

# Суперкомпьютерное моделирование тканевых бронежилетов



## 11 Суперкомпьютерное моделирование тканевых бронежилетов

Рассматривается проектирование новых конструкций тканевых бронежилетов с использованием суперкомпьютерных вычислений. Проведены численные эксперименты динамического взаимодействия индентора с тканевыми защитными преградами, расположенными на регистрирующей среде с применением пакета программ LS-DYNA. Были даны рекомендации по улучшению защитных свойств бронежилетов.

Бронежилеты по стойкости к воздействию средств поражения подразделяют на классы. В ГОСТ Р 50744–95 представлено 10 классов различных по конструкции бронежилетов: легкие (1 и 2 класса), представляющие собой слоистые тканевые бронепанели различной толщины; и комбинированные (от 3 до 6 класса), в которых слоистая тканевая бронепанель усилена с лицевой стороны жесткими элементами из металла или керамики [1].

Согласно американскому стандарту NIJ Standard-0101.06, сертификационные испытания бронежилетов проводят в 2 этапа [2]. На первом этапе определяют баллистический предел  $V_{50}$  — это скорость пули, при которой бронежилет пробивается с вероятностью 50 %. На втором этапе бронежилет располагают на регистрирующей среде (техническом пластилине: Roma Plastilina No. 1), проводят обстрел и определяют глубину вмятины в пластилине, которая не должна превышать 44 мм. Всего при сертификационных испытаниях требуется произвести 168 выстрелов в 18 бронепанелей.

Тканевые бронепанели могут содержать несколько десятков слоев высокопрочных тканей из арамидных нитей Кевлар (США) или Русар (Россия) различного типа переплетения (саржа, сатин, полотно и др.) (рис. 1). При ударе пулей в тканевой бронепанели возникают сложные физические явления. Все это существенно затрудняет теоретический анализ. Поэтому в настоящее время при разработке новых конструкций бронежилетов опираются в основном на натурный многофакторный эксперимент, что приводит к удлинению сроков проектирования и увеличению стоимости изделия.

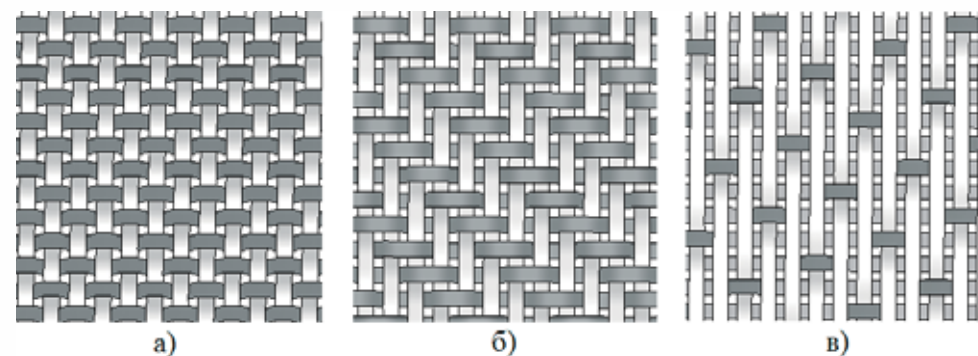


Рис. 1. Типы переплетения нитей: а) полотняное; б) саржевое; в) сатиновое

### АВТОРЫ:

**Н.Ю. Долганова** – канд. тех. наук, начальник отдела поддержки и обучения пользователей Лаборатории суперкомпьютерного моделирования, доцент кафедры системного программирования, Южно-Уральский государственный университет, e-mail: dnu001@mail.ru



Существующие модели тканей при реальных размерах бронезилетов порядка 30x30 см имеют чрезвычайно большую размерность [3], что не позволяет рассчитывать слоистые тканевые бронепанели с немногими слоями ткани даже с использованием современных суперкомпьютеров. Задачей исследования было создание малопараметрической модели ткани, которая бы позволила рассчитать на суперкомпьютере бронезилеты реальных размеров (30x30 см) с реальным количеством слоев (десятки) для замены большего числа натуральных экспериментов виртуальными.

В работе проведено суперкомпьютерное моделирование натуральных экспериментов, которые проводятся при сертификации бронезилетов [2]:

- определение баллистического предела;
- удар пуль в тканевую преграду, расположенную на пластилиновом основании.

