**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ АЛИСОНА-ВИТАЛИ И ТИТОВА-МАРИНИНА ПРИ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА РАСТЯЖЕНИЯ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ**

**Курепин А.Е.**

ОАО «Государственный научно-исследовательский институт

машиностроения им. В.В. Бахирева»

606002, пр.Свердлова, 11а, г.Дзержинск, Нижегородской обл.

niimash@mts-nn.ru

 После создания гидродинамической теории кумуляции, объяснившей явление формирования кумулятивной струи (КС) и пробития ею преград, возникла необходимость расчета процесса растяжения КС во время ее движения к цели.

 Для описания этого процесса применяют две модели. За рубежом разработана так называемая модель «виртуального источника», впервые предложенная в 1957 году [1] и сформулированная в 1963 году в [2] в виде нескольких гипотез, согласно которым предполагается, что на Х–Т диаграмме процесса растяжения КС существует начальная точка, где ее длина равна нулю, и из которой происходит ее автомодельное удлинение. При этом считается, что в момент времени *Tf*, КС одновременно по всей длине делится на фрагменты. Образовавшиеся фрагменты больше не растягиваются и движутся со скоростями, которыми они обладали в момент разрыва. Модель названа по фамилиям ее разработчиков F.E. Allison и R.Vitaly.

В этой модели максимальную эффективную длину КС (*Lf*), способную пробить преграду, можно определить по формуле:

 $L\_{f}=\left(V\_{j}^{n}-V\_{c}\right) T\_{f}$, (1)

где  - скорость головной части КС; *Vc* - минимальная скорость КС, при которой преграда еще пробивается. Для идеально изготовленного КЗ величина *Vc* для КС, фрагменты которой имеют только осевую составляющую скорости, зависит от прочности материала преграды и плотности материала КС. Для реального КЗ величина *Vc* определяется радиальной составляющей скорости хвостовых фрагментов КС, размером входного отверстия и дальностью до преграды.

Для определения времени разрыва КС было предложено несколько аналитических зависимостей. Среди наиболее известных полуэмпирических формул можно выделить зависимости, предложенные в работах E.Hirsh [3] и G.Pfeffer [4]:

 $T\_{f}=\frac{2r\_{0}}{V\_{pl}}$ [3], (2)

 $T\_{f}=\frac{1.4}{η\_{0}}+48.5\frac{r\_{0}}{C\_{0}}$ [4], (3)

где *r*0 – радиус КС в момент начала ее растяжения, $V\_{pl}$ – имеющая размерность скорости и зависящая от материала КС эмпирическая величина, *η0* – начальная скорость деформации материала КС, а *с0* – скорость звука в материале КС.

На основе этой модели DiPersio, Simon, и Merendino в 1964 г получили аналитические формулы, позволяющие рассчитать глубину пробития преграды растягивающейся КС (так называемые зависимости DSM [5]).

 Отечественные исследователи предложили и развивали модель, в которой начальная форма КС имеет вид цилиндра или усеченного конуса, длина которого (*L0*) в начальный момент равна длине образующей облицовки. В процессе движения длина КС увеличивается. Причиной растяжения является наличие градиента скорости вдоль КС. Процесс растяжения завершается после достижения величины предельного удлинения.

 $n\_{пр}=\frac{L\_{f}}{L\_{0}}$ (4)

Впервые на то, что величина предельного удлинения КС зависит линейно от величины градиента скорости вдоль КС, указал в своей кандидатской диссертации В.М. Титов в 1960 г. Зависимость предельного удлинения КС от градиента скорости вдоль КС исследовалась также П.И. Уляковым (1964 г.), Ю.И. Фадеенко и Л.А. Мержиевским (1968 г.). Пропорциональность величины предельного растяжения КС градиенту скорости и диаметру КС отметили в 1971 г Л.Л.Турок и А.А.Хоничев. Окончательный вид этой зависимости разработал В.М.Маринин (1977 г.), который представил величину предельного удлинения КС $ n\_{пр}$ в виде (5):

$n\_{пр}=n\_{1}+n\_{2}r\_{0}\frac{dV}{dX}$, (5)

где $\frac{dV}{dX}=\frac{\left(V\_{j}^{n}-V\_{j}^{t}\right)}{L\_{0}}$ – начальное значение градиента скорости по длине КС, *r0* и *L0* – начальные радиус и длина КС; *n1, n2* – экспериментальные коэффициенты, характеризующие материал КС. При этом для ряда металлов были определены значения коэффициентов *n1, n2*. С тех пор вид зависимости (5) уже не менялся, а по мере необходимости при замене материала кумулятивной облицовки пополнялся набор коэффициентов, определяющих предельное удлинение КС [6].

 Если придерживаться неформальных традиций присваивать моделям физических процессов две фамилии – человека, впервые предложившего модель, и давшего ее окончательную формулировку, эту модель можно назвать моделью Титова – Маринина.

 Совместное применение моделей Алисона – Витали и Титова – Маринина позволяет определять время разрыва КС и ее эффективную длину без введения эмпирических формул, определяющих время фрагментации. Величина времени разрыва КС и зависящая от нее эффективная длина КС в (1) будет определяться по значению констант *n1, n2*, начальному радиусу и длине КС:

 $T\_{f }= \frac{L\_{f}}{\left(V\_{j}^{n}-V\_{c}\right)}\frac{L\_{0}}{L\_{0}}=\frac{L\_{0}}{\left(V\_{j}^{n}-V\_{c}\right)}n\_{пр}=\frac{L\_{0}}{\left(V\_{J}^{n}-V\_{c}\right)}\left(n\_{1}+n\_{2}r\_{0}\frac{\left(V\_{j}^{n}-V\_{j}^{t}\right)}{L\_{0}}\right)$. (6)

 Для оптимально спроектированного кумулятивного заряда значение $V\_{c}≈V\_{j}^{t}$. В результате формулу (6) можно представить в более простом виде, а именно:

 $T\_{f}=\left(\frac{L\_{0}n\_{1}}{\left(V\_{j}^{n}-V\_{j}^{t}\right)}+n\_{2}r\_{0}\right)$, (7)

что практически совпадает с видом полуэмпирической зависимости (3).

 В докладе дано сравнение результатов оценок времени фрагментации КС, полученных при использовании разных моделей процесса ее растяжения.

Список литературы

1. Allison F.E and Bryan G.M. Cratering by a Train of Hypervelocity Fragments. / Proc. Second Hypervelocity Impact Effects Symposium, vol.1, p.81, December 1957.

2. Allison F.E and Vitaly R. BRL, Report №1184, 1963.

3. Hirsh E. A Formula for the Shaped Charge Break-up Time // Propellants and Explosives. – 1979. – V.4, №5. – Р.89 – 94.

4. Pfeffer G. Determination par Simulation Numeriques de L`etat et des Lios de Fragmentation des Jets de Charges Creusses / Proc. 5th Int. Symp. on Ballistics. Toulouse, France, April 16 – 18, 1980.

5. W.P. Walters and J.A. Zukas Fundamentals of Shaped Charges. – JOHN WILEY & SONS, New York. – 1989. – 398p.

6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд.3-е, переработанное. В 2т Т.2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.- 656с.