

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВНОГО ОБРУШЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА

Докт. техн. наук, проф. ОНИКА С. Г.

Белорусский национальный технический университет

Взрывное обрушение крупногабаритных сооружений широко применяется в промышленности при реконструкции предприятий. Для обрушения крупногабаритных объектов используются энергия взрыва и сила тяжести сооружений.

С помощью взрыва в несущих конструкциях сооружения образуется подбой, в результате чего нарушается равновесие объекта, и он обрушается под действием силы тяжести. Потенциальная энергия объекта, заложенная в сооружение при его возведении, в течение короткого времени переходит в кинетическую, которая в количественном отношении во много раз больше энергии взрывчатых веществ, используемых для обрушения.

Энергия обрушившегося объекта при контакте с земной поверхностью трансформируется в энергию сейсмических колебаний. Практика показывает, что их интенсивность может быть высока и представлять угрозу целостности близлежащих коммуникаций, зданий и сооружений, поскольку, как правило, обрушение выполняется в стесненных условиях – в окружении других зданий, сооружений, наземных и подземных коммуникаций. Таким образом, учет сейсмического эффекта при обрушении объектов является актуальной научной и производственной задачей.

При взрывном обрушении крупногабаритные объекты с определенной долей условности можно разделить на две группы. Первая – это объекты с сосредоточенной массой, к которым можно отнести башни промышленного назначения, остатки стен многоэтажных зданий и сооружений и т. д. Масса таких объектов достигает многих тысяч тонн, а высота несущественно превышает линейные размеры основания.

Вторая группа – это достаточно протяженные в пространстве объекты с рассредоточенной массой, боковая поверхность которых, как правило, ограничена поверхностями второго порядка. К таким объектам принадлежат в ос-

новном трубы промышленного назначения высотой несколько десятков метров. Масса таких объектов составляет многие сотни тонн, а высота намного больше линейных размеров основания.

При взрывании объектов с сосредоточенной массой ударный контакт массивного тела с грунтом происходит по некоторой многоугольной плоской поверхности – проекции сечения тела в направлении удара (рис. 1). В результате мгновенной передачи кинетической энергии обрушаемого объекта грунту в нем возникает ударная волна конической формы с вершиной на фронте.

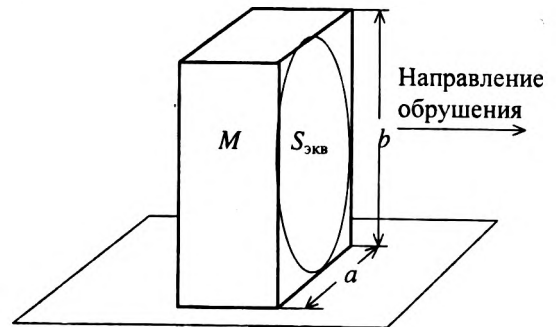


Рис. 1. Схема обрушаемого объекта с сосредоточенной массой

При ударе массивного тела о грунт на его поверхности возникает область уплотнения. Для ее характеристики введем показатель уплотнения

$$e = 1 - \frac{\rho}{\rho_*}, \quad (1)$$

где ρ – плотность грунта до удара; ρ_* – то же уплотненного грунта.

Если S – площадь контакта обрушаемого объекта с грунтом, то по закону сохранения массы получаем

$$\rho \left(\iint_{S_H} dx dy - \iint_S dx dy \right) = \rho \left(\iint_{S_H} dx dy - \iint_{S_h} dx dy \right), \quad (2)$$

$$0 \leq t \leq \Delta t,$$

где $S_H = S_H(t)$ – фронт области уплотнения на поверхности грунта; $S_h = S_h(t)$ – граница области уплотнения со стороны возмущенной массы; границы области уплотнения в плане являются подобными геометрическими фигурами относительно центра тяжести S ; $t = 0$ – начало передачи кинетической энергии обрушаемого объекта грунту; Δt – длительность удара (время движения ударной массы по нормали к поверхности грунта).

Так как фигуры S_H и S_h подобны, а отношение подобных площадей пропорционально квадрату радиуса-вектора произвольного направления, из (1) и (2) получаем

$$h^2(t) = eH^2(t) - (1 - e)H_S^2, \quad (3)$$

где $h(t)$, $H(t)$ и H_S – радиусы-векторы произвольного направления с началом в центре тяжести площади контакта ударной массы с грунтом и концами на границе площади S и внутренней и внешней границах области уплотнения на поверхности грунта.

Поскольку $(1 - e)H_S^2 = \text{const}$, дифференцируя (3), получаем:

$$\frac{h\dot{h}}{H} = e\dot{H}; \quad h(0) = H(0),$$

следовательно,

$$\dot{h}_0 = e\dot{H}_0 = v_0,$$

где v_0 – скорость грунта в области контакта в начале удара; точка обозначает дифференцирование во времени.

Отсюда, ввиду непрерывности функции скорости, получаем

$$v(r, t) = \frac{\dot{h}(t)h(t)}{r}, \quad (4)$$

где r – расстояние исследуемой точки от центра тяжести площади поверхности соударения.

Практически можно считать, что исследуемая точка находится на расстоянии r от обрушаемого объекта.

Из закона сохранения энергии максимальная скорость движения поверхности грунта равна

$$h_{\max} = \sqrt{2gH_0}, \quad (5)$$

где H_0 – высота центра тяжести обрушаемого объекта на момент обрушения; g – ускорение силы тяжести.

