

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **11040**

(13) **С1**

(46) **2008.08.30**

(51) МПК (2006)

F 42D 5/00

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОЙ МАССЫ
ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА**

(21) Номер заявки: а 20051081

(22) 2005.11.09

(43) 2007.08.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Оника Сергей Георгиевич;
Кондратьев Сергей Владимирович
(ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

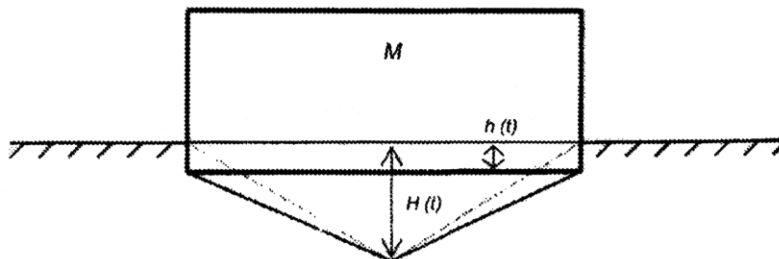
(56) Цейтлин Я.И. и др. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. - М.: Недра, 1981. - С. 106-108. UA 62254 A, 2003. SU 1374900 A1, 1986. US 2003/0033114 A1.

(57)

Способ определения сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества, равномерно распределенного и одновременно детонирующего в объеме разрушаемого фундамента, при взрывном разрушении фундамента вблизи охраняемого объекта путем определения допустимой скорости v (м/с) колебаний грунта на расстоянии r (м) от охраняемого объекта до разрушаемого фундамента, **отличающийся** тем, что перед производством взрывных работ определяют сейсмический очаг путем измерения площади S (м²) вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, скорость звука C (м/с) в грунте и его плотность ρ (кг/м³) в окрестности взрывных работ, а сейсмобезопасную массу взрывчатого вещества Q (кг) определяют из выражения:

$$Q = \frac{v\rho CSr \cdot 10^2}{3D^2},$$

где D - скорость детонации взрывчатого вещества, м/с.



ВУ 11040 С1 2008.08.30

ВУ 11040 С1 2008.08.30

Изобретение относится к взрывному делу и может быть использовано при взрывном разрушении подлежащих сносу зданий, промышленных и бытовых сооружений и других заземленных крупногабаритных объектов.

Наиболее близким техническим решением является способ взрывного разрушения фундаментов вблизи охраняемых объектов [1], включающий равномерное распределение взрывчатых веществ в объеме разрушаемого фундамента, определение допустимой скорости колебаний грунта на расстоянии от охраняемого объекта до разрушаемого фундамента и определение сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества, основанный на двухмерной модели действия штампа на упругом основании, который отождествляется с движением фундамента при равномерном распределении взрывчатого вещества в разрушаемом фундаменте.

После определения допустимой скорости колебаний грунта на расстоянии r от охраняемого объекта до разрушаемого фундамента определяется сейсмобезопасная масса взрывчатого вещества по формуле:

$$Q = \frac{2Mvr}{R_0 \sqrt{2U}}.$$

Недостатком прототипа является определение начальной вертикальной скорости движения фундамента как функции массы фундамента, расположенной ниже уровня размещения зарядов, приводящие к сингулярности (бесконечности скорости) при полном разрушении фундамента, что никогда не наблюдается на практике, и использование двухмерной модели фундамента с одномерным линейным сейсмическим очагом. В этом случае разрушаемый фундамент полностью изолируется от окружающей его среды, в которой распространяются сейсмические колебания, что явно противоречит реальным условиям.

Задачей изобретения является повышение точности определения сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества за счет учета взаимодействия разуплотненной массы фундамента, движущейся в направлении нормали к поверхности грунта, и массы грунта сейсмического очага, ограниченного площадью вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта в горизонтальном направлении и длиной пробега ударной волны в вертикальном направлении.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества, равномерно распределенного и одновременно детонирующего в объеме разрушаемого фундамента, при взрывном разрушении вблизи охраняемого объекта путем определения допустимой скорости v (м/с) колебаний грунта на расстоянии r (м) от охраняемого объекта до разрушаемого фундамента перед производством взрывных работ определяют сейсмический очаг путем измерения площади S (м²) вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, скорость звука C (м/с) в грунте и его плотность ρ (кг/м³) в окрестности взрывных работ, а сейсмобезопасную массу взрывчатого вещества Q (кг) определяют из выражения:

$$Q = \frac{\nu \rho C S r \cdot 10^2}{3D^2},$$

где D - скорость детонации взрывчатого вещества, м/с.

