

також уніфікованому підходу при оцінюванні їхніх результатів не тільки науковцями та експертами, а й правниками. Подальше удосконалення цієї термінології є перспективним для розв'язання проблеми комплексного оцінювання пневмострільних ушкоджень об'єктів судово-медичної експертизи. Означена термінологія може бути використана й у практиці криміналістичної експертизи, зокрема при судово-балістичних дослідженнях.

А. В. Коломийцев, ведущий научный сотрудник Харьковского НИИСЭ, кандидат технических наук,

И. П. Бойчук, ассистент кафедры теоретической механики и машиноведения Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,

В. В. Сапелкин, заведующий отделом Харьковского областного бюро судебно-медицинской экспертизы,

И. Ю. Сербиненко, судебно-медицинский эксперт Харьковского областного бюро судебно-медицинской экспертизы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПУЛЬ ТРАВМАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

На основі результатів експериментальних досліджень уражаючих властивостей куль травматичної дії, а також даних про характер спричинених ними поранень запропоновано метод чисельного моделювання фізичних процесів, що відбуваються в момент контакту кулі з тканинами біологічного об'єкта із урахуванням анізотропності їхніх властивостей. Дані чисельного моделювання задовільно корелюються з результатами натурних випробувань на імітаторах біологічних тканин (балістичному пластиліні), що дозволяє оцінити уражаючі властивості куль травматичної дії з високим ступенем достовірності та прогнозувати означені характеристики уражаючих елементів.

На основе результатов экспериментальных исследований поражающих свойств пуль травматического действия, а также данных о характере причиненных ими ранений предложен метод численного моделирования физических процессов, протекающих в момент контакта пули с тканями биологического объекта с учетом анизотропности их свойств. Данные численного моделирования удовлетворительно коррелируются с результатами натурных испытаний на имитаторах биологических тканей (баллистическом пластилине), что позволяет оценить

поражающие свойства пуль травматического действия с высокой степенью достоверности и прогнозировать указанные характеристики переломных поражающих элементов.

Вопросы диагностики поражающих свойств пуль травматического действия, несмотря на достаточно большой срок их комплексных исследований, до сих пор остаются открытыми и не имеют для их окончательного решения приемлемого способа, позволяющего учесть особенности процессов взаимодействия пули с тканями биологических объектов. Прежде всего это обусловлено анизотропностью физико-механических характеристик самой среды и параметрами материала, из которого изготовлены пули. В настоящее время широко распространена энергетическая концепция оценки поражающих свойств пуль травматического действия, основным критерием которой является величина удельной кинетической энергии. Для точного определения этого параметра необходимо учитывать такие существенные факторы, как степень деформации и форма эластичной пули после прохождения ею канала ствола, влияние остаточной формы пули на ее баллистические характеристики, ориентация деформированной пули к поверхности преграды в момент контакта, величина контактной площади и др., что представляет определенные трудности.

Наиболее приемлемым способом диагностики поражающих свойств, а также определения степени тяжести причиненных ранений являются экспериментальные стрельбы по имитаторам биологических тканей, в частности по баллистическому пластилину, что позволяет полностью или частично отказаться от использования в процессе исследований биоманекенов. Однако проведение широко-масштабных исследований поражающих свойств и пробивных способностей пуль травматического действия, даже с использованием баллистического пластилина, требует значительных затрат времени и материальных ресурсов, что не всегда целесообразно и экономически оправданно, особенно на стадии проектирования такого вида кинетических снарядов.

Для решения диагностических задач, связанных с оценкой поражающих свойств пуль травматического действия и прогнозируемым ущербом, нанесенным тканям биологического объекта, перспективным методом является численное моделирование физических процессов, происходящих в момент контакта пули с поверхностью преграды, которые сопровождаются импульсными знакопеременными динамическими нагрузками. При моделировании используются методы механики деформированного твердого тела. Поверхность преграды является упругим телом, механические свойства которого описываются законом Гука. В качестве механического взаимодействия исследуется удар пули об упругое тело.

Для сопоставления результатов численного эксперимента с данными реальных натуральных испытаний в качестве прототипа использовался поражающий элемент pistolетного патрона «Терен-3Ф» травматического действия калибра 9 мм Р.А. и моделировалось его взаимодействие с имитатором биологических тканей – баллистическим пластилином марки Weible (производитель – немецкая фирма Carl Weible KG). Объектом моделирования был выбран куб размерами 500×500×500 мм. Механические свойства материала объекта моделирования задавались модулем упругости (модулем Юнга) и коэффициентом Пуассона. Перемещение точек поверхности и возникновение напряжений описываются уравнениями механики сплошных сред. Изначально предполагается, что при встрече пули с поверхностью происходит удар, который считается прямым. Сила удара определяется исходя из известных данных о характере рассеивания кинетической энергии пули на траектории. Предполагается также, что время взаимодействия пули с поверхностью преграды составляет величину, не превышающую 0,01 с. Основной целью моделирования протекающих в момент удара физических процессов является определение напряженно деформированного состояния среды, значение параметров которой способствует определению глубины раневого канала и размеров зон повреждений. В конечном результате это позволит получить качественные и количественные характеристики процесса с учетом ряда свойств, как самой среды, так и материала пули.

