

РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ МАСС ИЗ ОБЪЕКТА “УКРЫТИЕ”. ЧАСТЬ IV (Фрагменты технологии)

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
 пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина,
 объект “Укрытие”,
 г. Славутич, Киевской обл., 255190, Украина*

Связь электроразрядного генератора упругих колебаний (ЭРГУК) с разрушаемой средой изучалась теоретически и экспериментально. Только после этого можно было приступить к разработке собственно разрядно-импульсной технологии разрушения и дробления бетонов, топливосодержащих материалов (ТСМ) и радиоактивных лав – операций, предшествующих контейнеризации их с целью контролируемого хранения. Ясно, что эти материалы имеют различные физико-механические характеристики и, в частности, модули упругости. Это заставляет изучать процесс распространения импульса упругих колебаний ЭРГУК в вязко-упругой разномодульной среде.

Физическая и математическая модель распространения двумерных волн в вязко-упругой разномодульной среде

Основные уравнения механики сплошной среды, взятые в координатах Лагранжа, в цилиндрической системе координат имеют вид [1]:

уравнения движения

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\Theta}{r}, \\ \rho \frac{\partial w}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r}; \end{aligned} \quad (1)$$

уравнение неразрывности

$$\frac{\dot{v}}{v} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{u}{r}; \quad (2)$$

скорости деформаций

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{rr} &= \frac{\partial u}{\partial z}, \dot{\varepsilon}_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}, \\ \dot{\varepsilon}_{rz} &= \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z}, \dot{\varepsilon}_\Theta = \frac{u}{r} \end{aligned} \quad (3)$$

определяющее соотношение разномодульных сред

$$\dot{\sigma} = F(\dot{\varepsilon}, l_{kl}, S_{kl}, \sigma_i, \varepsilon_i, \mu, a_m). \quad (4)$$

Здесь использованы следующие обозначения: r, Θ – полярные координаты в плоскости разрушаемого материала, ось z направлена по нормали к этой поверхности; u, w – скорости в направлении осей r, z ; $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\Theta$ – полные напряжения, τ_{rz} – касательное напряжение, l_{kl}, S_{kl} – девиаторы тензоров деформаций и напряжений, v – относительный объем, $v = \rho^0/\rho$, ρ^0 – начальная

плотность материала; σ_i , ε_i – интенсивности напряжений и деформаций; μ – вязкостной член, a_m – некоторые константы, характеризующие данный материал, полученные из экспериментов; вид функции F будет уточнен ниже; ε , σ – функции деформации и напряжения.

Точка над параметрами означает производную по времени для фиксированной частицы. Система (1)–(4) может служить для описания движения и в плоской декартовой системе координат, если вместо z , r взять x , y соответственно, а слагаемые, помеченные *, опустить.

Сформулируем краевую задачу: в цилиндрической расчетной области $G = (0 \leq r \leq R_0, 0 \leq z \leq H)$ при $t > 0$ требуется найти решение системы (1)–(4), удовлетворяющее нулевым начальным и следующим граничным условиям:

на лицевой стороне, $z = 0$ при $r \leq R_1$

$$\sigma_z(t, r, 0) = g_1(t, z), \tau(t, r, 0) = g_2(t, r), \quad (5)$$

где g_1, g_2 – известные функции;

боковая поверхность, $r = R_0$, принимается свободной от внешних воздействий

$$\sigma_z = \tau(t, R_0, z) = \tau(t, R_0, z) \equiv 0; \quad (6)$$

на тыльной стороне, $z = H$, следует предусмотреть различные законы взаимодействия разрушаемой плиты с основанием, от свободной поверхности, $\sigma_z \equiv \tau_{rz} \equiv 0$, до неподвижной

$$u(t, r, H) \equiv 0. \quad (7)$$

Опишем конечно-разностную постановку задачи, предложенную впервые в [2].

Для численного решения задачи в плоскости r, z вводятся две одинаковые сетки: одна для кинематических величин, другая для напряжений и деформаций. Сетки сдвинуты друг относительно друга на полшага так, что узлы одной из них совпадают с центром другой, причем скорости будем помещать в точки с целыми индексами, а напряжения – с полуцелыми. Для замены производных, входящих в уравнения, разностными отношениями можно воспользоваться их естественной аппроксимацией через линейные интегралы по границе сеточного элемента. Например, производную по r можно определить так:

$$\frac{\partial f}{\partial r} = \lim_{S \rightarrow 0} \left(\oint_{\Gamma} f dz / \oint_{\Gamma} r dz \right),$$

где Γ – граница элемента, а S – его площадь. Применяя эту формулу к четырехугольнику, получим следующее разностное соотношение для производных по r в точках с целыми и дробными индексами:

$$\begin{aligned} - \left. \frac{\partial f}{\partial r} \right|_{ij} &\approx \frac{f_{i+0.5, j+0.5} + f_{j+0.5, j-0.5} - f_{i-0.5, j+0.5} - f_{i-0.5, j-0.5}}{2h_r}, \\ \left. \frac{\partial f}{\partial r} \right|_{i+0.5, j+0.5} &\approx \frac{f_{i+1, j+1} + f_{i+1, j} - f_{i, j+1} - f_{i, j}}{2h_r}, \end{aligned} \quad (8)$$

где h_r – шаг сетки в направлении оси r .

Учитывая, что аналогичное выражение справедливо и для производных по z , укажем конечно-разностные аналоги и для уравнений (1)–(4).

