

Экспериментальное исследование влияния канала малого диаметра на пробивное действие кумулятивной струи

© С.В. Федоров, А.В. Бабкин, С.В. Ладов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Проведены эксперименты по определению влияния канала малого диаметра, проходимо кумулятивной струей перед взаимодействием с преградой, на ее пробивное действие. Данные опыты проводились применительно к исследованию особенностей движения кумулятивной струи через полость удлиненного соленоида при электромагнитной стабилизации процесса растяжения струи. С этой целью перед кумулятивным зарядом размещали стальные втулки с каналом, что позволяло моделировать механические факторы, воздействующие на кумулятивную струю при ее движении в воздушном канале. Для реализованных в экспериментах условий установлено, что при отсутствии столкновений кумулятивной струи со стенками канала глубина пробития уменьшается незначительно (в пределах 5 %). В опытах, в которых на поверхности канала имелись следы контактного взаимодействия с кумулятивной струей, зафиксировано существенное снижение пробивного действия.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, кумулятивная струя, стальная втулка, канал, электромагнитное воздействие, пробивное действие, моделирование, эксперимент

Введение. Известно, что осесимметричные кумулятивные заряды (КЗ), формирующие при взрыве высокоскоростные металлические кумулятивные струи (КС), обладают значительным пробивным действием [1–3]. Такие заряды используются как в военных целях (поражение бронетанковой техники, железобетонных укреплений и других сильно защищенных целей) [4], так и для решения технологических задач, связанных с пробитием отверстий и разрушением материалов, в строительстве, металлургии, нефтегазовой, горнодобывающей и других отраслях промышленности [5, 6].

В силу различных причин конструктивного и эксплуатационного характера при функционировании некоторых взрывных устройств с кумулятивными узлами возникает ситуация, когда сформировавшаяся КС должна пройти либо сквозь узкий канал в элементе конструкции, расположенном перед КС на пути ее движения, либо сквозь предварительно сделанную в преграде пробоину (глухую или сквозную). Подобная ситуация типична, например, для тандемных кумулятивных боеприпасов, содержащих два соосно расположенных один за другим КЗ [4, 7]. В этом случае, если первым должен срабатывать задний заряд, для обеспечения нормальной работы боеприпаса в его

конструктивную схему включают элемент в виде трубки с узким каналом, соединяющим полости облицовок заднего и переднего КЗ. По этому каналу КС заднего заряда движется к преграде. Движение струи по узкому каналу может быть реализовано в тандемном боеприпасе и после срабатывания первым переднего заряда, когда в сформированную им пробойну (каверну) попадает и движется в ней КС заднего заряда.

Очевидно, что при движении в канале малого диаметра, сравнимого с поперечным размером КС, могут проявляться факторы, способные оказать влияние на пробивную способность струи. Работы, посвященные изучению этого явления, проводились ранее сотрудниками ряда отраслевых и академических организаций (А.С. Пономарев, М.В. Сорокин, В.Ф. Минин, В.В. Мусатов, В.М. Маринин, А.В. Коновалов и др.). В отличие от их исследований, в представленной работе влияние на пробивное действие КС ее движения сквозь узкий канал рассматривается применительно к реализации нетрадиционного способа увеличения эффективной длины КС путем воздействия на нее электромагнитного поля [2, 8–10].

Идея использования такого воздействия для стабилизации растяжения металлической КС, предложенная учеными Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения РАН и МГТУ им. Н.Э. Баумана, заключается в создании в материале КС при ее деформировании в магнитном поле дополнительных электромагнитных усилий, способных замедлить развитие естественной пластической неустойчивости [11–13]. При этом воздействовать на КС магнитное поле должно во время ее прохождения через полость соленоида, располагаемого перед КЗ на пути движения струи [11]. Проведенные оценки показали, что на заметное проявление стабилизирующего эффекта можно рассчитывать при довольно высокой магнитной индукции воздействующего на КС поля (несколько десятков тесла) [12]. Создание магнитных полей такой интенсивности в больших объемах сопряжено со значительными энергозатратами, в связи с чем возникает задача минимизации диаметра соленоида, а также проблема свободного пропуска КС через узкий канал, что и является предметом исследования в настоящей статье.

Постановка эксперимента. Специфичность рассматриваемой задачи, в ходе решения которой потребовалась постановка экспериментов с изучением движения КС в воздушном канале малого диаметра, предопределила некоторые отличия реализуемых в них условий от условий ранее выполненных исследований (выбор диаметра и длины канала, удаление втулки с каналом от основания КЗ и др.). При проведении экспериментов важно было четко зафиксировать эффект влияния канала на КС с тем, чтобы впоследствии можно было отделить это влияние от эффекта воздействия на КС магнитного

поля. При ограничениях, накладываемых на достигаемый уровень магнитной индукции возможностями экспериментальной базы (в пределах 10 Тл), эти эффекты могли оказаться однопорядковыми.

К числу факторов механического влияния на КС при ее движении в узком канале относится прежде всего баллистическая ударная волна, генерируемая в воздухе головной частью КС. Очевидно, что за счет отражения от стенок канала параметры течения за фронтом этой волны могут существенно возрасти. Нельзя также исключить и возможность дополнительной «накачки» давления в канале за счет затекания в него продуктов детонации заряда взрывчатого вещества (ВВ). Наконец, если канал контактирует с поверхностью преграды, струя может подвергнуться воздействию потока микроосколков, образующихся в момент соударения ее головного элемента с преградой. Попадая внутрь канала и отражаясь от его стенок, эти осколки могут наносить боковые удары по струе и привести к ее частичному разрушению.

Необходимо отметить, что в реальных условиях в связи с невозможностью обеспечить движение КС строго вдоль оси канала воздействие на нее отмеченных факторов будет носить явно несимметричный характер. Кроме того, при достаточно малом диаметре канала боковое отклонение струи, обусловленное технологическими неточностями, может привести к ее «скользящему» столкновению со стенками канала.

Спрогнозировать, насколько существенным окажется влияние «канальных» эффектов на пробивное действие КС, довольно сложно, причем не только в количественном плане, но и в отношении того, в какую сторону оно изменится: увеличится или уменьшится. Несмотря на то что отрицательное влияние канала представляется гораздо более вероятным, при исследовании этой проблемы отмечалась возможность достижения и положительного результата. Такое предположение основывалось на представлении о «фокусирующей» роли канала. По-видимому, характер влияния канала на пробитие КС в значительной степени зависит от конкретных условий, реализуемых в экспериментах.

В проведенных экспериментах по определению пробивного действия КС, прошедшей узкий канал (рис. 1), применялся лабораторный КЗ 1 диаметром 50 мм с медной конической облицовкой с углом раствора 50° , устанавливаемый на расстоянии F от преграды. В качестве материала преграды 4 использовалась сталь. Перед КЗ соосно с ним располагалась стальная цилиндрическая втулка 3 со сквозным каналом, внешний диаметр которой равен диаметру КЗ. Предполагалось, что по сравнению с другими материалами, из которых могут изготавливаться корпуса соленоидов (текстолит, пластмасса), в стальных втулках, ввиду их более высокой прочности и жесткости, «канальные» эффекты должны проявляться в наибольшей степени.