

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.211.02,
созданного на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» и федерального государственного бюджетного учреждения
науки Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11 июня 2021 г., протокол № 6
о присуждении Игнатовой Анастасии Валерьевне, гражданке России,
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Анализ кинетики деформирования и разрушения слоистых тканевых структур с тонкими покрытиями при локальном ударе» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 9 апреля 2021 года (протокол заседания №4) диссертационным советом Д 999.211.02, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, д. 29) и федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (614990, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а) на основании приказа Минобрнауки России № 424/нк от 17.04.2018 г.

Соискатель Игнатова Анастасия Валерьевна, 1985 года рождения, в 2010 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» по специальности «Динамика и прочность машин», в 2013 году окончила аспирантуру очной формы обучения Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) (специальность 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, период обучения 05.04.2010 г. – 04.04.2013 г.), работает младшим научным сотрудником кафедры технической механики Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета).

Диссертация выполнена на кафедре «Техническая механика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Сапожников Сергей**

Борисович, профессор кафедры «Техническая механика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **Аптуков Валерий Нагимович**, доктор технических наук (01.02.04), профессор, заведующий кафедрой фундаментальной математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,

2. **Константинов Александр Юрьевич**, доктор физико-математических наук (01.02.06), старший научный сотрудник лаборатории динамических испытаний материалов научно-исследовательского института механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Москва), в своем положительном отзыве, утвержденном проректором, доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем и подписанном председателем секции «МДТТ» при Ученом совете НИИ механики МГУ, доктором физико-математических наук, профессором Тарлаковским Дмитрием Валентиновичем и научным сотрудником лаборатории упругости и пластичности НИИ механики МГУ, кандидатом физико-математических наук Костыревой Лилией Александровной, указала, что диссертационная работа посвящена разработке расчетно-экспериментальных методов анализа деформирования и разрушения слоистых тканевых структур с тонкими покрытиями при локальном ударе на техническом пластилине – специальной регистрирующей среде, позволяющей оценить прогиб преграды; научная новизна работы заключается в получении ряда новых экспериментальных данных (например, параметров вязкоупругопластической модели пластилина со скоростной чувствительностью; сравнительные данные по энергопоглощающей способности различных типов покрытий арамидных тканей), в построении и верификации новой численной модели ткани плоского плетения, отличающейся от известных введением связанности нитей материалом покрытия; диссертационная работа отвечает всем установленным требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, а ее автор, Игнатова А.В., заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ по теме диссертации, из них 5 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук,

и приравненных к ним, в т.ч. 4 работы – в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем публикациях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Сапожников, С.Б. Исследование механических свойств технического пластилина при квазистатическом и динамическом деформировании / С.Б. Сапожников, А.В. Игнатова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2014. – № 2. – С. 200-219. **(ВАК, Scopus)** (20 стр. / авт. 11 стр.)

В данной работе соискатель представила результаты экспериментальных исследований механического поведения технического пластилина в широком диапазоне скоростей деформаций при разных видах нагружения, а также определены параметры упругопластической модели пластилина.

2. Игнатова, А.В. Обработка поверхности арамидной ткани для управления поглощением энергии удара в слоистых композитах / А.В. Игнатова, С.Б. Сапожников // Композиты и наноструктуры. – 2015. – Т. 7, № 4. – С. 231-240. **(ВАК)** (10 стр. / авт. 8 стр.)

В данной работе соискатель представила результаты экспериментальных исследований деформирования арамидных тканей с тонкими покрытиями из разных материалов при квазистатическом вытягивании нитей и при низкоскоростном ударном воздействии по тканевой преграде, расположенной на пластилине.

3. Поверхностная обработка арамидной ткани и ее влияние на механику фрикционного взаимодействия нитей / А.В. Игнатова, Н.Ю. Долганина, С.Б. Сапожников, А.А. Шаблей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – № 4. – С. 121-137. **(ВАК, Scopus)** (17 стр. / авт. 9 стр.)