Каждая из величин, входящих в эти уравнения, является трехиндексным объектом $f_{j, k}^n$. Верхний индекс относится к временному слою, j – к слою по оси r , k – по оси z . В дальнейшем для сокращения записи индексы, относящиеся к базисной точке, то есть n, j, k , будут просто опускаться, для их различных комбинаций применим следующие обозначения:

$$\begin{aligned} A=j, k-1; B=j+1, k; C=j, k+1; D=j-1, k; A=n-0.5; \\ I=j+0.5, k+0.5; 2=j-0.5, k+0.5; 3=j-0.5, k-0.5; I=n+0.5. \end{aligned}$$

Дискретизацию удобно начать с уравнения сохранения массы (2). Масса, соответствующая каждому четырехугольному элементу, в начальный момент определяется путем умножения плотности на объем тела, полученного вращением вокруг оси z :

$$M_1 = 1/3 \left(\frac{\rho^0}{V} \right)_1 * [(r_2 + r_3 + r_4) * S_1 + (r_1 + r_2 + r_4) * S_2],$$

где S_1, S_3 – площади треугольников, на которые разбивает исходный четырехугольник его диагональ, проведенная из точки 2 в точку 4. Массы M_2, M_3, M_4 вычисляются аналогично. Применяя формулы (8), получим:

$$V_1 = 1/3 \left(\frac{\rho^0}{M} \right)_1 * [(r_2 + r_3 + r_4) * S_1 + (r_1 + r_2 + r_4) * S_2], S = S_1 + S_2, \quad (9)$$

для произвольного временного слоя.

Уравнения движения центрируются в точках с целыми индексами и имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} u^1 &= u^{-1} + \Delta t [(\sigma_r)_1(z_B - z_C) + (\sigma_r)_2(z_C - z_D) + (\sigma_r)_3(z_D - z_1) + (\sigma_r)_4(z_A - z_B) - \\ & - (\tau_{rz})_1(r_B - r_C) - (\tau_{rz})_2(r_C - r_D) - (\tau_{rz})_3(r_D - r_A) - (\tau_{rz})_4(r_A - r_B)] / 2 * \varphi + \Delta t * B \odot; \\ w^1 &= w^{-1} - \Delta t [(\sigma_z)_1(r_B - r_C) + (\sigma_z)_2(r_C - r_D) + (\sigma_z)_3(r_D - r_A) + (\sigma_z)_4(r_A - r_B) - \\ & - (\tau_{rz})_1(z_B - z_C) - (\tau_{rz})_2(z_C - z_D) - (\tau_{rz})_3(z_D - z_A) - (\tau_{rz})_4(z_A - z_B)] / 2 * \varphi + \Delta t * A \odot; \\ \varphi &= \frac{1}{4} \sum_{m=1}^4 (\rho^0 * A \odot / V)_m, A \odot = \frac{1}{4} \sum_{m=1}^4 \tau_{2z}(A \odot / M)_m, B \odot = \frac{1}{4} \sum_{m=1}^4 [(\sigma_2 - \sigma_\theta) * (A \odot / M)]_m. \end{aligned} \quad (10)$$

Поскольку сетка движется вместе со средой, необходимо определить новые координаты узлов:

$$z^l = z + w^l * \Delta t^l, \quad r^l = r + u^l * \Delta t^l.$$

Деформации определяются в полуцелых точках как во времени, так и по пространству.

Сначала находятся их скорости:

$$\begin{aligned} (\dot{\varepsilon}_{rr})_1^{n1} &= -((u_B - u_D) * (z_C - z_A) - (z_B - z_D) * (u_C - u_A))^{n1} / 2S_1^1, \\ (\dot{\varepsilon}_{zz})_1^{n1} &= ((w_B - w_D) * (r_C - r_A) - (r_B - r_D) * (w_C - w_A))^{n1} / 2S_1^1, \\ (\dot{\varepsilon}_{zz})_1^{n1} &= (((u_B - u_D) * (z_C - z_A) - (r_B - r_D) * (u_C - u_A)) - ((w_B - w_D) * (r_C - r_A) - \\ & - (r_B - r_D) * (w_C - w_A))^{n1} / 2S_1^1; \\ (\dot{\varepsilon}_{\theta\theta})_1^{n1} &= \left(\frac{\dot{V}}{V} - (\dot{\varepsilon}_{rr} + \dot{\varepsilon}_{zz}) \right)_1, \end{aligned} \quad (11)$$

а затем сами деформации:

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{rr})_1^{n1} &= (\varepsilon_{rr})_1^{nA} + (\dot{\varepsilon}_{rr})_1^{n1} * \Delta t^1, \\ (\varepsilon_{zz})_1^{n1} &= (\varepsilon_{zz})_1^{nA} + (\dot{\varepsilon}_{zz})_1^{n1} * \Delta t^1, \\ (\varepsilon_{\theta\theta})_1^{n1} &= (\varepsilon_{\theta\theta})_1^{nA} + (\dot{\varepsilon}_{\theta\theta})_1^{n1} * \Delta t^1, \\ (\varepsilon_{zr})_1^{n1} &= (\varepsilon_{zr})_1^{nA} + (\dot{\varepsilon}_{zr})_1^{n1} * \Delta t^1. \end{aligned} \quad (12)$$

Выражение (4) при известных деформациях представляет систему четырех обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно напряжений независимо от конкретного вида функции F , стоящей в первой части. Погрешность при решении системы должна быть более высокого порядка, чем погрешность аппроксимации частных производных. Наиболее подходящим здесь представляется двухшаговый метод, имеющий локально третий порядок точности. На первом шагу, предикторе, предсказывается значение $(\sigma)_1^{n1}$ по методу Эйлера:

$$\left(\bar{\sigma} \right)_1^{n1} = \sigma_1^{nA} + F(\varepsilon_1^{nA}, l_{kl}^{nA}, \sigma^{n1}, \sigma_i, \varepsilon_i, \mu, a_m),$$

а на втором шагу происходит уточнение:

$$(\sigma)_1^{n1} = \sigma_1^{n1} + F(\varepsilon_1^{n1}, l_{kl}^{n1}, \bar{\sigma}, \sigma_i, \varepsilon_i, \mu, a_m),$$

если масса элемента повернулась в плоскости r, z на угол α за время Δt^{n1} , то напряжения должны быть пересчитаны так, чтобы они относились к системе координат r, z в их новом положении. Поправка на поворот путем пересчета компонент девиатора напряжений:

$$\begin{aligned} S_{\odot rr} &= S_{rr} * \cos^2 \alpha + S_{zz} * \sin^2 \alpha + 2\tau_{rz} \sin \alpha \cos \alpha \\ S_{\odot zz} &= S_{zz} * \cos^2 \alpha + S_{rr} * \sin^2 \alpha + 2\tau_{rz} \sin \alpha \cos \alpha \\ \tau_{\odot rz} &= \tau_{rz} * \cos 2\alpha + (S_{zz} - S_{rr}) \sin \alpha \cos \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Угол α находим из соотношения:

$$\sin \alpha = \frac{\Delta t^{n1}}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right).$$

Выражения для частных производных, стоящих в правой части последнего равенства, уже были приведены.

