

Определение параметров проникания пенетраторов в грунтово-скальные преграды по различным эмпирическим зависимостям

© С.В. Федоров, В.А. Велданов, А.В. Дюков, Т.А. Гущина

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

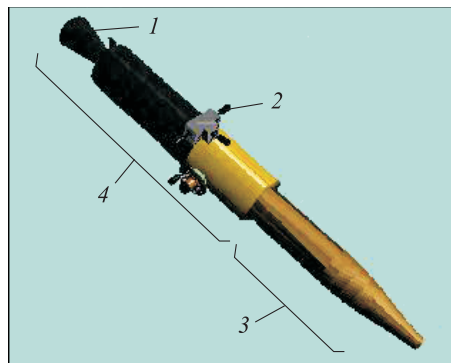
В ближайшей перспективе для исследования поверхностного слоя различных космических тел (планет, астероидов, комет) рассматривается применение высокоскоростных пенетраторов. Глубина проникания пенетраторов при выборе их конструктивных параметров может быть спрогнозирована на основании эмпирических зависимостей, являющихся результатом обработки экспериментальных данных по прониканию недеформируемых ударников в различные геоматериалы. Проведен сравнительный анализ таких зависимостей, полученных и используемых как российскими, так и зарубежными исследователями. Для исследовательского модуля-пенетратора выполнены оценки глубины его проникания в геоматериалы с контрастными прочностными свойствами и испытываемой им при этом перегрузки при начальных скоростях взаимодействия в диапазоне 100...1000 м/с. Получено, что при скорости 1000 м/с глубина проникания исследовательского модуля-пенетратора может составлять от нескольких метров в случае скальной породы средней твердости до нескольких десятков метров в случае рыхлого грунта. В соответствии с некоторыми из проанализированных эмпирических зависимостей зафиксировано проявление масштабного эффекта при проникании, заключающегося в том, что отношение глубин проникания геометрически подобных ударников с неизменным отношением их массы к кубу диаметра превышает коэффициент геометрического подобия.

Ключевые слова: модуль-пенетратор, ударник, грунтово-скальная преграда, глубина проникания, перегрузка, эмпирическая зависимость

Введение. Спускаемые космические аппараты (КА), предназначенные для исследования космических тел Солнечной системы, оснащают специальными грунтозаборными устройствами для определения свойств пород, составляющих поверхностный слой космического тела. Осуществляя бурение поверхностного слоя, такие грунтозаборные устройства достают образцы грунта с разной глубины для их последующего анализа с использованием аппаратуры, размещенной на борту КА. Затем полученная информация передается космическим аппаратом на Землю.

В качестве альтернативного способа исследования поверхностного слоя космических тел рассматривается применение высокоскоростных модулей-пенетраторов (рис. 1), размещаемых на борту КА [1–3]. При пролете КА вблизи исследуемого космического тела модули-пенетраторы отделяются и направляются в заданный район его поверхности. Такие модули-пенетраторы способны проникать в породы поверхностного слоя космического тела на определенную

глубину за счет имеющегося у них запаса кинетической энергии. Они оснащены датчиками и приборами различного назначения, информация с которых передается на Землю либо непосредственно с пенетратора, либо через КА. Глубина проникания пенетраторов может регулироваться за счет выбора их начальной скорости взаимодействия с грунтово-скальной преградой. Применение отделяемых от КА модулей-пенетраторов упрощает исследование поверхностного слоя космических тел, так как не требует посадки КА и позволяет проводить исследования в разных областях поверхности тела. Кроме того, глубина проникания пенетраторов может значительно превышать глубину бурения, обеспечиваемую грунтозаборными устройствами спускаемых КА.



а



б

Рис. 1. Общий вид модуля-пенетратора (а) и его применение для зондирования поверхности космических тел (б):

1 — разгонный двигатель; 2 — система контроля высоты; 3 — пенетратор;
4 — система доставки пенетратора

Конструкция пенетратора должна обладать достаточной прочностью, чтобы исключить возможность его значительного деформирования и разрушения под действием силы сопротивления преграды при

проникании. С увеличением скорости пенетратора сила сопротивления возрастает [4, 5]. Условие обеспечения прочности пенетратора ограничивает его максимально допустимую скорость. Кроме того, ограничения на скорость пенетратора могут накладываться значением максимальной перегрузки [6, 7], которую может выдержать с сохранением работоспособности исследовательская аппаратура, размещенная в пенетраторе. По указанным причинам резервы увеличения глубины проникания исследовательских модулей-пенетраторов в грунтово-скальные преграды за счет повышения их скорости ограничены.

Дополнительное увеличение глубины проникания пенетраторов может быть достигнуто благодаря использованию лидера, движущегося перед пенетратором с существенно более высокой скоростью [8]. Задача лидера — сформировать в грунтово-скальной преграде протяженную каверну с поперечным размером, обеспечивающим последующее беспрепятственное движение по ней пенетратора. Лидер должен проникать в преграду в гидродинамическом режиме с растеканием его материала по стенкам образуемой каверны. Поскольку глубина проникания в гидродинамическом режиме определяется длиной проникающего тела, лидер должен иметь форму удлиненного стержня [9]. Определенные преимущества можно получить при использовании стержней-лидеров из пористого материала [10] и при их сегментировании на отдельные части [11].

Другой способ предварительного создания каверны в грунтово-скальной преграде для движения по ней модуля-пенетратора связан с использованием кумулятивных зарядов, формирующих при взрыве высокоскоростные металлические кумулятивные струи с высокой проникающей способностью [12, 13]. Для увеличения глубины проникания непосредственно модуля-пенетратора (после преодоления им каверны в преграде, сформированной лидером) ему можно придать дополнительный импульс реактивной тяги в процессе проникания [8, 14, 15].

При выборе конструктивных характеристик пенетраторов (диаметра, массы, формы головной части) и их скорости необходима информация о влиянии этих параметров на глубину проникания в различные грунтово-скальные преграды. Поскольку пенетратор при проникании должен вести себя как недеформируемое твердое тело, для получения такой информации можно воспользоваться результатами теоретических [16–19] и экспериментальных [20, 21] исследований проникания недеформируемых ударников в различные геоматериалы. Для предварительных оценок глубины проникания можно использовать эмпирические зависимости, полученные на основании обработки экспериментальных данных по прониканию недеформируемых ударников в геоматериалы [22–25].