В данной работе соискатель представил результаты экспериментальных исследований деформирования арамидных тканей с тонкими покрытиями из разных материалов при квазистатическом вытягивании нитей, а также численную модель арамидной ткани полотняного переплетения для анализа процессов деформирования тканей при квазистатическом вытягивании нитей.

4. Ignatova, A.V. Influence of surface polymer coating on ballistic impact response of multi-layered fabric composites: Experimental and numerical study / A.V. Ignatova, O.A. Kudryavtsev, M.V. Zhikharev // International Journal of Impact Engineering. – 2020. – Vol. 144. – No. 103654. **(Scopus)** (14 стр. / авт. 10 стр.)

В данной работе соискатель представила экспериментальные данные о влиянии тонких покрытий ПВА на баллистические свойства слоистой тканевый пакет при высокоскоростном нагружении, представила разработанные малопараметрические расчетные модели пакета на основе сухих и обработанных арамидных тканей, отличающиеся явным учетом дополнительных элементов тонких покрытий. Игнатова А.В. провела расчеты деформирования и разрушения тканевых пакетов на основе сухих и обработанных тканей при квазистатическом и динамическом (высокоскоростном

ударном) нагружении, а также предложила методику верификации параметров численной модели слоистой тканевой структуры.

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы положительные: старшего научного сотрудника отдела фундаментальных проблем аэрокосмических технологий Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, д-ра техн. наук **Болтаева П.И.**; профессора кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева (Самарский университет), д-ра техн. наук, проф. **Комарова В.А.**; заведующего кафедрой «Механика деформируемого твердого тела» Национального исследовательского Томского государственного университета, д-ра физ.-мат. наук, проф. **Скрипняка В.А.**; заведующего кафедрой «Прикладная механика» Южно-Уральского государственного аграрного университета, канд. техн. наук, доц. **Гутрова М.А.**; заведующего лабораторией механики композитов и биополимеров Института механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, канд. техн. наук, доц. **Шилько С.В.**; АО «УНИИКМ» (отзыв утвержден ген. директором В.Ю. Чунаевым, подписан ведущим инженером-исследователем **Чечулиной Е.А.**); АО «НИИ стали» (отзыв утвержден директором по науке – главным конструктором М.О. Алексеевым, подписан заместителем директора по науке – начальником ЦСМБ, канд. техн. наук **Беспаловым И.А.**).

В отзывах отмечено, что диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи по разработке расчетно-экспериментальных метода анализа деформирования и разрушения слоистых тканевых структур с тонкими покрытиями при ударном воздействии. Кроме этого, в работе большое внимание уделено экспериментальным исследованиям физико-механических свойств пластилина для широкого диапазона скоростей деформаций при разных видах нагружения.

В отзывах содержатся следующие пожелания, вопросы и замечания: в автореферате не проведено обоснование перехода от реальных, упруговязкопластических свойств, к идеализированной двухпараметрической модели пластилина; автор не поясняет терминологическое отличие: скульптурный и технический пластилин материалами с полностью аналогичными физико-механическими свойствами; реализованная в диссертационной работе экспериментальная методика, основанная на косвенном измерении деформаций образца с помощью специальных меток, может быть использована, при дополнительных расчетах измерительных погрешностей, возникающих при проведении эксперимента; в качестве пожелания следует отметить, чтобы в дальнейших исследованиях больше внимания автор уделит влиянию полученных научных результатов на снижение веса бронезилета и улучшение его эксплуатационных качеств; не обоснован выбор отечественных и зарубежных материалов для модификации тканей; в автореферате указано, что все испытания были проведены при комнатной температуре ($\pm 20^\circ\text{C}$), однако пластичность пластилина сильно зависит от температуры окружающей среды, в то время

