соответствующая требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842. Автором выполнены исследования и разработаны теоретические положения, совокуп-



ность которых можно квалифицировать как научное достижение, а её автор Сидоров Михаил Игоревич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Отзыв на автореферат составил:

Зам. директора ИПХФ РАН  
чл.-корр. РАН, доктор ф.-м. н.

Минцев В.Б.  
(Минцев Виктор Борисович)

Институт проблем химической физики РАН

142432, Черноголовка, Московской обл. пр. академика Семенова, 1.

Victor Mintsev <minvb@icp.ac.ru>

Я, Минцев В.Б., даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

Подпись Минцева В.Б. удостоверяю

Ученый секретарь ИПХФ РАН

Психа Б.Л.

М.П.