В связи с многообразием краевых условий рассмотрим только одно, дискретизация которого производится типичным образом. Пусть рассматриваемые ячейки прилегают к оси z . Для каждой пары таких ячеек зеркальным отображением через границу введем фиктивные симметричные ячейки. Тогда в их общей вершине (точка с индексами i, j, k) будут иметь место следующие равенства:

$$\begin{aligned} u &\equiv 0, M_D = M_1, M_C = M_B, \\ (\sigma_{rr})_D &= (\sigma_{rr})_A, (\sigma_{rr})_C = (\sigma_{rr})_B, \\ (\tau_{rz})_D &= -(\tau_{rz})_A, (\tau_{rz})_C = -(\tau_{rz})_B. \end{aligned} \quad (14)$$

Эта процедура нуждается в уточнении, если точка j, k лежит на свободной поверхности. В этом случае рассматриваемая точка будет иметь лишнюю массу соответствующих воображаемых ячеек. Для правильного вычисления ускорения вдоль оси z необходимо воспользоваться уравнением:

$$\dot{w} = -\frac{1}{2\varphi} (((\sigma_{rr})_A - (\sigma_{rr})_B) * (y_2 - y_3) - (\tau_{rz})_A (z_2 - z_3) - (\tau_{rz})_B (z_3 - z_4)). \quad (15)$$

Схема (9)–(15) является явной и вычисления по ней проводятся последовательно по временным слоям. Рассмотрим подробно вид функции в правой части (4). В связи с образованием в объекте “Укрытие” материалов, механические характеристики которых зависят от вида напряженного состояния, необходимо совершенствование теории упругости, с учетом этого фактора. К этим материалам относится и бетон, упругая часть изотропного поведения которого характеризуется различными модулями Юнга E и коэффициента Пуассона γ при растяжении и сжатии. Для построения в таких случаях зависимостей между напряжениями и деформациями за последние тринадцать лет был предложен ряд модельных соотношений. Опишем три наиболее характерных.

В работе [3] рассматривается одна из простейших моделей, обобщающая закон Гука на разномодульные материалы. Они характеризуются четырьмя независимыми упругими коэффициентами, которые определяются из экспериментов на одноосное сжатие и растяжение. В ее основе – принятый в настоящее время в механике твердого деформируемого тела феноменальный подход. Уравнение потенциала деформаций определяется, исходя из его физической и геометрической интерпретации в пространстве главных напряжений. Потенциальная поверхность равного уровня является гладкой, состоит из сопряженных эллиптических поверхностей, удовлетворяющих дополнительным требованиям (например, невыпуклости). Разномодульность описывается знаками двух инвариантов: первого инварианта тензора напряжений и нечетного инварианта его девиатора (угла вида напряженного состояния или параметра Надан-Лоде). При этом связь между главными напряжениями и деформациями будет кусочно-линейной, а соотношение между компонентами тензоров напряжений и деформаций, вследствие неподобия в общем случае их девиаторов, нелинейными. Для определения конкретного вида соотношений необходимо выбрать некоторую гипотезу о потенциалах деформации и напряжения. В [3] принято, что эти потенциалы равны, а напряжение вида $\sigma_{ij} = 1/3 \sigma t_{ij}$

вызывает только деформацию вида $\varepsilon_{ij}=1/3\varepsilon t_{ij}$, причем $t_{ij}=0$ при $i \neq j$, $t_{ii}=1$, $\sigma = \sigma_{ii}$, $\varepsilon = \varepsilon_{ii}$. Следствием этих предположений будут равенства:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= 1/2 \left(\frac{2}{G^-} - \frac{1}{G^+} \right) S_{ij} + 3/2 \left(\frac{1}{G^+} - \frac{1}{G^-} \right) S_{11} (e_i e_j - 1/3 t_{ij}), -\frac{\pi}{6} \leq \psi \leq 0, \\ e_{ij} &= 1/2 \left(\frac{2}{G^+} - \frac{1}{G^-} \right) S_{ij} + 3/2 \left(\frac{1}{G^-} - \frac{1}{G^+} \right) S_{33} (n_i n_j - 1/3 t_{ij}), 0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{6}, \\ \varepsilon &= 1, 3\sigma * K^+, \sigma \geq 0, \varepsilon = 1/3\sigma * K^-, \sigma \leq 0, \\ G^+ &= 0,5E^+ / (1 + \nu^+), G^- = 0,5E^- / (1 + \nu^-), \\ K^+ &= 1/3E^+ / (1 - 2\nu^+), K^- = 1/3E^- / (1 - 2\nu^-), \end{aligned} \quad (16)$$

где e_i, n_i – направляющие скорости главных осей тензора σ_{ij} , $\sin 3\psi = -\sqrt{3} * 4 * S_{ij} * S_{ik} * S_{jk} / (S_{ij} * S_{ij})^2$. В последних равенствах по повторяющимся индексам ведется суммирование.

В одной из последних работ по разномодульной теории упругости [4] было предложено такое выражение для плотности энергии упругой деформации W :

$$\begin{aligned} W &= (b_1 + b_2 c) \sigma^2 + (b_3 + b_4 + b_5 \cos 3\varphi) \tau^2, \\ \tau &= (S_{ij} S_{ij} / 3)^{1/2}, S_0 = (\sigma^2 + \tau^2)^{1/2}, c = \sigma / S_0, d = \tau / S_0, \cos 3\varphi = \sqrt{2} \det S_{ij} / \tau^3, \end{aligned}$$

константы b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 находятся через экспериментальные величины E^+, E^-, ν^+, ν^- . Соответствующие этому потенциалу зависимости имеют нелинейный вид:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= 2/3(b_1 + b_2 c) \sigma t_{ij} + 2/3(b_3 + b_4 c + b_5 d * \cos 3\varphi) S_{ij} + \\ &+ 1/3 b_3 c (d^2 \sigma t_{ij} - c^2 S_{ij}) + 1/3 b_4 d^2 (d \tau t_{ij} - c S_{ij}) + \\ &+ 1/3 b_5 (c^2 d S_{ij} \cos 3\varphi + d \tau t_{ij} * (1,5 \tau p - cd)) + 1/2 b_5 d \tau^2, \\ p &= \partial \cos 3\varphi / \partial \sigma_{ij}. \end{aligned} \quad (17)$$

Очевидно, что использование той или иной модели связано со степенью соответствия теоретических результатов экспериментальным данным. В связи с этим следует заметить, что такой выбор W был сделан с учетом экспериментальных данных по нагружению бетона с пределом прочности на осевое сжатие $R = 34$ МПа.

