

Научная статья

УДК 677.623.445.1

EDN LIAZVN

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-3-69-33-37>

Михаил Александрович Фарух¹

Михаил Владимирович Киселев²

¹ Научно-исследовательский центр ФГБУ «48 ЦНИИ» Минобороны России, Москва, Россия

² ООО НПО «Программируемые композиты», г. Кострома, Россия

faruh_mihail@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6039-9719>

kisselev50@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-5685-838X>

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТКАНЫХ ГИБКИХ ПРЕГРАД ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ

Аннотация. Статья основана на ранее выполненном анализе подходов к моделированию структуры однослойных тканей и их конечно-элементного представления для задач механики разрушения тканей. Сделан вывод о достаточности упрощенного представления моделей структуры ткани для оценки ее баллистической стойкости. В статье представлена концепция проектирования тканых гибких преград или композитных бронеплит для средств индивидуальной бронезащиты, которые являются основой для создания бронезилята. Представлено краткое содержание каждого этапа предлагаемой концепции, сущность которой состоит в цифровом проектировании однослойных тканей различных переплетений с различными параметрами строения, формирования из них бронепакета, его виртуальных испытаний для ускорения процесса проектирования, изготовления бронепакета и при успешных его виртуальных и натурных испытаниях изготовления изделия – бронезилята.

Ключевые слова: средства индивидуальной бронезащиты, концептуальный подход, проектирование, компьютерное моделирование, бронепакет, баллистическая стойкость, однослойная ткань

Для цитирования. Фарух М. А., Киселев М. В. Концепция проектирования тканых гибких преград для средств индивидуальной бронезащиты // Технологии и качество. 2025. № 3(69). С. 33–37. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-3-69-33-37>.

Original article

Mikhail A. Farukh¹

Mikhail V. Kiselev²

¹ Research Center of the Federal State Budgetary Institution “48 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia

² NPO Programmable Composites LLC, Kostroma, Russia

DESIGN CONCEPT OF WOVEN FLEXIBLE BARRIERS FOR PERSONAL ARMOR PROTECTION MEANS

Abstract. The article is based on the previously performed analysis of approaches to modeling the structure of single-layer fabrics and their finite element representation for problems of tissue fracture mechanics. A conclusion is made about the sufficiency of a simplified representation of fabric structure models for assessing its ballistic resistance. The article presents a concept for designing woven flexible barriers or composite armor plates for personal body armor, which are the basis for creating a bulletproof vest. A brief summary of each stage of the proposed concept is presented, the essence of which lies in the digital design of single-layer fabrics of various weaves with various structural parameters, the formation of an armor package from them, its virtual testing to speed up the design process, the manufacture of the armor package and, if successful, its virtual and full-scale testing of the product – a bulletproof vest.

Keywords: personal protective equipment, conceptual approach, design, computer modelling, armour package, ballistic strength, single-layer fabrics

For citation: Farukh M. A., Kiselev M. V. Concept of designing woven flexible barriers for personal body armor. *Technologies & Quality*. 2025. No 3(69). P. 33–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-3-69-33-37>.

Разработка эффективных средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) является сложной задачей ввиду большого числа тактико-технических требований и факторов, влияющих на их боевую эффективность. Материаловедческие исследования являются важным этапом на пути развития защитных и эксплуатационных возможностей тканых гибридных преград, используемых в таких изделиях, как бронезилеты. В настоящее время создаются эффективные структуры на основе арамидных тканей, применяется керамика, при этом активно развиваются методы расчета, совершенствуются средства компьютерного моделирования и проектирования защитных преград, создается оригинальное программное обеспечение. Все это в комплексе позволяет создавать целевые бронематериалы в зависимости от требований к баллистической стойкости преграды, ведет к уменьшению массы готового изделия в сочетании с более высокой площадью защиты, а также к универсальности и др.

Проведенный ранее анализ подходов к моделированию структуры однослойных и многослойных тканей с целью определения степени готовности разработанных моделей структур тканей для построения их 3D-моделей и последующего использования при проектировании средств индивидуальной бронезащиты, а также исследования авторов данной статьи [1–4] позволили сформировать видение концептуального подхода к решению задачи проектирования тканых гибких преград для средств индивидуальной бронезащиты.

Проектирование СИБ – сложный процесс, требующий учета множества факторов для обеспечения максимальной защиты человека в боевых условиях, так как основная цель СИБ – минимизировать воздействие поражающих элементов (пуль, осколков) на тело человека.