Для эксперимента использована арамидная ткань Русар. В расчетной модели нити имеют относительную свободу перемещения с возможностью вытягивания с учетом сухого трения. Рассматривали нити, которые имеют прямоугольное поперечное сечение, были представлены одним оболочечным элементом по ширине и выполнены из ортотропного материала с малыми поперечно-сдвиговыми свойствами. Нити в расчетной модели могли разрушаться. В расчете индентор имел форму цилиндра с полусферическим основанием диаметром 7 мм, массой 5,5 г, с начальной скоростью 445 м/с (имитация пули пистолета ТТ) и был выполнен из абсолютно жесткого материала.

Геометрия и сетка конечных элементов были созданы в программе ANSYS, расчет ударного нагружения тканевых бронепанелей был проведен в программе LS-DYNA.

Механические свойства нитей и технического пластилина определены экспериментально.

Расчеты были проведены на высокопроизводительном вычислительном кластере «СКИФ-Урал», а также на суперкомпьютере «СКИФ-Аврора ЮУрГУ».

Для определения баллистического предела  $V_{50}$  были проведены экспериментальные исследования динамического нагружения 10 слоев ткани сатинового переплетения размером 30x30 см шариком диаметром 8 мм, массой 2 г. Скорость движения шарика варьировалась от 200 до 600 м/с. Была измерена начальная скорость шарика и скорость после пробоя.

После натуральных испытаний были проведены расчетные исследования по замеру скорости после пробоя 10 слоев ткани сатинового переплетения размером 30x30 см индентором сферической формы диаметром 8 мм, массой 2 г.

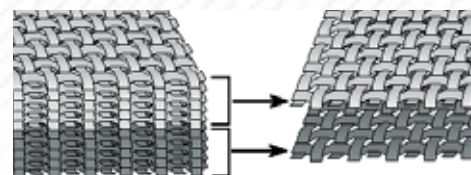


Рис. 2. Замена многослойной бронепанели эквивалентной по массе двухслойной бронепанелью

В этих расчетах для экономии машинных ресурсов предложена концепция замены многослойной тканевой бронепанели (10 слоев) на эквивалентную по массе двух- или трехслойную бронепанель (рис. 2). Модельные слои имели увеличенную, по сравнению с реальными, толщину (и массу) нитей. Различия расчетных и экспериментальных

данных баллистического предела и остаточных скоростей для всех случаев не превысило 4 %.

Были проведены расчеты по обстрелу инденторами (имитация пули пистолета ТТ) четырех различных тканевых бронепанелей размером 30x30 см с удельной массой 10 кг/м<sup>2</sup>, расположенных на основании из технического пластилина. Скорость удара — 445 м/с. Реальная многослойная (60 слоев) бронепанель была заменена пятью эквивалентными по массе слоями (это максимальное количество слоев, которое удалось рассчитать).

- В первом случае была рассмотрена бронепанель, состоящая только из тканей полотняного переплетения.
- Во втором — из тканей саржевого переплетения.
- Третья бронепанель имела 1/3 (по массе) наружных слоев полотняного переплетения, 1/3 средних слоев саржевого и 1/3 нижних — сатинового переплетения.
- Четвертая — 1/3 наружных слоев сатинового переплетения, 1/3 средних слоев саржевого и 1/3 нижних полотняного переплетения.

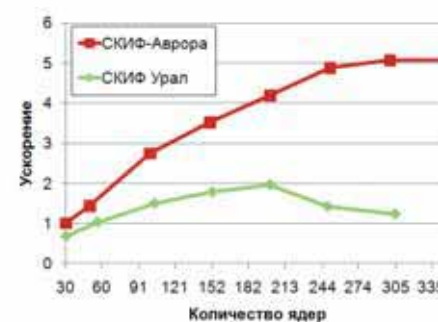


Рис. 3. Бронепанель: сатин – саржа – полотно после удара

Было проведено измерение глубины вмятины оставленной четырьмя различными бронепанелями в основании из технического пластилина. В результате было установлено, что минимальный размер вмятины получается при использовании четвертого типа бронепанели (рис. 3).