Указанные существенные признаки необходимы и достаточны для определения сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества.

Источником сейсмических колебаний в окрестности разрушаемого фундамента является сейсмический очаг области необратимой деформации (уплотнения) некоторого объема грунта, образующейся в результате удара некоторой массы M , состоящей из фрагментов разрушаемого энергией ВВ фундамента с положительной составляющей скорости в направлении контакта с грунтом. В момент раскрытия трещин многочисленные

ВУ 11040 С1 2008.08.30

фрагменты фундамента имеют направление скорости разлета в пространстве 4π стерадиан и движутся как единое целое, но с различным направлением скорости движения. Некоторая масса M , состоящая из фрагментов фундамента с положительной составляющей скорости в направлении площади контакта фундамента с грунтом, имеет среднюю скорость:

$$v_0 = \frac{1}{V} \sum_{n=1}^N v_n(V) \Delta V_n,$$

где N - количество фрагментов фундамента с положительной составляющей скорости в направлении нормали с грунтом в начале разлета;

ΔV_n - объем конкретного фрагмента со скоростью $v_n(V)$ в направлении нормали с грунтом;

V - объем ударной массы M .

Данная скорость v_0 является вертикальной начальной скоростью ударной массы M , эту же скорость имеют частицы поверхности грунта в области контакта ударной массы с грунтом в начале движения ($t = 0$) при неупругом ударе, следовательно, кинетическая энергия ударной массы

$$E = \frac{Mv_0^2}{2}.$$

При равномерном распределении ВВ в объеме разрушаемого фундамента общая энергия ВВ после детонации также имеет равномерное пространственное распределение - $1/6$ общей энергии ВВ в каждом пространственном направлении.

Кроме этого экспериментальные данные показывают, что на массовое движение окружающей заряд ВВ среды идет около $0,1$ общей энергии ВВ.

Поскольку на массовое движение разрушаемого фундамента идет $0,1$ общей энергии ВВ и при этом только $1/6$ этой энергии уходит в направлении полупространства, занятого областью сейсмических колебаний (грунтом), получаем (с некоторым запасом), что в начале движения на сейсмический эффект затрачивается энергия:

$$E = \frac{1}{6} (0,12QU),$$

где Q - суммарная масса рассредоточенного в фундаменте ВВ;

U - удельная энергия ВВ.

Учитывая, что удельная энергия современных промышленных ВВ равна

$$U = \frac{D^2}{4}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

где D - скорость детонации ВВ, получаем

$$E = \frac{1}{6} \left[0,12Q \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right].$$

Поскольку сейсмическая энергия начального движения грунта равна кинетической энергии ударной массы M , из приведенного следует

$$\frac{Mv_0^2}{2} = \frac{1}{6} \left[0,12Q \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right],$$

или

$$v_0 = 0,1D \sqrt{\frac{Q}{M}}. \quad (1)$$

Следовательно, ударная масса M , движущаяся со скоростью v_0 в течение некоторого момента времени $\Delta t \neq 0$, взаимодействует с массой грунта сейсмического очага, который с достаточной для практики точностью в горизонтальном направлении ограничивается площадью S вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, так как именно в этой области происходит максимальное уплотнение грунта до некоторого предельного расстояния с измерением сейсмической энергии за пределы области необратимой деформации.

Следовательно, измерение вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта позволяет учесть размеры сейсмического очага в горизонтальном направлении, поскольку поверхность грунта с достаточной для практики точностью можно считать плоской.

Благодаря тому что момент соударения $t = 0$ является моментом передачи кинетической энергии разуплотненной массы фундамента грунту, в котором возникает ударная волна $R(t)$, в области ударной волны (сейсмического очага) грунт уплотняется, при этом уплотнение является необратимым - плотность грунта ρ увеличивается до некоторой величины ρ_* , происходит неупругий удар, в результате которого тыл волны $h(t)$ вместе с ударной массой M также движется в направлении фронта с некоторой скоростью $\dot{h}(t)$, точка обозначает дифференцирование по времени (фигура).

