

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

В.А. Велданов

ПРИКЛАДНАЯ ТЕОРИЯ УДАРА

*Допущено учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по специальности
«Средства поражения и боеприпасы» направления
подготовки дипломированных специалистов
«Оружие и системы вооружения»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2012

УДК 531.58(075.8)

ББК 22.213

В27

Рецензенты: *А.Н. Чуков, М.С. Воротилин, Н.А. Гладков*

Велданов В.А.

В27 Прикладная теория удара : учеб. пособие / В.А. Велданов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 42, [2] с. : ил.

Рассмотрены физическая модель, математическая постановка, алгоритм и экспериментально-теоретические инженерные методики решения на персональном компьютере задачи проникания недеформируемых тел в грунты и горные породы и задачи проникания деформируемых срабатывающих ударников в металлические преграды.

Для студентов 4-го и 5-го курсов, обучающихся по специальности «Средства поражения и боеприпасы», изучающих дисциплины «Действие средств поражения и боеприпасов», «Проектирование средств поражения и боеприпасов», «Основы конечной баллистики». Пособие также может быть использовано при проведении практических занятий и лабораторных работ.

УДК 531.58(075.8)

ББК 22.213

ВВЕДЕНИЕ

Для проектирования изделий проникающего типа (в дальнейшем — тел): артиллерийских снарядов, проникающих модулей ракет и космических аппаратов, пулевых перфораторов, применяемых при добыче нефти, пенетраторов для исследования грунтов Земли и других планет Солнечной системы — требуется знание характеристик их движения (траектории, скорости, ускорения) при проникании.

При движении тел в сопротивляющихся средах типа грунта и бетона имеют место такие особенности, как криволинейность и пространственность траектории, вращение вокруг продольной и поперечной осей, изменение осевых и боковых ускорений (перегрузок) при проникании. Эти особенности в полной мере могут быть учтены только при решении уравнений пространственного движения твердого тела с использованием экспериментальной информации при определении силового воздействия сопротивляющейся среды на тело.

Высокоскоростному взаимодействию современных бронебойных снарядов с броневыми преградами присущи такие особенности, как значительная пластическая деформация и срабатывание — уменьшение массы корпуса в процессе проникания. Эти особенности описываются решением, в основе которого лежит уравнение Бернулли, модифицированное В.П. Алексеевским и А. Тейтом введением учета прочностных характеристик материала преграды (динамической твердости и удельной работы вытеснения объема) и ударника (динамического предела текучести).

С помощью рассматриваемых в пособии методик студенты должны научиться определять характеристики пространственного движения недеформируемых тел в преградах типа грунта, а также характеристики проникания деформируемых срабатывающих тел в металлические преграды.

1. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПРОНИКАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В СОПРОТИВЛЯЮЩУЮСЯ СРЕДУ

1.1. Особенности процесса взаимодействия тел с сопротивляющейся средой

Характер движения тел в сопротивляющейся среде во многом определяется условиями их встречи с ней. Как правило, угол встречи α_v — угол между вектором скорости и нормалью к поверхности преграды (рис. 1) — не равен нулю. При этом и угол нутации δ_0 (угол атаки, т. е. угол между вектором скорости и осью тела) обычно отличается от нуля и не находится в плоскости полета тела, а угол ψ_0 прецессии, определяющий положение плоскости угла атаки в пространстве, может иметь любые значения в диапазоне $0^\circ \dots 360^\circ$. Условия встречи могут характеризоваться также