Концепция проектирования СИБ включает в себя несколько ключевых аспектов, от выбора материалов для комбинированных защитных преград (керамика, металлы, композиты, сверхвысокомолекулярный полиэтилен) и тканевых элементов (aramидные волокна), оценки их баллистических характеристик до технологического изготовления готового изделия с испытанным по соответствующим стандартам бронепакетом.

Укрупненное представление концепции проектирования средств индивидуальной защиты представлено в виде структурно-логической схемы на рисунке. Такое представление этапов

проектирования и изготовления СИБ позволяет разбить сложный процесс на основные этапы и подэтапы, рассмотреть содержательное наполнение каждого из них в отдельности, определить последовательность и их связь с другими этапами процесса проектирования. Схематическое представление концепции проектирования позволяет более эффективно планировать и контролировать ход выполнения проекта по созданию СИБ.

Концепция проектирования СИБ содержит четыре основных этапа от создания 3D-модели ткани для изготовления бронепакета до создания готового изделия СИБ и соответственно перечень подэтапов в каждом из них.

Сущность концепции состоит в цифровом проектировании однослойных тканей различных переплетений с различными параметрами строения, формировании из них бронепакета, его виртуальных испытаний для ускорения процесса проектирования, изготовления бронепакета при успешных виртуальных испытаниях и его натурных испытаниях, после которых принимается решение о его пригодности или непригодности для изготовления СИБ.

Данный процесс итерационный. При отрицательных результатах виртуальных или натурных испытаний бронепакета его проектирование начинается снова с подэтапа 1 или 5 (см. рис.). Изготовление СИБ начинается после успешных натурных испытаний бронепакета.

В сегодняшнем представлении процесса цифрового проектирования, как правило, ориентируются на конечный оптимальный вариант. Однако для задачи проектирования СИБ на всех его этапах получить оптимальное решение не представляется возможным в связи со слишком большим количеством факторов, влияющих на баллистическую стойкость бронепакета, а также невозможностью представления ее в виде непрерывной зависимости от различных видов ткацких переплетений. Поэтому для поиска рациональных решений выбора структуры бронепластины приходится использовать метод последовательных приближений. При этом желательно уменьшить время и стоимость получения очередного приближения, используя исследования влияния на баллистическую стойкость материала нитей, вида ткацкого переплетения и их параметров строения, закономерности формирования структуры бронепакета из однослойных тканей и др.