Задача моделирования удара пули о поверхность преграды решалась методом конечных элементов (МКЭ). Одним из допущений является положение о том, что в момент удара пуля остается недеформированной. Это существенно упрощает расчеты, поскольку основной целью исследований на данном этапе являются оценка разработанного программного обеспечения и перспективность дальнейших работ в этой области. Для расчета параметров напряжения и деформации расчетная область покрывается треугольной сеткой. В области взаимодействия пули с поверхностью задавалось сгущение сетки (рис. 1).

Для сравнения использовались результаты экспериментальной стрельбы патронами «Терен-3Ф» по пластилиновому блоку. Характер повреждений, образованных в результате попадания пуль травматического действия калибра 9 мм Р.А., показан на рис. 2. Сравнение смоделированного взаимодействия пули с преградой с экспериментальными данными в дальнейшем позволило определить степень достоверности данных, полученных расчетным путем.

Характер смоделированного повреждения объекта, образованного в результате попадания в него сферического снаряда, показан на рис. 3.

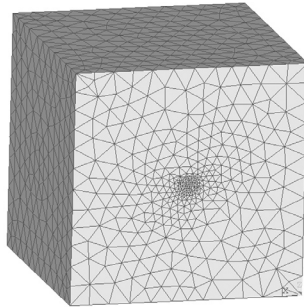


Рис. 1. Расчетная сетка геометрической модели

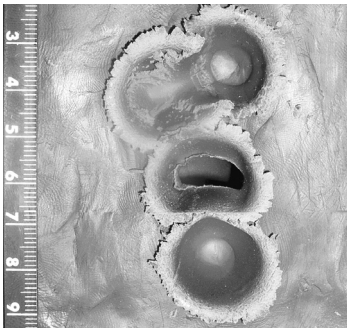


Рис. 2. Характер повреждений в баллистическом пластилине при попадании пуль калибра 9 мм Р.А.

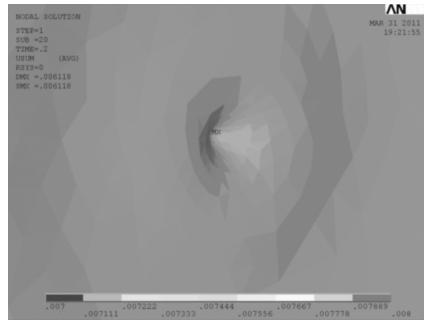


Рис. 3. Характер повреждения моделируемой среды при попадании в нее сферического снаряда диаметром 9 мм

Сравнительный анализ полученных на этом этапе результатов показал достаточно высокую сходимость на качественном уровне, что позволило оценить перспективность и актуальность выбранной концепции.

Кроме того, в результате моделирования физических процессов было установлено, что в момент удара пули о преграду область взаимодействия начинает смещаться в направлении, перпендикулярном поверхности тела. При этом от зоны контакта начинают распространяться волны давления. Характер распределения напряжений и параметры зон различной степени деформации среды при моделировании удара сферического снаряда, показан на рис. 4. Радиус зоны максимального давления можно оценить по данным, представленным на рис. 5.

Сравнительный анализ количественных показателей, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований и численного моделирования, приведен в таблице.

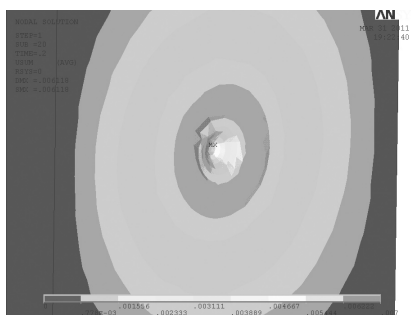


Рис. 4. Характер распределения напряжений, возникающих в ходе соударения, и параметры зон деформации

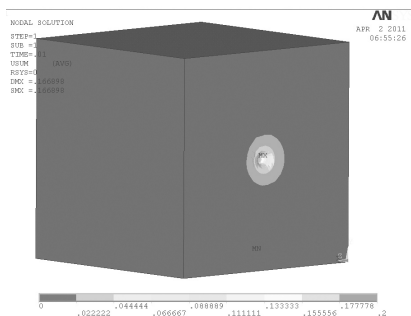


Рис. 5. Характер распространения максимальных напряжений в исследуемой среде

Таблиця

Параметры оценки травматического действия сферических пуль калибра 9 мм

Вид исследования	Скорость встречи с целью, м/с	Глубина полости, мм	Кинетическая энергия, Дж	Допустимый радиус зоны травмы, мм
Эксперимент	292	21–23	25,6	0,08
Моделирование	292	17	25,6	0,15

Сравнение результатов натуральных экспериментов с данными численного моделирования показывает хорошее качественное совпадение. Расхождение в количественных результатах объясняется тем, что баллистический пластилин является не упругим, а вязкопластическим телом. Поэтому для совпадения количественных результатов требуется уточнить саму модель деформируемой среды. Проведенные исследования показали, что при сравнении величины напряжений, полученных при численном моделировании, с допустимыми напряжениями материала можно будет делать вывод о степени деформации и разрушении исследуемого материала, а в дальнейшем, исходя из физико-механических характеристик различных типов биологических тканей, оценить степень тяжести нанесенных повреждений и сделать вывод о вероятности нанесения проникающих ранений при тех или иных условиях стрельбы. Кроме того, численное моделирование физических процессов, сопровождающих попадание пули в преграду, позволяет получить достаточно большой объем данных с учетом широкого спектра внешних факторов и условий стрельбы, которые в ходе натуральных экспериментов получить либо слишком затруднительно, либо вообще невозможно.