При этом показатель уплотнения измеряется относительной величиной:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho}{\rho_*} = \text{const}. \quad (2)$$

Если S - площадь вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, то из закона сохранения массы получаем:

$$\rho \left(\iint_{S_H} dx dy - \iint_{S_h} dx dy \right) = \rho_* \left(\iint_{S_H} dx dy - \iint_{S_h} dx dy \right), \quad 0 \leq t \leq \Delta t, \quad (3)$$

где $S_H = S_H(t)$ - фронт области уплотнения на поверхность грунта;

$S_h = S_h(t)$ - граница области уплотнения со стороны возмущенной массы.

Границы области уплотнения являются подобными геометрическими фигурами относительно центра тяжести площади S ; $t = 0$ - начало передачи кинетической энергии разрушаемого объема фундамента грунту; Δt - длительность удара (время движения ударной массы по нормали к поверхности грунта).

Относительно общего центра тяжести фигуры S_H и S_h подобны, а отношение площадей подобных фигур к квадрату радиуса-вектора произвольного направления есть величина постоянная. Из (2) и (3) получаем:

$$h^2(t) = \varepsilon H^2(t) - (1 - \varepsilon) H_S^2, \quad (4)$$

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 внутренней и внешней границах области уплотнения на поверхность грунта и границе площади S .

Поскольку $(1 - \varepsilon) H_S^2 = \text{const}$, дифференцируя (4), получаем:

$$\frac{h\dot{h}}{H} = \varepsilon \dot{H}, \quad h(0) = H(0).$$

Следовательно, $\dot{h}_0 = \varepsilon \dot{H} = v_0$, где v_0 - скорость поверхности грунта в области контакта в начале удара; точка обозначает дифференцирование по времени.

$$h_0 = v_0.$$

ВУ 11040 С1 2008.08.30

Отсюда, ввиду непрерывности функции скорости, получаем:

$$v_0 = (r, t) = \frac{h(t) \cdot \dot{h}(t)}{r}, \quad (5)$$

где r - расстояние до исследуемой точки от центра тяжести поверхности соударения, практически можно считать, что исследуемая точка находится на расстоянии r от разрушаемого фундамента.

На практике важно иметь оценку сейсмического эффекта, то есть величину, не превышающую некоторого верхнего предела. Следовательно, формула примет вид

$$v(r) \leq \frac{v_0 h_{\max}}{r}$$

или, принимая ее как строгое равенство:

$$v(r) = v_0 \frac{h_{\max}}{r}, \quad (6)$$

где h_{\max} - максимальное углубление в грунте при ударе разуплотненной массы фундамента M о его поверхность.

Равенство (6) определяет максимальную скорость колебаний грунта на расстоянии r от разрушаемого фундамента, но имеет неизвестный параметр h_{\max} , зависящий, в частности, от физических свойств грунта и размеров сейсмического очага.

В пространстве сейсмический очаг ограничен и по вертикали, в данном случае вертикаль ограничения является длиной пробега ударной волны $R(t)$, поскольку именно в этом направлении происходит максимальное уплотнение грунта в результате удара разуплотненной массы фундамента о поверхность грунта. Сам же сейсмический очаг, учитывая сверхзвуковую скорость ударной волны, имеет коническую форму (фигура), основанием которой является площадь вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, а вершиной - фронт ударной волны, ось конуса проходит через центр тяжести площади ударного контакта с грунтом (площади вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта).

Окончательно выделив сейсмический очаг в области взрыва, получаем, что масса грунта в сейсмическом очаге в любой момент времени равна:

$$\rho_* (R - h) \frac{S}{3} \approx \frac{1}{3} \rho S R, \quad (7)$$

а также

$$h = \varepsilon R, \quad \dot{h} = \varepsilon \dot{R},$$

где h - величина углубления грунта;

\dot{h} - скорость углубления грунта;

ρ_* - плотность уплотненного грунта;

ρ - плотность грунта до удара;

ε - показатель уплотнения;

\dot{R} - скорость ударной волны;

R - длина пробега ударной волны.