В работе [5] для описания динамического сопротивления бетона предлагается взять закон, связывающий интенсивность напряжений σ_i с интенсивностью деформации $\varepsilon_i, \varepsilon_i'$ следующим образом:

$$\sigma_i = E \odot \varepsilon_i + \mu \varepsilon_i \odot = (E - B \varepsilon_i^n) * \varepsilon_i + \mu \varepsilon_i \odot, \quad (18)$$

где E – начальный модуль упругости бетона, μ – его вязкость, n – величина, определяемая из условия наилучшего совпадения расчетов с экспериментом, $B = E / (n + 1) / \varepsilon_0^n$, ε_0 – предельная интенсивность деформации бетона, которая зависит от состояния материала. Величина ее может определяться по формуле: $\varepsilon_0 = k \varepsilon_U$, где ε_U – предельная прочность бетона при одноосном сжатии, k – эмпирический коэффициент работы бетона

$$\begin{aligned} k &= \frac{\lambda(1-q)}{2} + \sqrt{\left(\frac{\lambda(1-q)}{2} \right)^2 + \frac{R^+}{R^-} (1-q)}, \\ \lambda &= 3 \left(1 - \frac{R^+}{R^-} \right) \frac{\sigma_m}{\sigma_i}, q = l \left(1 - \frac{S^3}{\sigma_i^3} \right), \sigma_m = \sigma / 3, \\ S^3 &= 13,5 (\sigma_{11} - \sigma_m) (\sigma_{22} - \sigma_m) (\sigma_{33} - \sigma_m), l = (1 - 3R_0 / R^+ R^-), \end{aligned}$$

здесь R^+, R^-, R_0 – пределы прочности бетона при одномерном растяжении, сжатии, жестком сдвиге.

Сравнивая приведенные варианты деформационных теорий, необходимо отметить следующее. Формулы (17) являются наиболее обоснованными, но весьма громоздкими. Их применение при расчетах может в несколько раз повысить затраты машинного времени, что резко сократит возможность численного эксперимента. Выражения (16) более простые, но они никак не привязаны к бетону, так как в них не используется характеристика жесткого сдвига; выражения (18) предназначены специально для бетона, не имеют теоретического обоснования, могут оказаться не пригодными для некоторых комбинаций входных параметров. Окончательный выбор уравнения состояния среды может быть осуществлен сравнением расчетных и натуральных экспериментов.

Поскольку бетон является материалом, чувствительным к скорости нагружения, то в определяющих соотношениях должен быть член, задающий вязко-пластичную часть деформации. Это слагаемое предполагается брать в том же виде, что и в случае одномерного нагружения. При этом в качестве аргументов следует брать не одноосные напряжения и деформации, а их интенсивности.

Таким образом, условие (17) имеет вид:

$$e_{ij} = \phi(S_{ij}) + \mu \left(\frac{\sigma_i - f(\varepsilon_i)}{f(\varepsilon_i)} \right) \frac{S_{ij}}{\sigma_i},$$

здесь ϕ – правая часть одной из систем равенств (16), (17), (18), μ – вязкостной член, $f(\varepsilon)$ – статическая характеристика бетона.

Таким образом, оказалась обоснованной необходимость перехода к экспериментальным исследованиям процессов разрушения бетонных образцов в стендовых условиях, но с макетами ЭРГУК в натуральную величину. Поскольку среды разномодульные, то процессы их разрушения идут с разными скоростями и граница раздела контрастная, в связи с чем можно прогнозировать послойное снятие разнородных участков наслоений с совершенно четким выделением укрытого слоя другого материала.

Стендовые образцы бетона

Все стендовые образцы бетона изготовлены из бетона марки 200. Форма образцов: плита 1500×1500×300 мм³ на стальной подложке, толщиной 4 мм; навалочный холмообразный монолит на бетонной плите толщиной 300 мм; навалочный холмообразный монолит на собственном свободном основании массой 350 кг. Они представлены на специальном стенде. Состав бетона следующий: 0,45 м³ песка; 0,90 м³ щебня; 0,2 м³ воды; 300 кг цемента М400; 0,8 кг сульфатно-спиртовой барды; 18 кг бентонитовой глины.

Кроме того, для проведения сравнительных исследований эффективности различных режимов разрушения (дробления) бетона использовались стандартные образцы диаметром 80 мм и двух размеров по высоте: 80 и 160 мм.

Для испытаний в стендовых условиях могли использоваться два вида манипуляторов: ручной и с электромеханическими приводами.

Манипулятор

Предназначен для перемещений и управлений электроразрядными рабочими органами (РОР) разрушения двух типов:

A – тяжелого, массой до 200 кг, в вариантах "Клин" (с концентраторами упругих колебаний) и собственно ЭРГУК (с плоской эластично-подвижной плитой);

B – облегченного, массой до 80 кг.

Для исполнения типа *A* манипулятор обеспечивает постановку РОР на забой в нижнем положении с близким к горизонтальному положению рабочей плоскости РОР. Для исполнения типа *B* манипулятор обеспечивает установку РОР на забой в положение, определяемое подвижностью его звеньев.

Манипулятор имеет 6 степеней свободы:

- 1) поворот стрелы относительно вертикальной оси;
- 2) подъем и опускание стрелы с поворотом относительно горизонтальной оси;
- 3) удлинение стрелы;
- 4) поворот головки, несущей РОР, относительно продольной оси стрелы;
- 5) поворот головки относительно оси, перпендикулярной продольной оси стрелы;
- 6) перемещение РОР вдоль продольной оси головки.