Общая рекомендация такова: для повышения эффективности работы бронезилетов необходимо использовать градиентные структуры. В них

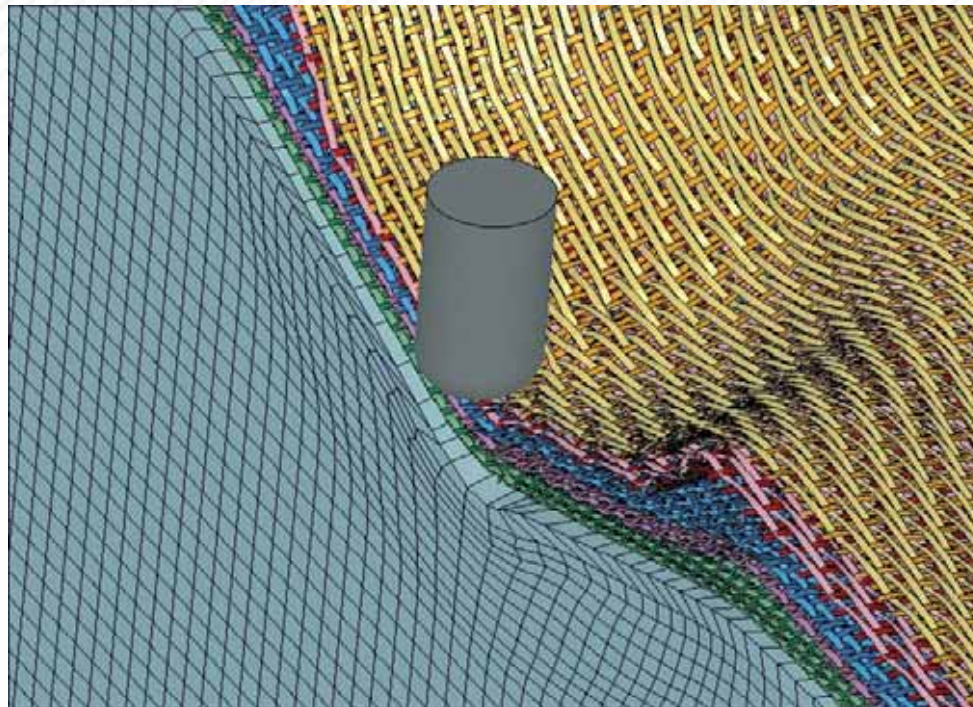


Рис. 4.  
Визуализация результатов суперкомпьютерного моделирования

верхние слои должны иметь меньшую искривленность нитей, напряжения в нитях таких тканей быть меньше; коэффициент трения в верхних слоях должен быть снижен, чтобы уменьшить влияние на прочность нитей сверхзвукового удара; тыльные слои должны быть выполнены из тканей с максимальной искривленностью и высоким коэффициентом трения между нитями, чтобы увеличить энергию на вытягивание нитей.

Максимальное количество конечных элементов было в задаче, где вся бронепанель состояла из тканей полотняного переплетения, и оно равнялось 2 973 960. График ускорения для данной задачи, решенной на вычислительном кластере «СКИФ-Урал» и суперкомпьютере «СКИФ-Аврора ЮУрГУ» представлен на рис. 4.

Проведенные эксперименты показали, что во всех случаях время расчета задачи на суперкомпьютере «СКИФ-Аврора ЮУрГУ» значительно ниже времени расчета на вычислительном кластере «СКИФ-Урал».

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-07-96007-р\_урал\_a).

Статья написана по результатам защиты кандидатской диссертации на тему «Деформирование и разрушение слоистых тканевых пластин при локальном ударе». Специальность 01.02.06. — «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры». Дата защиты: 22.12.2010 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50744-95. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. Прин. Постановлением Госстандарта России от 27.02.95 № 82. Введ. с изм. № 1, 2. Утвержден в сент. 1998, мае 2002. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. — 8 с.
2. National Institute of Technology Standard, NIJ Standard-0101.06. Ballistic Resistance of Body Armor, July 2008.
3. Chocron S. Modeling and validation of full fabric targets under ballistic impact / S. Chocron, E. Figueroa, N. King, T. Kirchoerfer, A.E. Nicholls, E. Sagebiel, C. Weiss, C.J. Freitas // Composites Science and Technology. — 2010. — Vol. 70. — № 13. — Pp. 2012–2022.