

УДК 623.562.3:623.438.3.09

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НЕСИММЕТРИЧНОГО СОУДАРЕНИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА И ПРОТИВОТАНКОВЫХ СРЕДСТВ

И. Б. ЧЕПКОВ, д-р техн. наук (ЦНИИ вооружения и военной техники Вооруженных сил Украины, г. Киев)

Рассмотрен процесс функционирования элементов защитных устройств динамического типа, создающий условия неустойчивости кумулятивной струи при несимметричном соударении. Проведенный вычислительный эксперимент позволил определить направление и углы отклонения взаимодействующих кумулятивных струй. Показана возможность применения теории струйных соударений для описания функционирования защиты.

Розглянуто процес функціонування елементів захисних пристроїв динамічного типу, що створює умови так званої струмової нестійкості кумулятивного струменя у випадку несиметричного зіткнення. Проведений обчислювальний експеримент дозволив визначити напрямок і кути відхилення взаємодіючих кумулятивних струменів. Показано можливість застосування теорії струминних зіткнень для опису функціонування захисту.

Process of functioning of the dynamic type protection devices is considered that creates conditions of instability of cumulative jets at a non-symmetrical collision. The carried out computational experiment allowed determining direction and angles of deviation of the interacting cumulative jets. Possibility of using theory of the jet collisions for description of functioning of the protection is shown.

Эффективность использования образцов бронетанкового вооружения и техники существенно зависит от их защищенности, которая может быть достигнута путем совершенствования защитных устройств динамического типа (ЗУДТ). Техническая реализация ЗУДТ основывается на взаимодействии струйных течений кумулятивных струй как средства поражения, так и защиты, при этом сам процесс функционирования взрывной защиты заключается в создании условий неустойчивости противотанкового средства (ПТС) за счет соударения его с кумулятивными течениями защиты.

Согласно концепции взаимодействия струйных течений жестких кумулятивных струй как несжимаемых жидкостей [1], процесс функционирования ЗУДТ нового поколения может заключаться в создании условий так называемой токовой неустойчивости кумулятивной струи. Основываясь на данной кон-

цепции взаимодействия струйных течений жестких несжимаемых жидкостей и рассматривая последние как течение, воздействующее на боевой элемент ПТС, в настоящей работе исследуется несимметричное соударение кумулятивных струй.

Задача соударения струй, принадлежащая к числу классических, ранее решалась в ряде работ [2–4]. Наиболее полно теоретически изучено течение идеальной несжимаемой жидкости. Интерес к классической задаче несимметричного соударения струй вызван не только принципиальной возможностью получения численных оценок для таких течений, но и потребностями практики. В частности, и предлагаемая техника ЗУДТ нуждается в решении научной задачи, связанной с изучением поведения струйных течений в несимметричной постановке.

Следуя выводам работ [3, 5], в работе [1] приведена модель и решение задачи о столкновении плоских кумулятивных струй идеаль-

© И. Б. ЧЕПКОВ, 2009

ной несжимаемой жидкости под некоторым углом двух реальных плоских струй различной толщины. На пригодность применения данных моделей к описанию процесса функционирования защиты показывает не только принципиальная возможность получения решения для таких течений, но и результаты экспериментальных исследований, которые подкреплены техническими решениями [6, 7].

Механизм соударения двух кумулятивных струй (течений) заключается во взаимодействии струйных течений жестких несжимаемых жидкостей и характеризуется определением направлений струй, получаемых в результате соударения.

Изучение механизма соударения кумулятивных струй и кумулятивных течений экспериментальными методами затруднено из-за малой длительности процесса, невозможности наблюдения волновых процессов в взрывчатом веществе (ВВ), процессов деформирования и течения, а также поведения самой кумулятивной струи во время ее соударения и разрыва. В этой ситуации целесообразно заменить физический эксперимент численным, т. е. основные параметры соударения кумулятивных струй определять путем математического моделирования процесса их взаимодействия. Расчетные методики дают возможность получать априорную экспертную оценку того или иного технического решения с точки зрения его работоспособности и эффективности, исследовать влияние параметров конструкции и физико-механических характеристик материалов ее элементов (в том числе и ВВ) на функционирование конструкции в целом, определять закономерности того или иного процесса, лежащего в основе конкретного инженерного решения.