Процесс вырождения ударной волны $R(t)$ в волну сейсмическую (звуковую) очень кратковременен, поэтому приближенно взаимодействие ударных масс (разуплотненного фундамента и уплотненного грунта) можно описать законом сохранения количества движения при неупругом ударе:

$$\dot{h} \left[M + \rho_* \frac{S}{3} (R - h) \right] = M v_0,$$

ВУ 11040 С1 2008.08.30

или, заменяя \dot{h} на $\epsilon \dot{R}$ и $\rho_*(R-h)\frac{S}{3}$ на $\frac{1}{3}\rho SR$, получаем

$$\epsilon \dot{R} \left(M + \frac{1}{3} \rho SR \right) = Mv_0, \quad R(0) = 0, \quad (8)$$

где M - масса, состоящая из фрагментов фундамента с положительной составляющей скорости в направлении площади контакта фундамента с грунтом;

v_0 - вертикальная начальная скорость ударной массы M .

По истечении весьма малого промежутка времени Δt ударная волна вырождается в сейсмическую, в грунте образуется уже обратимая деформация, движение фронта, а следовательно, и тыла волны $h(t)$ прекращается. Момент вырождения ударной волны в сейсмическую (звуковую) является моментом перехода скорости ударной волны $\dot{R}(t)$ в скорость звука C , то есть $\dot{R}(\Delta t) = C$.

Отсюда

$$M + \rho \frac{S}{3} R = \frac{Mv_0}{\epsilon C},$$

$$R = \frac{3Mv_0}{\epsilon C \rho S} - \frac{3M}{\rho S}.$$

Так как длина пробега ударной волны R равна величине максимального углубления грунта в результате удара, то максимальное углубление в грунте определяется в виде

$$h_{\max} = \frac{3v_0 M}{\rho C S} - \epsilon \frac{3M}{\rho S}.$$

Скорости звука в упругих средах имеют порядок километров в секунду, а так как $\dot{R} \leq C$, то, как минимум, такого же порядка и скорости ударных волн в упругих средах. Скорости же частиц среды за фронтом ударных волн составляют сантиметры или, как минимум, метры в секунду. Отсюда и из равенства $v = \epsilon \dot{R}$, где v - допустимая скорость колебаний грунта, следует, что порядок величины составляет $10^{-3} \dots 10^{-5}$ единицы.

Таким образом, пренебрегая членом высшего порядка малости, получаем, что максимальная величина углубления в грунте - результат удара массы M о поверхность грунта равна:

$$h_{\max} = \frac{3v_0 M}{\rho C S}, \quad (9)$$

то есть скорость звука в грунте C , плотность грунта ρ и горизонтальные размеры сейсмического очага S однозначно определяют максимальное углубление.

Подставляя (9) в (6), получаем

$$v = \frac{v_0 3v_0 M}{\rho C S r} = \frac{3Mv_0^2}{\rho C S r}. \quad (10)$$

Подставляя (1) в (10), получаем

$$v = \frac{3M \left(0,1D \sqrt{\frac{Q}{M}} \right)^2}{\rho C S r} = \frac{10^{-2} 3QD^2}{\rho C S r}. \quad (11)$$

Таким образом, благодаря совокупности перечисленных выше известных и новых существенных признаков стало возможным осуществление учета причинно-следственных связей между геометрией сейсмического очага в области распространения сейсмических

ВУ 11040 С1 2008.08.30

колебаний, физическими свойствами среды, в которой распространяются колебания и интенсивность сейсмических колебаний, что обеспечивает при наличии допустимой интенсивности колебаний вблизи охраняемых объектов надежное определение сейсмобезопасной массы взрывчатого вещества из выражения

$$Q = \frac{v\rho CSr \cdot 10^2}{3D^2}, \text{ кг}, \quad (12)$$

гарантирующей сохранность промышленных и бытовых зданий и сооружений в окрестности производства взрывных работ.

Обоснованность применимости выражения (12) следует из выполненных экспериментальных исследований при дроблении бетонных блоков на поверхности грунта при различной массе взрывчатого вещества, равенство (12) позволяет определить сейсмобезопасную массу взрывчатого вещества при взрывном разрушении фундаментов вблизи охраняемых объектов простым и надежным способом.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

Согласно техническому заданию на взрывное разрушение фундамента, в соответствии со структурой и степенью сохранности окружающих объект коммуникаций, которыми, как правило, бывают наземные и подземные водоводы, электрокабельные тоннели и эстакады, наружные газопроводы и прочие технологические коммуникации, устанавливается допустимая скорость колебаний грунта в районе охраняемых объектов.