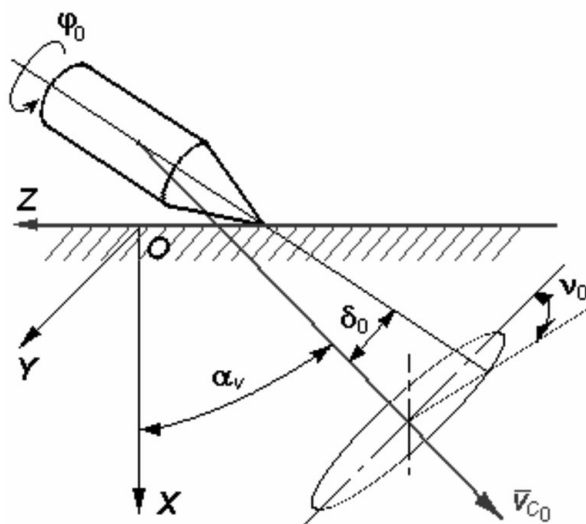


Рис. 1. Встреча тела с преградой

наличием угловых скоростей нутации, прецессии и собственного вращения. Таким образом, сопротивление среды в различных точках поверхности проникающего тела оказывается неодинаковым. В результате вектор результирующей силы сопротивления среды не совпадает с осью симметрии тела, траектория его движения искривляется и представляет собой, как правило, пространственную кривую.

Появление несимметричного распределения сил сопротивления по поверхности проникающего тела, а также перемещение к его вершине точки приложения равнодействующей силы сопротивления вследствие инерционного движения среды и образования кавитационной полости приводят к развороту тела в среде. Этот разворот сопровождается появлением ненулевых углов между осью тела и касательной к траектории (углов атаки при движении в сопротивляющейся среде) и угловых скоростей вокруг экваториальных осей. На искривление траектории и разворот тела существенно влияет многослойность или разнесенность отдельных слоев сопротивляющейся среды.

1.2. Физическая модель пространственного проникания

Пространственное проникание тела представляет собой движение тела с шестью степенями свободы и может быть описано уравнениями движения твердого тела, записанными для общего случая.

Движение тела описывается уравнениями движения центра масс тела C и вращательного движения тела вокруг него:

$$m \frac{d\vec{V}_C}{dt} = \vec{F}; \quad (1.1)$$

$$\frac{d\vec{K}_C}{dt} = \vec{M}, \quad (1.2)$$

где m — масса тела; $\vec{V}_C$, $\vec{K}_C$ — скорость центра масс тела C и его кинетический момент; $\vec{F}$, $\vec{M}$ — сила сопротивления среды и ее момент относительно центра масс тела C .

Для решения уравнений (1.1) и (1.2) воспользуемся следующими декартовыми системами координат (рис. 2):

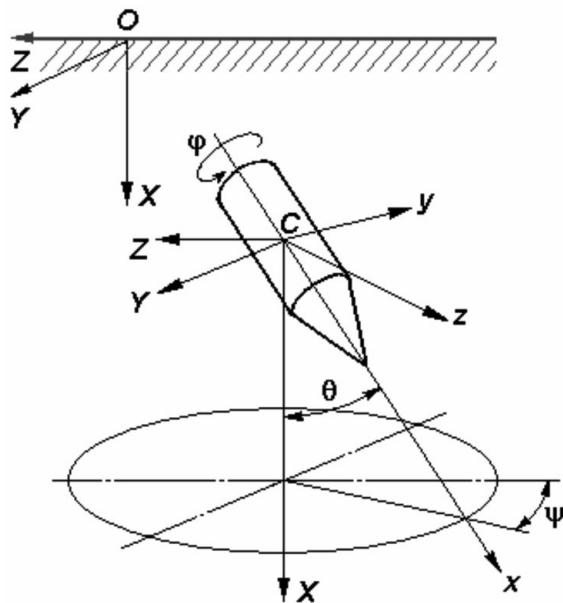


Рис. 2. Неподвижная и связанная системы координат

$OXYZ$ — неподвижная система с началом координат на поверхности преграды;

$Cxyz$ — центральная система, связанная с телом, имеющая начало координат в центре масс тела и ось Cx , совпадающую с осью симметрии тела.

Система координат $OXYZ$ необходима для определения положения тела в преграде, система $Cxyz$ — для определения силовых характеристик со стороны среды при проникании.