Для проверки правильности соотношений, полученных в работе [1], а также выяснения границ применимости предложенных моделей проведен вычислительный эксперимент, цель которого — разработка методики процесса взаимодействия кумулятивных струй и оценка результатов их соударения, что позволит получить информацию об изменении во времени и в пространстве параметров движения и состояния элементов конструкции.

Накоплен весьма обширный объем экспериментальных данных о свойствах кумулятивных струй, реализуемых при взрыве заряда ВВ, что позволило установить многие очень важные закономерности поведения материалов в условиях взрывного и ударного нагружения. Стало очевидным, что вряд ли возможно исследование поведения и свойств деформируемых сред при их нагружении взрывом и ударом в широком диапазоне параметров нагружения и свойств среды только с помощью методов экспериментальных исследований, поскольку проведение экспериментов для всего спектра начальных условий требует, во-первых, немалых материальных затрат, а во-вторых, достаточно длительного времени на подготовку и проведение конкретного эксперимента. Кроме того, исследователем должны быть приложены немалые усилия для подтверждения достоверности и обеспечения повторяемости получаемых экспериментальных результатов.

При исследовании поведения кумулятивных течений с помощью расчетно-экспериментальных методов, основанных на совместном и (или) параллельном проведении физического эксперимента и математического моделирования, установлено, что надежность и точность прогнозирования свойств и поведения исследуемой среды повышаются.

Последовательность действий при использовании расчетно-экспериментальных методов исследований кумулятивных течений можно описать следующим образом. Вначале с максимальной возможной точностью исследуют свойства изучаемой среды в экспериментально доступной области изменения внешних условий нагружения. Полученные данные используют для выбора начальных численных значений исходных параметров и верификации математической модели.

Изучение процессов взаимодействия струй проводили как в двух- (плоская задача деформирования, осесимметричная задача), так и в трехмерной (с учетом симметрии конструкции относительно координатных плоскостей) постановке. Отметим, что сквозной расчет процесса на основе численных методов механики сплошных сред от момента форми-