Основной привод манипулятора электрический от двух асинхронных электродвигателей мощностью 0,5 кВт с напряжением питания 380 В трехфазного тока. Подача РОР к забою обеспечивается пневмоцилиндром. Один электродвигатель установлен на станине, второй – на стреле.

Первый обеспечивает поворот стрелы относительно вертикальной оси, второй обеспечивает:

- подъем и опускание стрелы с поворотом относительно горизонтальной оси;
- удлинение стрелы;
- поворот головки, несущей РОР, относительно продольной оси стрелы;
- поворот головки относительно оси, перпендикулярной продольной оси стрелы.

Перемещение РОР вдоль продольной оси головки и прижатие электроразрядного разрушителя к забою осуществляется пневмоцилиндром. Питание пневмосистемы предусматривается от баллона со сжатым воздухом с начальным рабочим давлением 15,0 МПа. Исходное положение РОР, обеспечиваемое пневмосистемой – "РОР убран".

РОР исполнения *Б* через кардан связан с манипулятором. Держатели кардана по направляющим перемещаются относительно головки пневмоцилиндром. Положение электроразрядного разрушителя относительно кардана выбрано таким образом, чтобы центр тяжести РОР находился в плоскости кардана. Поддержание положения кардана в нейтральном положении обеспечивается спиральными пружинами, установленными в осях подвески. С момента прижатия к забою возникает самоориентировка РОР (и соответственно кардана) по отношению к плоскости забоя, при этом происходит закрутка спиральных пружин. Ограничители, установленные на кардане, допускают отклонение продольной оси РОР относительно головки на угол не менее 8 градусов. Для смягчения ударных нагрузок, передаваемых от РОР на манипулятор, внутреннее кольцо кардана изготовлено упругим.

Манипулятор с РОР исполнением типа *А* имеет три (первые) степени свободы. Вместо головки к стреле крепится держатель цепи, на который подвешивается РОР исполнением типа *А*.

Манипулятор выполнен таким, чтобы его, кроме установки на штатные передвижные средства, можно было доставить в самые труднодоступные помещения аварийного 4-го блока ЧАЭС через завалы, наплывы бетона и нагромождения фрагментов строительных элементов здания. Для этого предлагается в дальнейшем использовать шасси – салазки.

Шасси-салазки предназначены для транспортирования манипулятора, разобранного на транспортные блоки, к месту работы или испытаний; сборки манипулятора на месте; установки манипулятора с РОР на исходную позицию для начала работы.

Состав комплекса шасси-салазки следующий:

- шасси-салазки основные;
- лебедка;
- подъемник;
- электроблок;
- комплект грузов;
- шасси-салазки вспомогательные.

На шасси-салазках основных (ШСО) должна быть смонтирована лебедка и электроблок с выносным пультом управления; на ШСО постоянно будет установлена колонка поворотная в сборе. На шасси-салазках вспомогательных (ШСВ) будет крепиться снятая с манипулятора стрела в сборе для транспортировки ее к месту использования лебедкой, устанавливаемой на ШСО.

ШСО с установленной на них колонкой поворотной в сборе будет транспортироваться к месту испытаний в труднодоступные помещения волоком, с помощью лебедки, свободный конец каната которой может быть застопорен любым способом на месте.

ШСВ будет транспортироваться также лебедкой, установленной на ШСО, при этом ШСО стопорится от перемещения любым способом на месте.

Монтаж стрелы манипулятора на колонке поворотной будет осуществляться лебедкой с помощью легкого съемного подъемника, состоящего из стрелы подъемника и укосины подъемника. Сначала при схваченном зажиме каната будут поднимать стрелу манипулятора и при отпущенном зажиме каната опускать стрелу на место установки.

ШСО в дальнейшем будут использовать как основание при испытаниях и работе РОР в тесных и загроможденных помещениях.

Для обеспечения устойчивости можно будет применять комплект грузов, которыми станут нагружать ШСО. При положении стрелы в продольном (по отношению к ШСО) направлении грузы укладываются непосредственно на ШСО, а при рабочем положении стрелы в поперечном направлении грузы можно будет укладывать на съемный кронштейн.

Естественно, эти схемные предложения будут детально проработаны на последующих этапах проекта "Разработка технологии и установки электроимпульсного разрушения железобетонных строительных конструкций, бетонных и топливосодержащих масс".

Технологические приемы разрушения бетона

Основное внимание в технологических исследованиях было уделено процессам разрушения напластований бетона в монолите с помощью РОР – ЭРГУК.

Был предложен следующий основной прием разрушения напластований бетона:

- откол от массива РОР "Клин" блока шириной 1–1,2 калибра и длиной 5–6 калибров;
- разделка полученного блока на 5–6 частей поперечными расколами РОР "Клин";
- дробление каждой отделенной части блока на куски с характерным размером 50 мм РОР "Клин", снабженным дробителем-концентратором крестообразной формы;
- при необходимости получения фракций с размерами меньше 50 мм, доизмельчение материала РОР "ЭРГУК" с мембраной необходимой толщины.

В тех случаях, когда из-под напластований бетона необходимо освободить какой-то особый объект (например, лаву или лавообразные новообразования, захороненный контейнер с делящимися материалами, топливную сборку и т. п.) бетон следует разрушать послойно тонкими слоями РОР "Клин", снабженном гребенчатым рыхлителем-концентратором или РОР ЭРГУК с тонкой мембраной. Слои бетона необходимо разрушать в режиме шагово-построчного перемещения РОР в заданной области поверхности напластования. При этом уже измельченный тонкий слой материала бетона сгребается периферийной частью гребенчатого рыхлителя или мембраны, освобождая "свежие" слои бетона.

При проведении сравнительных исследований эффективности процесса разрушения различными РОР или с различными режимами выделения электрической энергии в разрядном промежутке, использовались идентичные цилиндрические бетонные стандартные образцы диаметром 80 мм и длиной 80 мм или 160 мм. Эти образцы устанавливали на бетонной массивной плите вертикально на торец, а РОР мембраной на противоположный торец соосно с образцом. В таком положении производится импульсное нагружение образца до его разрушения.

