

ОЦЕНКА ПЕРЕГРУЗОК ПРИ СОУДАРЕНИИ ПРОНИКАЮЩЕГО МОДУЛЯ С ГРУНТОМ

Григал П.В., Самаркин А.М., Ярунов Ю.Г.

ЦФТИ МО РФ, Сергеев Посад

**y_yarunov@hotmail.ru*

Оценка перегрузок при соударении жесткого тела с преградой является весьма важной при решении задач заглупления и проникания. Как правило, такие задачи решаются численными методами с использованием, в основном, лагранжево-эйлеровых методик. Существуют и полуэмпирические оценки отдельных параметров процесса заглупления. В частности, для оценки глубины проникания применяется так называемая «березанская» формула, в которой глубина проникания линейно зависит от массы M и начальной скорости проникателя V , и обратно пропорциональна сечению мишени проникателя S [1]:

$$H = k MV/S. \quad (1)$$

В «березанской» формуле неизвестной величиной остается коэффициент k , вызывает сомнение и линейная зависимость глубины проникания от скорости. Закон сопротивления телу в преграде часто берется в виде:

$$F = A + BV + Cx \cdot S \rho_0 V^2 / 2, \quad (2)$$

где ρ_0 — начальная плотность грунта, S — сечение мишени.

Эта формула не учитывает индивидуальные свойства материала, главным образом — зависимость давления от плотности (уравнение состояния грунта) $P = f(\rho)$, и на наш взгляд, не совсем корректно описывает торможение проникателя в интересующем диапазоне скоростей 100–700 м/с. Неопределенным в формуле (1) остается также и коэффициент Cx , который для каждого грунта и проникателя надо определять экспериментально, что на практике не всегда возможно.

В общем случае задача проникания решается методом распада разрывов в динамике упругопластических сред [2]. В настоящей работе предлагается подход оценки перегрузок проникателя, при его внедрении в скальную породу под прямым углом. При этом сам penetrator рассматривается как удлиненное абсолютно жесткое тело с плоским кавитатором в носовой части, т.к. опыты, проведенные в НИИ механики МГУ [4] показали, что наиболее устойчиво при проникании себя ведут penetratorы именно с плоским кавитатором. Уравнение состояния скальной породы на ветке нагрузки — квазиакустического типа, на ветке разгрузки — в форме тэта [3]. При этом контактное давление P определяется из уравнения

$$V = \sqrt{P[1/\rho_0 - 1/\rho(P)]}, \quad (3)$$

где $\rho(P)$ — зависимость плотности среды от давления, в которой учитываются индивидуальные свойства преграды. Следовательно, сила сопротивления $F = PS$, а перегрузка $n = PS/(Mg)$.

Плотность скальных пород принималась $\rho \approx 2700 \text{ кг/м}^3$, скорость звука верхних слоев $c \approx 3500 \text{ м/с}$, что соответствует модулю Юнга $E \approx 3.3 \cdot 10^5 \text{ атм}$. При проведении расчетов рассматривался проникатель массой $M = 1500 \text{ кг}$, диаметром $d = 36 \text{ см}$ и радиусом кавитатора $r = 10 \text{ см}$. В момент соударения, существенно в нестационарной фазе, под кавитатором начинает формироваться ударная волна. Полученные оценки показали, что при начальной скорости $V_0 = 300 \text{ м/с}$ давление под кавитатором будет порядка $\sim 34 \text{ кбар}$. В момент соударения при такой скорости гидродинамическое давление является определяющим, поэтому прочностные свойства грунта не учитывались. Давление равное $\sim 34 \text{ кбар}$ создает силу сопротивления $F \approx 1.1 \cdot 10^8 \text{ Н}$ и перегрузку $n \approx 7200$. Время, в течение которого сохраняется такой порядок величин давления и, соответственно, перегрузки, будет составлять $t \approx r/c \approx 2.9 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ (t — время, за которое волна разгрузки дойдет от края кавитатора до оси симметрии). Далее, грунтовая масса под кавитатором приводится в движение, скальный грунт начинает разрушаться и выдавливаться из-под кавитатора, и как следствие, давление, сила сопротивления и перегрузка начинают падать.

Таким образом, в настоящей работе предлагается полуинженерная методика оценки максимальных перегрузок на проникателе с учетом ударной сжимаемости преграды.

1. Сагомонян А.Я. Проникание. М.: МГУ, 1974.
2. Абузяров М.Х. и др. // ЖВММФ. 2000. Т.40. №6. С.940–953.
3. Отчет «ППП Динамика-2», Нижний Новгород, 1995.
4. Григорян С.С., Шахназаров А.А. Экспериментальное исследование проникания твердого тела в грунт. М., 1981.
5. Косоруков С.Н. // V Забабахинские научные чтения. Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 1998. Ч.1. С.99.