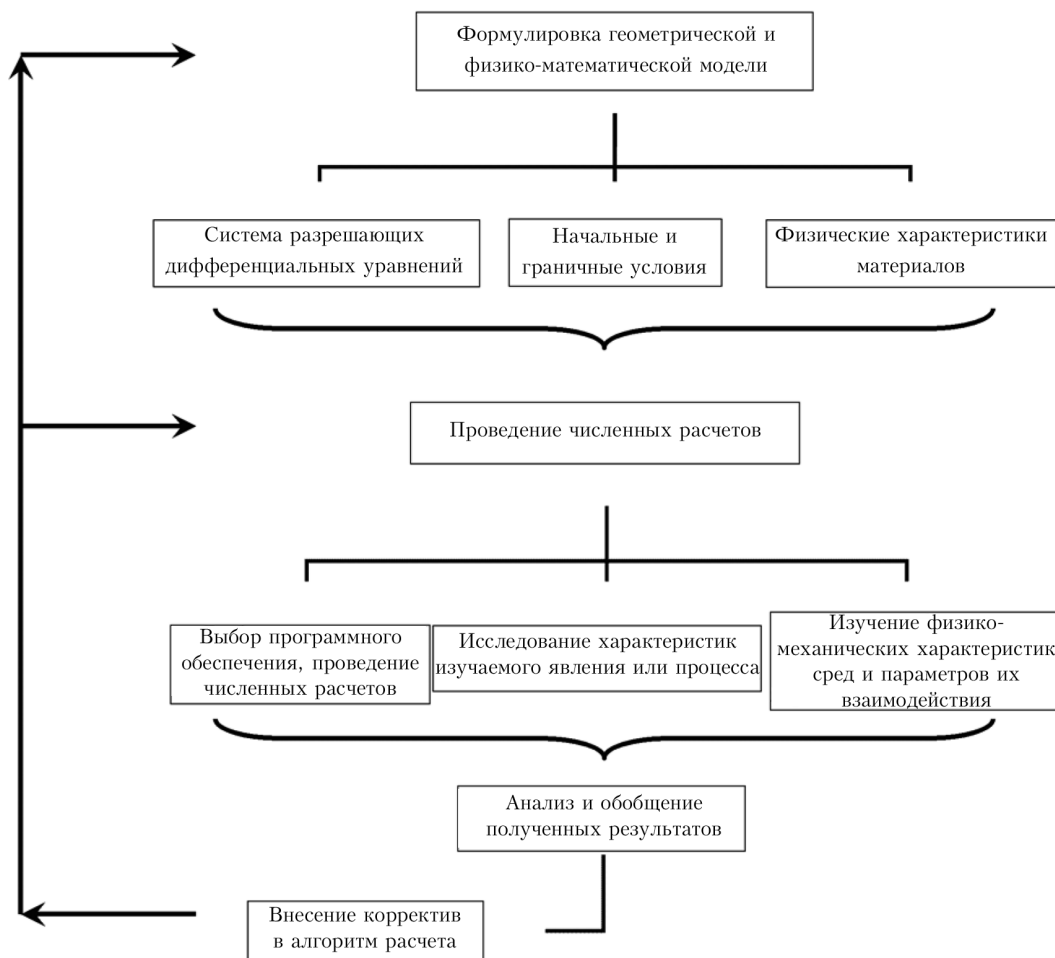


Рис. 1. Принципиальная схема проведения вычислительного эксперимента

рования струи до окончания взаимодействия сопряжен с определенными трудностями, вызванными, прежде всего, несовершенством физико-математических моделей разрушения струи и значительной трудоемкостью вычислительного процесса.

Основные этапы вычислительного эксперимента приведены на рис. 1 по аналогии с физическим экспериментом.

Критерием, определяющим достоверность результатов, которые получены численными расчетами, а также подтверждающим адекватность сформулированной физико-математической модели реальному процессу, является соответствие расчетных и экспериментальных данных.

В приведенных в работе [1] фрагментах аналитического решения соотношения и зависимости представили исходные данные для построения модели, выбора типа элементов,

создания геометрической модели и задания условий взаимодействия.

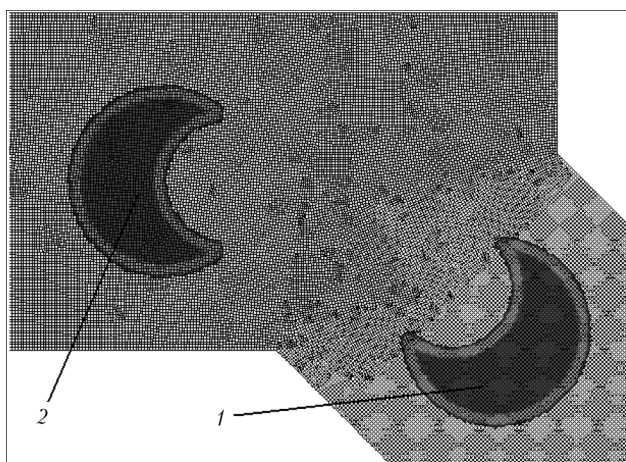


Рис. 2. Геометрическая (конечно-элементная) модель исследования соударения струй под углом 135° : 1 — кумулятивный заряд, моделирующий заряд защиты; 2 — кумулятивный заряд, моделирующий заряд ПТС