Основной силовой электрический режим макета и в варианте "Клин", и в варианте ЭРГУК: $U_0 = 45$ кВ, $W_0 = 1$ кДж, $f = 2-4$ Гц.

Результаты этих испытаний приводятся ниже.

Некоторые результаты технологических исследований рабочих органов разрушения

Испытания и исследования макетов РОР "Клин" и ЭРГУК выполнялись при одновременной обработке технологии электроразрядного разрушения (разделки) монолитных бетонных наплывов и куч, то есть моделировании реальной ситуации и состояния потенциальных объектов обработки.

Откол блока бетона от массива и его разделка на куски

Отбойка бетона от массива возможна лишь при ступенчатой форме забоя. Дезинтеграционная деструкция осуществляется в твердом бетоне с поверхности последовательно по заданной линии поля механических напряжений, приводящих к зарождению и в основном направленному распространению трещин в массив. С выходом трещин на боковые поверхности или на подошву массива происходит его дезинтеграция, то есть откол блока заданных размеров от массива. Дезинтеграционная деструкция материалов наименее энергоемка, так как разрыв связей происходит поагрегатно. При этом в максимальной степени используются всегда присутствующие в материале дефекты структуры, благодаря которым на 3–4 порядка снижается прочность материала на разрыв. Главным классификационным признаком является способ создания в твердом теле поля напряжений. Именно он определяет характер нагружения и соответственно энергетику разрушения.

Большим разнообразием специфических особенностей отличается способ с применением РОР "Клин" в связи с использованием различных конечных концентраторов импульсных и волновых полей и механических напряжений (долото, дробитель, рыхлитель). Главной особенностью нагружения бетона по этому способу является то, что к разрушаемому объекту прикладывается высокоскоростная импульсная нагрузка (скорость линейного перемещения концентратора до 150 м/с) с преобразованием в волны импульсных напряжений растяжения. При этом, поскольку второй фокус эллипсоида вращения – разрядной камеры приходится в тело концентратора, последний испытывает интенсивные упругие колебания, значительно облегчающие проникновение концентратора в толщу бетона и соответственно возникновение локального поля растягивающих напряжений. Высокоскоростное нагружение обеспечивает физический механизм хрупкого разрушения бетоноподобных масс. В этом случае в максимальной степени используется клиновое действие концентраторов, поддержи-

вающее рост трещин в массиве и за счет передачи импульса механических напряжений в зону развития трещин. При направленном расколе монолитов на блоки энергетические затраты на единичную площадь раскола составили 10–35 кДж/м². По сравнению с существующим буро-клиновым методом в 2–3 раза сокращаются затраты времени на получение одного кубометра блоков.

Технологический процесс откола бетонных блоков от массива следующий:

- РОР "Клин" ориентируется на линейное перемещение вдоль боковой поверхности бетонной плиты на расстоянии 250–300 м от кромки;

- клиновой концентратор разворачивается вдоль линии перемещения;
- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР устанавливается "в упор" на плиту;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов с рекомендуемой задаваемой частотой посылок импульсов 2–4 Гц;
- производится 6–10 разрядов в точке установки;
- клиновой концентратор отрывается от плиты манипулятором и переставляется на один шаг (рекомендуемая величина шага $S = 2,5 l$, где l – ширина клинового концентратора);
- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР вновь устанавливается "в упор" на плиту;
- производится 6–10 разрядов; и так далее до последнего шага у противоположного края плиты;
- РОР "Клин" ориентируется на обратное движение вдоль боковой поверхности бетонной плиты на расстоянии 250–300 мм от кромки;
- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР устанавливается "в упор" на плиту в пространстве между зонами воздействия (разрушения) за первый переход;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов с рекомендуемой задаваемой частотой посылки импульсов 2–4 Гц;
- производится 6–10 разрядов в точке установки;
- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР устанавливается "в упор" на плиту в следующем пространстве между зонами воздействия (разрушения) за первый переход;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов... и так далее до завершения обратного перехода РОР вдоль боковой поверхности.

Как правило, после прохода обратным движением 3/4 длины пути (ширины бетонной плиты) происходит полное отделение бетонного блока от массива.

Далее следуют операции разделки блока на фрагменты.

На РОР "Клин" клиновой концентратор разворачивается на 90°, то есть ориентируется поперек бетонного блока. Производится разделка блока на фрагменты с формой приближающейся к кубической (300×300×300 мм³):

- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР устанавливается "в упор" на верхнюю поверхность бетонного блока на расстоянии около 300 мм от кромки по центру;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов с рекомендуемой задаваемой частотой 2–4 Гц;
- производятся 3–6 разрядов в точке установки, после него 1-й фрагмент отделяется от блока;
- клиновой концентратор подвижкой манипулятором РОР устанавливается "в упор" на верхнюю поверхность бетонного блока на расстоянии около 300 мм от новой кромки и так далее до полной разделки бетонного блока на 5 фрагментов.

Каждый фрагмент бетонного блока дробится на фракции 20–50 мм по следующей последовательности операций:

- замена типа концентратора на концентратор-дробитель;
- "дробитель" подвижкой манипулятором РОР устанавливается по центру фрагмента на его поверхности;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов с рекомендуемой частотой посылок импульсов 2–4 Гц;
- производится 6–10 разрядов на месте установки "дробителя", при этом фрагмент разваливается на фракции 20–50 мм и несколько кусков с характерным размером более 50 мм (60–100 мм);

- каждый из крупноразмерных кусков додрабливается воздействием "дробителя", как описано выше.

На рисунках 1–5 приведены фотографии (кадры из видеофильмов) зон разрушения и дробления бетонных образцов.



Рис. 1. Общий вид разрушаемого ЭРГУК напыла бетона с первоначальным размером 1000X900X500 (высота) мм³.



Рис. 2. Щадящее разрушение (в последней фазе) слоя бетона над захороненным тонкостенным контейнером диаметром 450 и высотой 250 мм.



Рис. 3. Щадящее разрушение слоя бетона над имитатором лавовой пены (пемзы). Высвобожденный без повреждений блок пенобетона-имитатора на переднем плане.