Затем, в зависимости от степени близости охраняемых объектов, требуемой степени дробления фундамента и технических возможностей буровзрывных работ определяют площадь разрушаемого фундамента одновременно взрывающимися зарядами, измеряя при этом минимальную площадь вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, которая практически ограничивается крайними по периметру шпуровыми зарядами.

Далее в окрестности взрывных работ проводятся инженерно-геологические изыскания, при которых известными методами определяется скорость звука в грунте и его плотность.

Взрывные работы всегда производятся с использованием конкретного взрывчатого вещества с известными техническими характеристиками, следовательно, при производстве взрывных работ по разрушению фундаментов скорость детонации взрывчатого вещества является известной величиной.

В конечном итоге, используя вышеперечисленные параметры, сейсмобезопасную массу взрывчатого вещества при взрывном разрушении фундаментов вблизи охраняемых объектов определяют из выражения:

$$Q = \frac{v\rho CSr \cdot 10^2}{3D^2}, \text{ кг},$$

где Q - сейсмобезопасная масса взрывчатого вещества, кг;

v - допустимая скорость колебаний грунта, см/с;

ρ - плотность грунта, кг/м³;

C - скорость звука в грунте, м/с;

S - площадь вертикальной проекции разрушаемого объема фундамента на поверхность грунта, м²;

r - расстояние между охраняемым объектом и разрушаемым фундаментом, м;

D - скорость детонации взрывчатого вещества.

Данную массу размещают в разрушаемом объеме взрывчатого вещества с известной площадью вертикальной проекции этого объема на поверхность грунта равноотстоящими шпуровыми зарядами, при этом взрыв шпуровых зарядов может производиться как одновременно, так и с замедлением между отдельными шпуровыми зарядами или группами зарядов, поскольку данная масса взрывчатого вещества во всех случаях обеспечивает сейсмическую безопасность охраняемых сооружений в зоне радиусом r_m .

Пример.

Промышленная проверка способа была проведена при взрывном разрушении фундамента реконструируемого цеха, при этом помещение с импортным электронным оборудованием с допустимой скоростью колебаний грунта $v = 2$ см/с находилось на минимальном расстоянии $r = 8$ м.

В результате инженерно-геологических изысканий была определена средняя скорость звука в грунте $C = 1600$ м/с и его средняя плотность $\rho = 1900$ кг/м³ в окрестности производства взрывных работ, при дроблении фундамента применялся патронированный аммонит 6 ЖВ со средней скоростью детонации 3800 м/с, вблизи помещения с электронным оборудованием площадь контакта разрушаемого фундамента с грунтом ограничивалась 2 м².

Используя вышеприведенные числовые параметры, было установлено, что в целях сохранности электронного оборудования одновременно взрываема масса взрывчатого вещества не должна была превышать

$$Q = \frac{v\rho CSr \cdot 10^2}{3D^2} = \frac{2\text{см/с} \cdot 1900\text{кг/м}^3 \cdot 1600\text{м/с} \cdot 2\text{м}^2 \cdot 8\text{м} \cdot 10^2}{3(3800\text{м/с})^2} \approx 2,25 \text{ кг.}$$

Полученные 2,25 кг распределялись в разрушаемом объеме равномерно шпуровыми зарядами по площади не более 2 м², при дроблении фундамента сейсмостанции регистрировали максимальную скорость колебаний грунта $v_{\max} \approx 1,5$ см/с ≤ 2 см/с, что гарантировало сохранность электронного оборудования в окрестности производства взрывных работ.

Применение предлагаемого способа позволяет предотвратить демонтаж наземных и подземных коммуникаций, находящихся в непосредственной близости от производства взрывных работ и исключить проведение дорогостоящих сейсмобезопасных мероприятий для зон известного допустимого сейсмического эффекта при любых расстояниях до охраняемых объектов. Так как проведение сейсмобезопасных мероприятий вблизи производства взрывных работ - временный демонтаж и последующее восстановление производственного оборудования и технических коммуникаций, экранирование с помощью щелей и т.д., существенно удорожает производство взрывных работ при ликвидации фундаментов, рациональное размещение расчетного количества взрывчатого вещества, гарантирующее сохранность близлежащих охраняемых объектов, значительно удешевляет работы по ликвидации оснований устаревших зданий и промышленных сооружений.

Источники информации:

1. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. - М.: Недра, 1981. - С. 106-108.