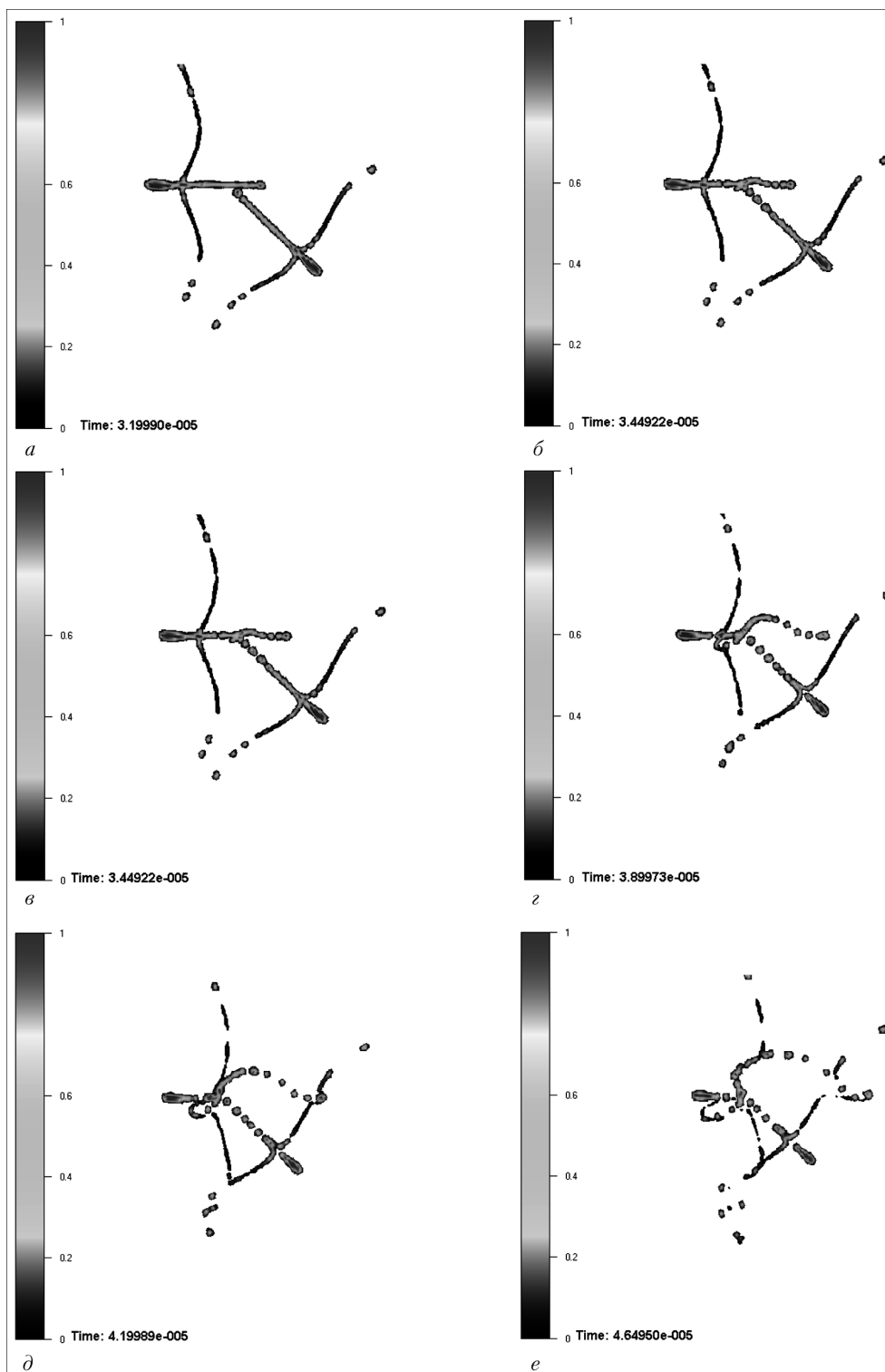


Рис. 3. Результаты соударения двух кумулятивных струй в различные моменты времени при угле соударения $\alpha = 135^\circ$

Для оценки предложенной методики проведен вычислительный эксперимент, целью которого являлось определение направлений и углов отклонения взаимодействующих струй. Первым этапом работы явилось моде-

лирование процесса образования кумулятивных струй, участвующих во взаимодействии зарядов (аналогично работе [8]), вторым — моделирование процесса соударения. При решении задачи использовали многокомпо-

нентный эйлеров подход. Задачу решали в упрощенной постановке. Предполагали, что в начальный момент времени все части системы находятся в ненапряженном состоянии, начальная скорость всех частей системы равна нулю. В качестве объекта исследования выбрана геометрическая и физико-математическая модель, моделирующая несимметричное соударение кумулятивных струй (рис. 2).