а



б

Рис. 4. Разделка на блоки 300X300X300 отделенной ЭРГУК с концентратором от плиты бетона (пластифицированного) 1500X1500X300 полосы 1500X300X300 мм³: а – начало процесса отделения; б – отделение блока от полосы.



а



б



в



г



д

Рис. 5. Дробление ЭРГУК отделенного от полосы бетона блока 300X300X300 мм³:

а – 1-я секунда; б – 15-я; в – 30-я; г – 40-я; д – 50-я секунда.

Частота следования импульсов 0,5 Гц.

На фотографиях хорошо представлены результаты откола от массива, дробления на крупные куски и дезинтеграция их на фракции 10–20 мм. Все эти процессы происходят без пыления и общего динамического нагружения строительных конструкций. Процессы разрушения уже на начальных стадиях надежно фиксируются визуально оператором.

Макет рабочего органа разрушения "Клин" всесторонне испытывался в режимах выполнения описанных выше технологических операций. Производительность, достигаемая им по прочно-пластичному бетону, превышает 1 м³/ч с учетом и вспомогательного времени при энергии в импульсе

1кДж. При этом получены данные, которые позволят на натурном образце РОР значительно увеличить производительность.

Положительным является также использование единственного энергоносителя и минимального количества вспомогательных операций, повышенная безопасность процесса.

Энергоемкость разрядно-импульсной технологии разрушения бетона РОР "Клин" составила всего 100–150 Дж/см³, что является лучшим показателем по сравнению со способами, использующими специальные чисто механические породоразрушающие инструменты: ударные, вращательные (бурение порошками, алмазное бурение), ударно-вращательные, вращательно-ударные; а также без использования специальных породоразрушающих инструментов: взрывным, гидравлическим, электротермическим, электрогидравлическим, электроимпульсным, лазерным, и приблизительно равным такому способу, как гидроимпульсный (в условиях объекта "Укрытие" неприменимого из-за использования открытой высокоскоростной струи жидкости).

Наглядно это показано в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение различных методов разрушения бетона в объекте "Укрытие"

№	Способ разрушения лав и бетоноподобных сред	МДж м ³	минут/минут	ед.	ед.	Степень опасности	Надежность
1	Электроимпульсный бесшпур.	90	0/60	1	1	Низкая	Средняя
2	Электроимпульсный шпуров.	140	240/300	3	1	Высокая	То же
3	Гидромолот	100	0/240	1	3	Средняя	Низкая
4	Шпуро-клиновой	160	320/420	4	5	Высокая	То же
5	Шпуро-взрывной	170	320/380	4	4	То же	То же

Примечание: в столбцах: 3 – энергозатраты; 4 – время: бурения шпуров/общее разрушения; 5 – количество вспом. операций; 6 – количество энергоносителей.

Послойное снятие бетона на массиве

В случае необходимости осторожного снятия относительно тонких слоев бетона технологическая последовательность операций следующая:

- замена типа концентратора на концентратор – рыхлитель;
- "рыхлитель" подвижкой манипулятором РОР устанавливается в любую крайнюю точку зоны бетона, с которой необходимо снять слой бетона;
- включается прокачка воды в РОР и одновременно включается генератор импульсных токов с рекомендуемой частотой посылок импульсов 2 Гц;
- манипулятор перемещает РОР по поверхности в режиме шагово-построчного сканирования со скоростью 0,5–1 м/мин до полного обхода всей поверхности и снятия необходимого слоя бетона.

Разрушенный до фракций 0,5–5 мм бетон возвратно-поступательными движениями самого "рыхлителя" выносится на периферию зоны послойного разрушения и удаления бетона.

С учетом фактора мелкого дробления и измельчения, здесь производительность составляет 0,2–0,25 м³/ч.

Возбуждение механических колебаний подстилающих поверхностей

Важнейшее требование к создаваемой технологии – предельная минимизация воздействия на несущие конструктивные элементы аварийного блока, поскольку они значительно ослаблены действием катастрофического взрыва реактора.

При выполнении работ по разрушению бетонных плит (толщиной до 300 мм) и рыхлению куч свежего свободного окаменевшего бетона (с переменной толщиной от 500 до 100 мм), изготовляемых и размещенных непосредственно на существенных строительных конструкциях в здании стендов ИИПТ, производились измерения параметров импульсов, распространяющихся за пределы объекта разрушения. Датчики размещались под объектом разрушения (непосредственно в толще бетона на глубине 100 мм от поверхности воздействия), а также радиально на расстояниях 2,0 и 5,2 м с помощью специальной заделки в строительных конструкциях. Кроме того, производилось тщательное визуальное обследование строительных конструкций после разрушения образцов, удаления продуктов дробления и влажной уборки поверхности.

В результате этих исследований установлено следующее.

В серии из 25 импульсов воздействия первым датчиком зафиксированы ускорения в интервале 8–10 g (где g – ускорение силы тяжести), уже второй датчик фиксировал ускорение в 677–708 раз меньше, а третий – исчезающе малое ускорение в 21250–30286 раз меньше. Результаты измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2. Величина уровней ускорения (g) в точках пола при первом, десятом и двадцать пятом ударах рабочего органа

№ удара	точка	1	10	25
первый		8,5 g	0,012 g	0,0004 g
второй		8,8 g	0,013 g	0,00035 g
двадцать пятый		10,6 g	0,015 g	0,00035 g

Анализ нагружения строительных конструкций с помощью вычисления уровней спектральной плотности ускорения приведен в табл. 3. В такой же серии из 25 импульсов оказалось, во-первых, частоты выше 350 Гц вообще не проходят в строительные конструкции и поглощаются в бетонной массе объекта разрушения; во-вторых, в точке 2 (датчик на расстоянии 2,0 м) уровень спектральной плотности низких частот (порядка 50 Гц) составляет всего 1/4751/613 от уровня спектральной плотности, измеренной в точке 1 (датчик под разрушенной плитой); в точке 3 – всего 1/3343–1/4680.