Таким образом, согласно (4) и (5):

$$v = \sqrt{2gH_0} \left(\frac{h_{\max}}{r} \right), \quad (6)$$

где $h_{\max} = h(\Delta t)$ – глубина выемки в результате удара массивного тела о грунт.

Пренебрегая величинами высшего порядка малости, масса грунта в области ударной волны в любой момент времени равна (рис. 2, 3)

$$\frac{1}{3} \rho \cdot S_{\text{экв}} (H - h) = \frac{1}{3} \rho S_{\text{экв}} H, \quad (7)$$

где $S_{\text{экв}}$ – площадь вписанного эллипса в площадь реального контакта обрушаемого объекта с грунтом.

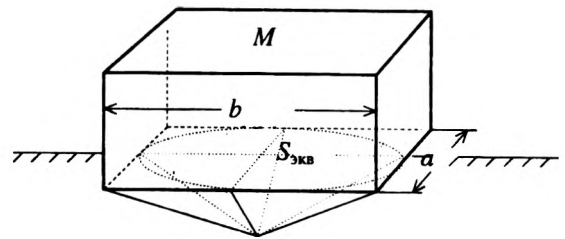


Рис. 2. Взаимодействие обрушаемого объекта и грунта

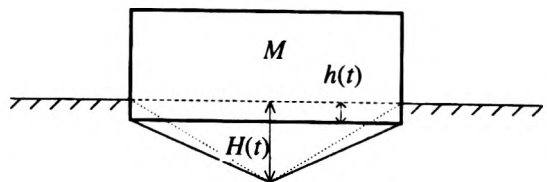


Рис. 3. Область действия ударной волны и уплотнения грунта

Эквивалентная площадь $S_{\text{экв}} = S$, т. е. равна площади реального контакта обрушаемого объекта с грунтом, если пренебречь площадью высшего порядка малости.

Из (7) получим

$$h = eH, \quad (8)$$

или в дифференциальной форме

$$\dot{h} = e\dot{H}. \quad (9)$$

Поскольку удар кратковременный, можно считать, что в любой момент времени $0 \leq t \leq \Delta t$ справедлив закон сохранения количества движения при неупругом ударе

$$\dot{h} \left[M + \frac{1}{3} \rho S (H - h) \right] = M \sqrt{2gH_0}, \quad (10)$$

где M – масса обрушаемого объекта.

Из (10), согласно (7) и (9), получаем дифференциальное уравнение

$$\dot{H} \left(M + \frac{1}{3} \rho S_{\max} H \right) = \frac{M}{e} \sqrt{2gH_0} \quad (11)$$

с граничным условием

$$\dot{H}(\Delta t) = c, \quad (12)$$

где c – скорость звука в грунте, поскольку в момент времени Δt волна уплотнения (ударная волна) вырождается в звуковую.

Если $H(\Delta t) = H_{\max}$, то с учетом (8)

$$h_{\max} = eH_{\max}. \quad (13)$$

Из (11) с учетом равенств (12) и (13) получаем

$$h_{\max} = \frac{3M}{\rho S_{\text{экв}}} \left(\frac{\sqrt{2gH_0}}{c} - e \right) \geq \frac{3M \sqrt{2gH_0}}{\rho S_{\text{экв}}}, \quad (14)$$

поскольку, учитывая абсолютную величину скорости звука в упругих средах и скорости частиц среды в области ударных волн, e является величиной высшего порядка малости относительно величины $\frac{\sqrt{2gH_0}}{c}$.

Эквивалентная площадь контакта ударной массы с грунтом $S_{\text{экв}}$ равна площади вписанного эллипса

$$S_{\text{экв}} = \pi \frac{ab}{4}, \quad (15)$$

где a и b – максимальные линейные размеры (диаметры) сечения обрушаемого объекта параллельно и по нормали к направлению обрушения (рис. 1). Поскольку $\frac{3}{\pi} \approx 1$, из (14) и (15) получаем

$$h_{\max} = \frac{4M \sqrt{2gH_0}}{\rho abc}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (6) и учитывая, что MgH_0 представляет потенциальную энергию обрушаемого объекта, получаем, что максимальная скорость колебаний грунта на расстоянии r при падении больших масс равна

$$v = \frac{8E}{abc\rho r}.$$

Из последнего выражения, зная известную допустимую максимальную скорость колебаний грунта в районе расположения охраняемого объекта, определяется радиус сейсмической зоны при его обрушении

$$r = \frac{8\sqrt{2gH_0}}{abc\rho v_{\text{доп}}},$$

где r – сейсмоопасное расстояние, м; g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ; a – максимальное расстояние между граничными точками сечения обрушаемого объекта параллельно поверхности грунта и направлению обрушения, м; b – то же по нормали к поверхности грунта и направлению обрушения, м; c – скорость звука в грунте, м/с ; ρ – плотность грунта, кг/м^3 ; $v_{\text{доп}}$ – допустимая скорость колебаний грунта в районе охраняемого объекта.

ВЫВОД

Применение разработанной методики позволяет надежно определять границы сейсмических зон при взрывном обрушении объектов с сосредоточенной массой, за пределами которых гарантируется сохранность промышленных, бытовых зданий и сооружений.