

О вкладе в пробитие преграды хвостовых элементов кумулятивных струй

© С.В. Федоров

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

По данным расчетов, пробивное действие кумулятивных зарядов можно существенно усилить, например, на 40...50 % в случае преграды из высокопрочной стали, если за счет повышения точности их изготовления уменьшить нижний порог скорости, при котором прекращается проникание хвостовых участков кумулятивной струи в преграду. Для экспериментального подтверждения этих данных предложено подробно исследовать пробивную способность хвостовых участков кумулятивных струй с использованием стержней-отсекателей из материала с высокой плотностью. Эти стержни, предназначенные для устранения более скоростной части струи, располагают на небольшом расстоянии от кумулятивного заряда (менее его диаметра). На основании численного моделирования в рамках двумерной осесимметричной задачи механики сплошных сред спрогнозированы возможные параметры стержней-отсекателей для получения уединенных «хвостов» кумулятивных струй с различными скоростями лидирующего элемента.

Ключевые слова: взрыв, кумулятивный заряд, кумулятивная струя, пробивное действие, критическая скорость, эффективная скорость, стержень-отсекатель

Введение. Современные кумулятивные заряды (КЗ) с медной конической облицовкой кумулятивной выемки при использовании прецизионной технологии их изготовления способны пробивать высокопрочные стальные преграды толщиной примерно $10d_0$ (d_0 — диаметр заряда) [1–3]. Преграда пробивается высокоскоростной кумулятивной струей (КС), формирующейся при схлопывании облицовки под действием продуктов детонации заряда взрывчатого вещества [4, 5]. Сформировавшаяся КС при движении в свободном полете вследствие существующего в ней градиента осевой скорости сначала растягивается с сохранением сплошности, а затем по причине развития пластической неустойчивости распадается на множество отдельных, уже недеформирующихся (безградиентных) элементов [6–8]. Распределение скорости по длине КС обычно близко к линейному при скорости «головы» струи на уровне 10 км/с. К основным факторам, влияющим на пробивное действие КС при условии ее идеальной прямолинейности, относятся плотности материалов струи и преграды, прочностные свойства преграды и длина струи [2, 3].

Технологические погрешности изготовления КЗ, такие, например, как разнотолщинность облицовки в окружном направлении, некруглость поперечных сечений облицовки, разноплотность заряда взрывчатого вещества, смещение инициирующего узла от оси заряда и т. п.,

приводят к тому, что участки КС в момент формирования при схлопывании облицовки приобретают импульс в боковом (от оси заряда) направлении [2, 9–11]. Как следствие, происходит снижение пробивной способности КС, так как ее участки из-за бокового дрейфа отклоняются от строго соосного следования друг за другом (струи искривляется). В результате участки, находящиеся ближе к «хвосту», могут столкнуться со стенками отверстия в преграде, пробитого предыдущей частью струи, не достиг его дна и не проучаствовать в дополнительном углублении пробойны [12–15].

Для обеспечения высокого пробивного действия КЗ необходимо повышать уровень их прецизионности, что приводит к существенному удорожанию технологического процесса изготовления зарядов. В то же время ясно, что существует предельно возможная глубина пробития преграды, которая уже не может быть увеличена путем дальнейшего повышения точности изготовления КЗ. Предельно возможное пробитие КЗ обеспечивается в том случае, когда созданы условия для участка в углублении пробойны всеми способными к этому участками КС. Однако потенциальная пробивная способность различных участков КС неодинакова, и для хвостовых участков со скоростями ниже 3...4 км/с она существенно зависит от их скорости, снижаясь с уменьшением последней [2]. Поэтому для рационального выбора точности изготовления КЗ необходима информация о вкладе в общую глубину пробития преграды участков КС с различными скоростями.

Информация о пробивной способности хвостовых участков КС необходима и при выборе рациональных режимов внешних воздействий на КЗ, которые могут осуществляться на различных стадиях его функционирования и быть направлены на управление процессом распада КС в целях как снижения, так и повышения ее пробивного действия. К числу таких воздействий относятся, например, нагрев облицовки перед подрывом КЗ для повышения пластичности ее материала [16], а также электромагнитные воздействия в форме пропускания по КС электрического тока для ее преждевременного разрушения [17, 18] или в форме создания аксиального магнитного поля либо на пути движения струи для стабилизации ее растяжения и увеличения предельного удлинения [19, 20], либо в облицовке КЗ перед его подрывом, за счет чего, в зависимости от интенсивности поля, возможно достижение как положительного, так и отрицательного эффекта относительно глубины пробития преграды [21–23].

Цель настоящей работы — выбор и обоснование метода экспериментального определения пробивной способности хвостовых участков КС.

Эффективная и критическая скорости кумулятивной струи. При экспериментальных исследованиях пробивного действия различных участков КС на определенном удалении F от КЗ располагают

преграду толщиной h_i (рис. 1), составленную из отдельных пластин относительно небольшой толщины, между которыми устанавливают электроконтактные датчики. С их помощью определяют время пробития каждой пластины и, соответственно, скорость проникания КС при пробитии пластин, находящихся на различном удалении от лицевой поверхности преграды.

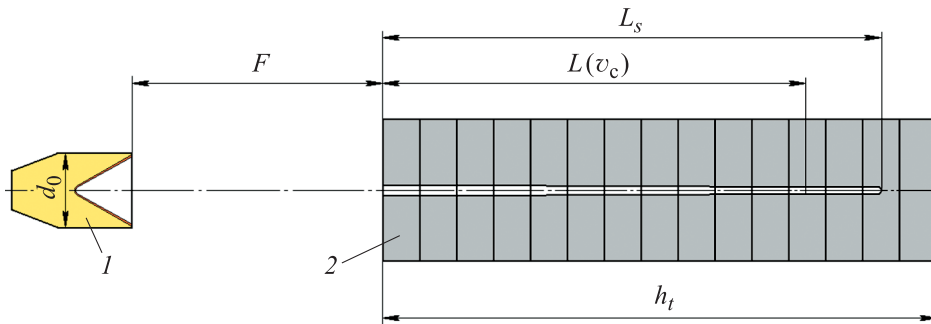


Рис. 1. Схема экспериментов по определению пробивного действия кумулятивного заряда:

1 — кумулятивный заряд; 2 — преграда из пластин с размещенными между ними электроконтактными датчиками; L_s — полная глубина проникания в стандартных условиях

Скорость струи затем восстанавливается по скорости проникания ее участков, обычно на основе модифицированного уравнения Бернулли [2], с пренебрежением прочностными свойствами материала КС (прочность материала струи обычно существенно меньше прочности преграды), приводящего к следующей взаимосвязи между указанными скоростями:

$$v = u + \sqrt{u^2/\gamma + v_{cr}^2}. \quad (1)$$

Здесь v — скорость участка КС; u — скорость проникания этого участка; γ — параметр, характеризующий соотношение плотностей материалов струи ρ_j и преграды ρ_t , $\gamma = \rho_j/\rho_t$; v_{cr} — критическая скорость струи, определяемая с использованием динамической твердости преграды H_d по формуле

$$v_{cr} = \sqrt{2H_d/\rho_j}, \quad (2)$$

и соответствующая скорости, при которой проникание КС прекращается вследствие прочностного сопротивления преграды.

По результатам проведения экспериментов в указанной постановке задачи может быть определена зависимость $L(v)$, где L — глубина пробития преграды частью КС со скоростями, которые выше