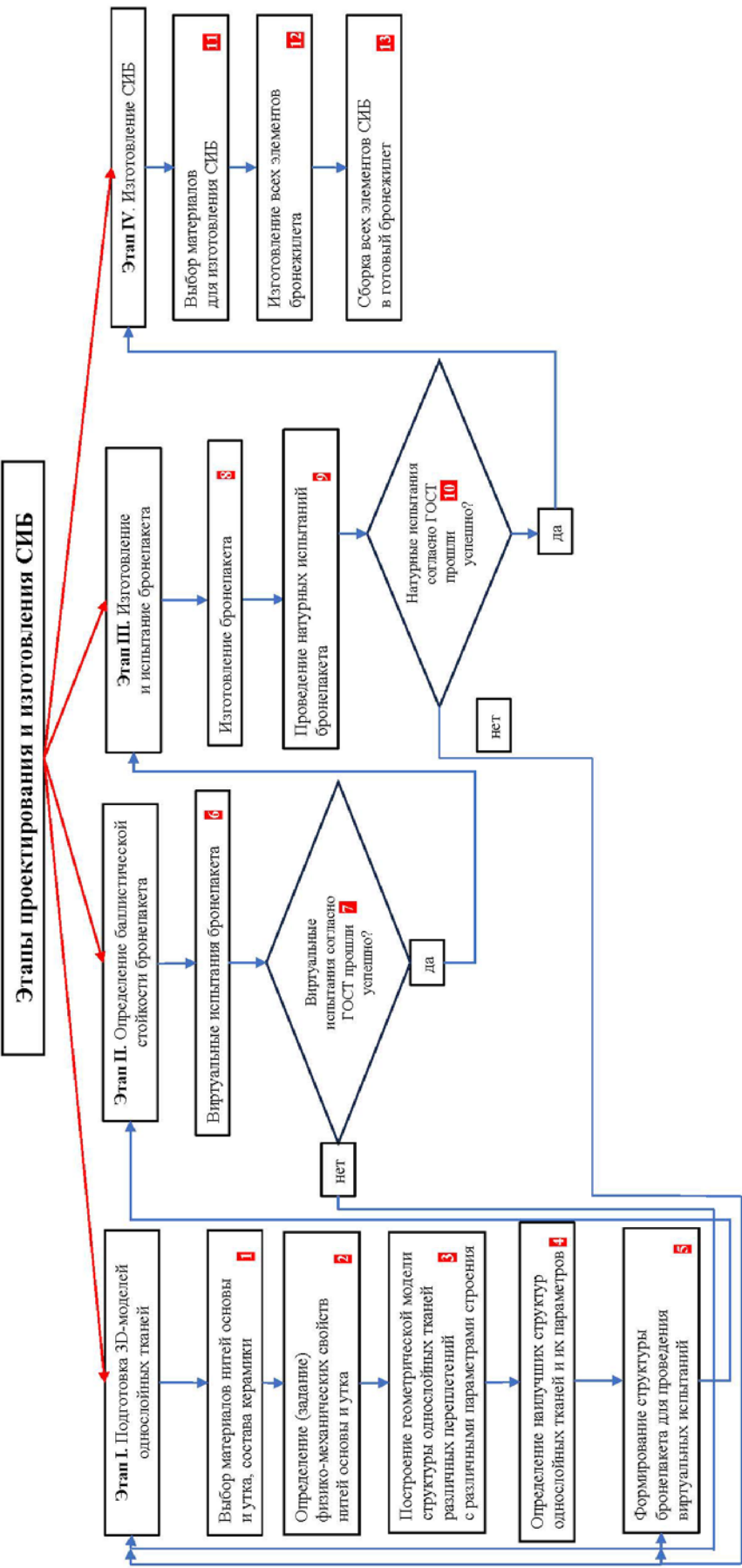


Рис. Структурно-логическая схема концепции проектирования средств индивидуальной защиты

На этапе определения баллистической стойкости бронепластин рекомендуется использовать упрощенные модели разрушения, которые позволят качественно оценить влияние того или иного фактора и сократить время расчета.

Для понимания концепции важны условия выполнения каждого этапа и их подэтапа, поэтому опишем их несколько подробнее с краткими рекомендациями.

Содержание этапов концепции проектирования СИБ

Этап I. Подготовка 3D-моделей однослойных тканей.

1. Осуществляется выбор для гибких бронепакетов баллистических нитей типа Русар, СВМПЭ и др. Для выбора композитных бронеплит осуществляется выбор типа керамики.

2. Для подобранных для бронепакета материалов должны быть получены их физико-механические свойства из базы данных по материалам или путем проведения испытаний. Данные свойства будут использоваться на подэтапе 6.

Для получения более точных моделей желательно получать диаграммы деформирования материалов на высоких скоростях деформации, соответствующие реальным условиям пробития индентором. Однако для сравнительного анализа рекомендуем использовать диаграммы деформирования в статике.

3. При выборе однослойных или многослойных тканей для гибких бронепакетов строятся их геометрические 3D-модели различных переплетений с различными параметрами.

На данном подэтапе рекомендуется упрощенное представление структуры ткани с геометрическим подходом. Данная рекомендация основана на том, что при разрушении индентором нити ткани испытывают существенно большие деформации, чем в процессе ткачества, и их величиной для упрощения построения структуры ткани можно пренебречь.

Задачей данного этапа является подготовка моделей для их последующего анализа в САЕ-системах.

4. Выполнение виртуальных испытаний моделей тканей, подготовленных на предыдущем подэтапе, и выбор из них наилучших переплетений с наилучшими структурными параметрами.

5. Формирование CAD-модели бронепакета на основе выбранных наилучших переплетений с наилучшими структурными параметрами.

Этап II. Определение баллистической стойкости бронепакета.

6. Реализация виртуальных испытаний моделей, подготовленных на этапе I.

7. Проведение виртуальных испытаний сформированного бронепакета. На данном этапе не преследуется цель получить наиболее точное решение задачи прогнозирования баллистической стойкости. Для этого рекомендуется применение упрощенной модели разрушения с упрощенной геометрической моделью строения ткани и упрощенным заданием свойств нити только на растяжение. Такое допущение упрощает решение задачи и использует классическое определение нити как тела, работающего только на растяжение.

По результатам виртуальных испытаний бронепакета принимается решение – если они прошли успешно, то переходим к следующему подэтапу 8, если нет, то возвращаемся к подэтапу 1 или 5.