В качестве моделей кумулятивных зарядов приняли кумулятивную тонкостенную оболочку в виде корпуса с образующей выемкой и наполненную ВВ. Материал облицовки однородный, изотропный (медь марки М1), заряд ВВ — из ТНТ. Для описания поведения меди использована модель Джонсона–Кука.

Построение модели и формирование струй, полученных в результате численного моделирования, производили с помощью рекомендаций и программного обеспечения [9], предназначенного для моделирования процессов удара и взрыва. Конечно-элементные модели были созданы и записаны в формате ключевых слов. В настоящем численном эксперименте исследованы процессы соударения струй под разными углами. Некоторые модели, используемые в расчетах, показаны на рис. 2.

Сквозной расчет функционирования кумулятивных зарядов осуществляли интегрированием соответствующей системы уравнений (явным методом) с опцией автоматического выбора шага интегрирования. Основные этапы аналогично рассмотренным представлены в работе [8]. В результате моделирования процесса с различными углами соударения (рис. 3) были определены направления и угол отклонения кумулятивных струй. Измеренные углы отклонения соударяющихся струй хорошо согласуются с расчетом, проведенным в [1]. Сумма углов отклонения при измерении на рис. 3 оказалась приблизительно равной углу соударения, а максимальное расхождение результатов соударений в различные моменты времени в процентном соотношении не превышало 10 %.

Сравнительный анализ данных численного эксперимента по соударению кумулятивных струй и полученные рентгеновские фотографии в работе [1] подтверждают соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Оценка результатов моделирования, осуществляемая путем качественного сопоставления полученных в результате математического моделирования форм кумулятивных струй, после соударения с результатами их экспериментального определения подтвердила адекватность исследуемых процессов.

Таким образом, построенные модели соударения струй и результаты численного моделирования дают возможность получать априорную экспертную оценку технической реализации ЗУДТ нового поколения с точки зрения его работоспособности и эффективности. Разработанная методика вычислительного эксперимента процесса соударения кумулятивных струй позволяет получить информацию об изменении во времени и в пространстве параметров движения, а также о состоянии элементов конструкции, исследовать влияние ее параметров и физико-механических характеристик материалов на функционирование конструкции в целом, определить закономерности процессов, лежащих в основе инженерных решений. ♣

1. Чепков И. Б. Анализ методов построения защитных устройств динамического типа и возможностей их технической реализации // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2008. — № 4. — С. 30–35.
2. Биркогоф Г., Сарантанелло Э. Струи, следы и каверны. — М.: Мир, 1964. — 467 с.
3. Тришин Ю. А. О несимметричном соударении струй // Механика быстропотекающих процессов. — 1985. — Вып. 73. — С. 116–121.
4. Бай Ши-и. Теория струй. — М.: Физматиз, 1960. — 326 с.
5. Милн-Томсон Л. М. Теоретическая гидродинамика. — М.: Мир, 1964. — 655 с.
6. Пат. 41788 Україна. Пристрій для захисту перешкод від надшвидкісних засобів ураження / І. Б. Чепков, В. О. Хитрик, Л. О. Волгин. — Заявл. 28.04.2001; Опубл. 17.09.2001; Бюл. № 8.
7. Пат. 72781 Україна. Пристрій для захисту перешкод від високошвидкісних засобів ураження / І. Б. Чепков, М. Д. Борисюк та ін. — Заявл. 14.06.2002; Опубл. 15.04.2005; Бюл. № 4.
8. Чепков И. Б., Корбач В. Г. Численное моделирование параметров кумулятивных зарядов боеприпасов повышенной точности // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2005. — Вып. 1(15). — С. 14–17.
9. Лавриков С. А. Программный комплекс для моделирования процессов контактного взаимодействия твердых тел // Артиллерийские ствольные системы, боеприпасы, средства артиллерийской разведки и управления огнем: Сб. тр. 2 Международ. конф., ГНТЦ АСВ, Киев, Украина, 27–29 окт. 1998. — С. 36–51.