Уравнения (1.1) и (1.2) образуют систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которая может быть решена численным интегрированием, например, методом Рунге — Кутты. Силовые факторы $\vec{F}$ и $\vec{M}$, вызванные сопротивлением грунта, определяют интегрированием выражений нормального σ_n и касательного τ_n удельных сопротивлений прониканию по всей поверхности тела, учитывая возможность того, что часть поверхности тела может не иметь контакта со средой:

$$\vec{F} = \int_{S_k} (\sigma_n \vec{n} + \tau_n \vec{\tau}) ds, \quad (1.3)$$

$$\vec{M} = \int_{S_k} [\vec{\rho}, (\sigma_n \vec{n} + \tau_n \vec{\tau})] ds, \quad (1.4)$$

где S_k — площадь поверхности тела, находящейся в контакте с грунтом; $\vec{n}$, $\vec{\tau}$ — единичные векторы соответственно нормали и касательной в рассматриваемой точке поверхности тела; ds — элементарная площадка в окрестности рассматриваемой точки; $\vec{\rho}$ — радиус-вектор рассматриваемой точки поверхности тела относительно его центра масс C .

Для определения силовых факторов необходимо знать распределение нормального σ_n и касательного τ_n удельных сопротивлений среды по поверхности проникающего тела. Независимо от его формы удельные сопротивления σ_n и τ_n в какой-либо точке его поверхности, находящейся в контакте с преградой, являются функциями физико-механических свойств среды и вектора $\vec{V}_n$ — проекции скорости $\vec{V}$ (рис. 3) рассматриваемой точки на вектор нормали к поверхности тела в этой точке. В общем виде эти функции для большинства грунтов записывают одинаково:

$$\begin{aligned} \sigma_n &= AV_n^2 + BV_n + C; \\ \tau_n &= \mu \sigma_n, \end{aligned} \quad (1.5)$$

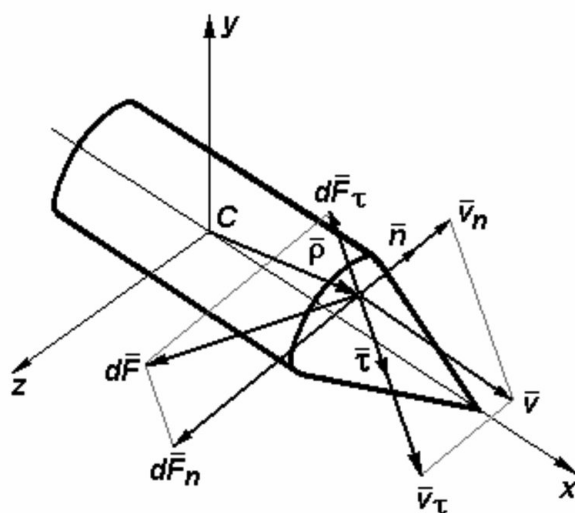


Рис. 3. Пространственная схема скорости точки поверхности тела и элементарные силы сопротивления в ее окрестности

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПРОНИКАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В СОПРОТИВЛЯЮЩУЮСЯ СРЕДУ	4
1.1. Особенности процесса взаимодействия тел с сопротивляю- щейся средой	4
1.2. Физическая модель пространственного проникания	5
1.3. Характеристики сопротивления среды прониканию	8
2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОСТРАН- СТВЕННОГО ПРОНИКАНИЯ	18
3. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОНИКАНИЯ	21
3.1. Подготовка исходных данных	21
3.2. Порядок работы с программой расчета	22
3.3. Контрольные вопросы	27
4. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ ПРОНИКАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛ В СОПРОТИВЛЯЮЩУЮСЯ СРЕДУ	28
4.1. Особенности процесса взаимодействия деформируемых тел с сопротивляющейся средой	28
4.2. Физическая модель прямолинейного проникания	28
5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРОНИКАНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТЕЛ	31
6. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОНИКАНИЯ ДЕФОРМИ- РУЕМОГО УДАРНИКА	32
6.1. Ввод исходных данных и порядок работы с программой ...	32
6.2. Расчеты и обработка результатов при проведении практических занятий	35
6.3. Контрольные вопросы	39
Литература	40