Этап III. Изготовление и испытание бронепакета.

8. Изготовление бронепакета начинается после успешного завершения подэтапа 7 из выбранных материалов и структур тканей. Изготовление гибких бронепакетов или композитных бронеплит, их подготовка к натурным испытаниям.

9. Проведение натурных испытаний бронепакета. Проведение натурных испытаний спроектированного и изготовленного бронепакета как необходимый подэтап для верификации виртуальных испытаний и определения их предела баллистической стойкости по ГОСТ.

10. При успешных натурных испытаниях осуществляется переход на следующий подэтап 11. Иначе возвращаемся на подэтапы 1 или 5.

Этап IV. Изготовление СИБ.

11. Осуществляется выбор материалов для СИБ. Для удобной носки военнослужащим должны быть учтены требования легкости, паропроницаемости, гигроскопичности и др.

12. Из выбранных материалов предыдущего этапа швейными технологиями изготавливаются внешний чехол и другие элементы СИБ, кроме бронепанели. Желательно изготавливать универсальную несущую систему для возможности использования как гибких бронепакетов, так и композитных бронеплит для защиты от стрелкового оружия.

13. Осуществляется сборка всех элементов бронезилета в готовое изделие.

В соответствии с основными этапами данной концепции реализовано проектирование и разработка бронезилетов с классом защиты 1, 2

согласно ГОСТ 34286–2017 и классом защиты 6А по ГОСТ Р 50744–95 [5].

ВЫВОДЫ

1. Разработана концепция проектирования средств индивидуальной бронезащиты на

основе цифровых моделей тканых преград в виде однослойных тканей.

2. Концепция представлена в виде структурно-логической схемы процесса проектирования СИБ, содержащей обоснование и описание основных ее этапов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киселев М. В., Фарух М. А. Баллистические ткани как основа средств индивидуальной бронезащиты // Цифровые технологии в производстве : материалы Всерос. науч.-техн. конф. (Кострома, 21 декабря 2023 года). Кострома : Костромской государственный университет, 2024. 1 CD-ROM. С. 51–56.
2. Киселев М. В., Фарух М. А., Самойлов Д. А. Создание композитных защитных элементов для средств индивидуальной защиты // Сборник научных трудов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения проф. А. И. Коблякова. Ч. 1. М. : РГУ им. А. Н. Косыгина, 2024. С. 186–190.
3. Фарух М. А., Киселев М. В., Самойлов Д. А. Разработка структуры защитных композиционных пластин для средств индивидуальной защиты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4(406). С. 271–278.
4. Фарух М. А., Киселев М. В., Самойлов Д. А. Экспериментальные исследования защитных свойств композиционных пластин для средств индивидуальной защиты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6(408). С. 255–260.
5. Киселев М. В., Фарух М. А. Создание экспериментального средства индивидуальной бронезащиты с улучшенными характеристиками // Дизайн и технологии. 2024. № 103(145). С. 93–100.

REFERENCES

1. Kiselev M. V., Farukh M. A. Ballistic fabrics as a basis for personal body armor. *Cifrovye texnologii v proizvodstve* [Digital technologies in production: materials of the All-Russian scientific and technical conference (Kostroma, December 21, 2023)]. Kostroma, Kostroma St. Univ. Publ., 2024. 1 CD-ROM. P. 51–56. (In Russ.)
2. Kiselev M. V., Farukh M. A., Samoilov D. A. Creation of composite protective elements for personal protective equipment. *Sbornik nauchny'x trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem, posvyashhennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A. I. Koblyakova* [Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of the birth of prof. A.I. Koblyakov]. P. 1. Moscow, Ross. St. Univ. named after A. N. Kosygin Publ., 2024. P. 186–190. (In Russ.)
3. Farukh M. A., Kiselev M. V., Samoilov D. A. Development of the structure of protective composite plates for personal protective equipment. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2023;4(406):271–278. (In Russ.)
4. Farukh M. A., Kiselev M. V., Samoilov D. A. Experimental studies of the protective properties of composite plates for personal protective equipment. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2023;6(408):255–260. (In Russ.)
5. Kiselev M. V., Farukh M. A. Creation of an experimental means of individual armor protection with improved characteristics. *Dizajn i texnologii* [Design and technology]. 2024;103(145):93–100. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 21.08.2025
Принята к публикации 09.09.2025