Таким образом, при разрушении массивных блоков бетоноподобных масс уровень динамической нагрузки непосредственно примыкающих к ним строительных конструкций очень мал из-за управления глубиной прорастания трещин при каждом новом импульсе нагружения. Такие нагрузки не разрушают даже подстилающие конструкции, что подтверждается тщательными визуальными наблюдениями на освобожденном после разрушения макетных образцов шлифованном бетонном полу толщиной 100 мм. Практически факт управляемой глубины проникновения трещин подтверждается описанным выше способом послойного щадящего разрушения бетонного массива, что может использоваться для снятия сравнительно “чистого” бетона, прикрывающего радиоактивную лаву или пемзу.

Таблица 3. Уровни спектральной плотности ускорения в точках измерения при первом, десятом и двадцать пятом импульсах РОР на различных частотах

№ удара	частота, Гц ; уровень $g/\sqrt{\text{Гц}}$		
	точка 1	точка 2	точка 3
первый	0,128 (250)	$2,7 \cdot 10^{-4}$ (48)	$3,2 \cdot 10^{-5}$ (50)
первый	0,126 (800)		$2,2 \cdot 10^{-5}$ (70)
первый	0,092 (5550)		
первый	0,140 (11150)		
десятый	0,132 (250)	$2,15 \cdot 10^{-4}$ (55)	$2,82 \cdot 10^{-5}$ (37)
десятый	0,140 (800)	$1,23 \cdot 10^{-4}$ (310)	$16 \cdot 10^{-5}$ (97)
десятый	0,099 (3550)		
десятый	0,072 (10350)		
двадцать пятый	0,107 (950)	$2,25 \cdot 10^{-4}$ (47,5)	$3,2 \cdot 10^{-5}$ (47,5)
двадцать пятый	0,100 (3500)	$1,43 \cdot 10^{-4}$ (305)	$2,6 \cdot 10^{-5}$ (97)
двадцать пятый	0,08 (6600)		
двадцать пятый	0,06 (11000)		

Примечание: числа в скобках – “для данной частоты спектра”, Гц.

Оценка возможности разрушения напластований "свежего бетона" без разрушения подложки

Подложка – пемзообразная лава

Пемзообразная лава моделировалась блоками стандартного пенобетона с плотностью $\gamma = 0,7\text{--}0,8 \text{ т/м}^3$, толщина напластованного "свежего бетона" находилась в пределах 250–300 мм. Образцы после заливки бетоном набирали прочность 42 сут.

Энергия импульса ЭРГУК с плоской мембраной была выбрана 1500 Дж, частота посылок импульсов – 1 Гц. Операция разрушения напластования бетона выполнялась в режиме "сканирования" ЭРГУК на заданной площади разрушения с последовательной уборкой (сгребанием) разрушенных слоев бетона. Оказалось, что толщина разрушаемого слоя на проход составляет от 20 до 50 мм и в значительной степени зависит от величины фракции наполнителя бетона.

После снятия последнего ближнего к пеноблоку слоя "свежего бетона" оказалось, что погребенный под ним блок пенобетона не имеет никаких ни локальных ни общих разрушений ни на лицевой, ни на боковых поверхностях.

Таким образом, существуют режимы разрушения тяжелых напластований "свежего бетона" на лавообразных массах ТСМ, при которых, убрав бетон, можно не нарушать целостность лавообразных масс. Для разрушения же самих лавообразных масс необходим другой режим работы ЭРГУК, который можно будет устанавливать целевым образом.

Подложка – тонкостенный металлический контейнер, заполненный обломками РАО

Контейнер моделировался цилиндрическим коробом из металлического листа толщиной 0,8 мм. Короб заполнялся обломками ранее разрушенного бетона, устанавливался на бетонный пол с ориентировкой глухого дна вверх и заливался "Свежим бетоном". Напластование бетона выше короба имело толщину около 250 мм.

Режим обработки и технологическая оснастка были такими же, как и описано выше.

Необходимо отметить, что время на разрушения пласта бетона над захороненным коробом, при одном и том же разрушенном объеме, примерно в 2 раза меньше, чем при снятии напластования над пеноблоком. Это объясняется тем, что граница раздела бетон-металл-воздух более резко выражена, здесь ударные волны претерпевают не только полное отражение, но и трансформацию в волны растяжения, значительно более эффективно разрушающие бетон в направлении от поверхности отражения (дно и стенки короба) к свободной поверхности напластования.

На коробе не обнаружено никаких деформаций (ни общих, ни локальных) или разрушений.

Таким образом, тяжелые напластования "свежего бетона" на полых металлоконструкциях могут быть разрушены и удалены щадящим образом без нарушения прочности стенок и герметичности полости выбором определенного технологического режима обработки.

Заключение

Результаты выполненных комплексных исследований электроразрядного способа разрушения бетона позволили создать и отработать (в принципиальных вопросах) специальные средства для реализации разрядно-импульсной технологии извлечения топливосодержащих масс из объекта "Укрытие" и саму эту технологию – не дорогую и эффективную, позволяющую использование их в составе дистанционно управляемых средств перемещения рабочих исполнительных органов в дальнейшем, при создании практических систем преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную зону.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды. М., 1976.
2. *Уилкис М.Л.* Расчет упруго-пластичных течений // Вычислительные методы в гидромеханике. М., 1982. С. 217–263.
3. *Саркисян М.С.* О соотношениях теории упругости изотропных тел, материал которых по-разному сопротивляется растяжению и сжатию // Изв. АН СССР. МТТ. 1987. № 5. С. 87–94.
4. *Мангенко Н.М., Толокольников Л.А., Трещев А.А.* Определяющие соотношения изотропных разносопротивляющихся сред. Квазилинейные соотношения // Изв. РАН. МТТ. 1995. № 1. С. 73–78.
5. *Катаев В.А.* Вариант деформационной теории динамического сопротивления бетона // Изв. вузов. Строительство. 1993. № 4. С. 6–10.

Поступила 22.08.2002

Summary

Results of researches on creation effective electrodischarge technology for destruction similar concrete weights and lavas in object "Shelter" ChNES are resulted. Due to use of special electrodischarge generators of elastic fluctuations it was possible to solve a number of problems and to offer a sequence of operations on destruction of lavas and similar concrete weights in object "Shelter".