как защитные устройства могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур; формулировка 1-го положения, выносимого на защиту, нуждается в уточнении, чтобы пояснить роль параметра «глубина вмятины в регистрирующей среде» как критерия эффективности бронежилета; неудачным является выражение «поверхностная обработка тканей тонкими покрытиями» (стр. 1); не расшифрована аббревиатура ПВА (поливинилацетат); несмотря на показанную высокую эффективность, использование ПВА в бронежилетах ограничено требованиями влагостойкости и эффектами старения этого термопласта; не приведено сравнение с альтернативными материалами; не приведено обоснование выбора материала для обработки поверхности арамидных нитей; из приведенных данных не понятно, может ли предложенная модель быть применима для моделирования реальных условий взаимодействия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области расчетных и экспериментальных исследований процессов деформирования и разрушения материалов разной структуры при высокоскоростном нагружении, имеют публикации по данному направлению в ведущих рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация хорошо известна своими достижениями в области механики деформируемого твердого тела, в университете решаются фундаментальные и прикладные задачи в области механики композитных материалов, механизмов пробивания многослойных тканевых преград, соответствующей направлению, разрабатываемому в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получены новые экспериментальные данные, характеризующие механические свойства технического пластилина в широком диапазоне скоростей деформаций при разных видах нагружения;

получены новые экспериментальные данные о влиянии тонких покрытий из разных материалов на деформирование арамидных тканей полотняного переплетения при квазистатическом вытягивании нити и ударном воздействии по ткани на пластилине;

разработана численная мезоструктурная модель для описания поведения арамидной ткани с тонкими покрытиями при ударном нагружении стальным сферическим индентором, позволяющая прогнозировать глубину вмятины в пластилиновой подложке.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы численные модели

для анализа процессов деформирования и разрушения тканевых преград с тонкими покрытиями при ударном воздействии;

изучены зависимость предела текучести пластилина от скоростей деформаций и вида нагружения; зависимости максимального усилия и энергии вытягивания нити из ткани от поверхностной обработки, а также влияние поверхностной обработки арамидных тканей на баллистический предел и прогиб (запреградная выпучина) слоистой тканевой структуры при ударном воздействии сферическим индентором.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

полученные экспериментальные данные о баллистическом пределе, прогибе тыльной стороны слоистой тканевой преграды с тонкими покрытиями **использованы** при разработке средств индивидуальной защиты, что отражено в акте внедрения, приложенном к диссертации;

разработаны эффективные численные модели для тканевого пакета, учитывающие его структуру на уровне нитей, тип переплетения нитей, наличие фрикционных контактов между ними и тонкие покрытия, а также позволяющие прогнозировать баллистические свойства при локальном ударном воздействии.

Результаты диссертационного исследования Игнатовой А.В. могут быть использованы на предприятиях, занимающихся проектированием и производством защитных структур, например, АО «ФОРТ Технологии» (г. Москва), ОАО «НИИ Стали» (г. Москва), АО ЦВМ «Армоком» (г. Хотьково) и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовалось современное аттестованное испытательное оборудование и поверенные средства измерения научно-образовательного центра «Экспериментальная механика» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета);

результаты численных исследований удовлетворительно качественно и количественно **согласуются** с экспериментальными данными и с известными данными других авторов;

современные программные пакеты и методы математического моделирования корректно **используются** в разработанных моделях для описания ударного нагружения многослойных тканевых преградах с тонкими покрытиями.

Личный вклад соискателя состоит в: составлении обзора отечественной и зарубежной научной литературы и проведении анализа существующих способов повышения фрикционного взаимодействия между элементами тканевого пакета и подходов, применяемых при численном моделировании их поведения, подверженных высокоскоростному ударному нагружению, а также исследованиям механических свойств регистрирующей среды; непосредственное участие в проведении экспериментальных исследований и обработке экспериментальных данных; разработке численной мезоструктурной модели арамидных тканей с тонкими покрытиями термопласта ПВА и

