

УДК 624.1

**А. М. Самедов, докт. техн. наук, проф.; Д. В. Ткач, асп. НТУУ «КПИ»**

**ПОДАТЛИВЫЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ ОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ НА СЛАБЫХ ИЛИ ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ГРУНТАХ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

**A. M. Samedov, dr. tech. sci., prof.; D. V. Tkach, postgraduate student NTUU  
«KPI»**

**SUPPLE ANTIVIBRATION BASE UNDERGROUND STRUCTURES ON  
WEAK WATER-SATURATED SOILS OR BUYOUT EXPOSED TO  
DYNAMIC EFFECTS**

*Рассмотрены проблемы податливых виброизолирующих оснований подземных сооружений на слабых переувлажненных грунтах, подверженных динамическим воздействиям.*

*Предложены методы виброизоляции подземных сооружений для обеспечения податливости и уменьшения вынужденных колебаний от вибраций, ударов и импульсных динамических нагрузок от технологических машин и механизмов.*

**Ключевые слова:** виброизолирующее основание, подземное сооружение, слабые грунты, динамические воздействия, демпфер Ньютона, пружина Гука.

*Розглянуті проблеми податливих віброізолюючих основ підземних споруд на слабких перезволожених грунтах, що сприймають динамічні навантаження.*

*Запропоновані методи віброізолювання підземних споруд для забезпечення податливості і зменшення вимушених коливань від вібрацій, ударів та імпульсних динамічних навантажень від технологічних машин і механізмів.*

*Для віброізолювання об'єктів, наприкладі, підземних споруд використані елементи реології ґрунтів основ, що складаються з пружини Гука і амортизатора Ньютона, а потім застосовані реальні матеріали, такі як щебінь з порами заповненими піском або ґрунтовою водою.*

**Ключові слова:** віброізолювана основа, підземна споруда, слабкі грунти, динамічні впливи, демпфер Ньютона, пружина Гука.

*The considered problems of pliable vibroinsulating bases of underground building are on the weak water-logged soils that perceive the dynamic loading.*

*Offered methods of vibroisolation of underground building for providing of pliability and diminishing of the forced vibrations from vibrations, shots and impulsive dynamic loading from technological machines and mechanisms.*

*For the vibroisolation of objects, on an example, underground building the used elements of rheology of soils of bases that consist of spring of Hooke and shock absorber of Newton, and then applied real materials, such as a macadam with pores filled by sand or groundwater.*

**Keywords:** vibroinsulating founding, underground building, weak soils, dynamic influences, damper of Newton, spring of Hooke.

**Вступление.** В некоторых литературных источниках рассматривается виброизоляция объекта на примере оборудования и устройств [1-3], а не

оснований. Сделаны попытки виброизолировать основание, подвергающееся динамическим воздействиям [4].

Как известно, виброизоляция является весьма эффективным способом борьбы с вибрацией. Необходимым условием, обеспечивающим эффективность ее работы, является правильный расчет и конструирование, строгое выполнение проектных требований для податливых оснований подземных сооружений.

**Цель и задачи.** Рассмотреть проблемы податливых виброизолирующих оснований подземных сооружений на слабых переувлажненных грунтах, подверженных динамическим воздействиям. Предложить методы виброизоляции подземных сооружений с использованием моделей реологических свойств грунтовых оснований, на основе пружины Гука и демпфера Ньютона.

**Результаты исследований.** Эффективность виброизоляции можно оценить коэффициентом передачи  $\mu_{эф.}$ , который при силовой виброизоляции равен отношению амплитуды силы, передающейся через податливые пружины (виброизоляторы) на основание, к амплитуде силы, действующей на виброизолирующий объект, а при кинематической виброизоляции - отношению амплитуде перемещений основания.

В обоих случаях его величина равна:

$$\mu_{эф.} = \frac{1}{\alpha^2} - 1, \text{ где:}$$

$\alpha = \omega_v / \omega$  - есть отношение частоты вынужденных колебаний  $\omega_v$  к частоте собственных колебаний  $\omega$  виброизолированного объекта.

Виброизолированным объектом в нашем случае принимается подземное сооружение, на примере перегонного туннеля метрополитена, а вынужденные колебания от технологических машин и механизмов динамические нагрузки, которые являются источниками колебаний подземных сооружений.

Очевидно при достаточно большом значении  $\alpha$  коэффициент  $\mu_{эф.}$  будет иметь очень малые величины.

Возмущения бывают либо гармоническими, либо квазигармоническими (с медленно меняющимися амплитудой и частотой), либо импульсивными. Теория виброизоляции любого объекта предусматривает виброизолирование объекта, как абсолютно твердого тела, которое подвергается динамическим воздействиям, что требует определения основных параметров, используя методы динамических жесткостей.

На примере подземного сооружения, составляем основные расчетные схемы в виде тоннелей прямоугольного поперечного сечения, как приведено на рис. 1.

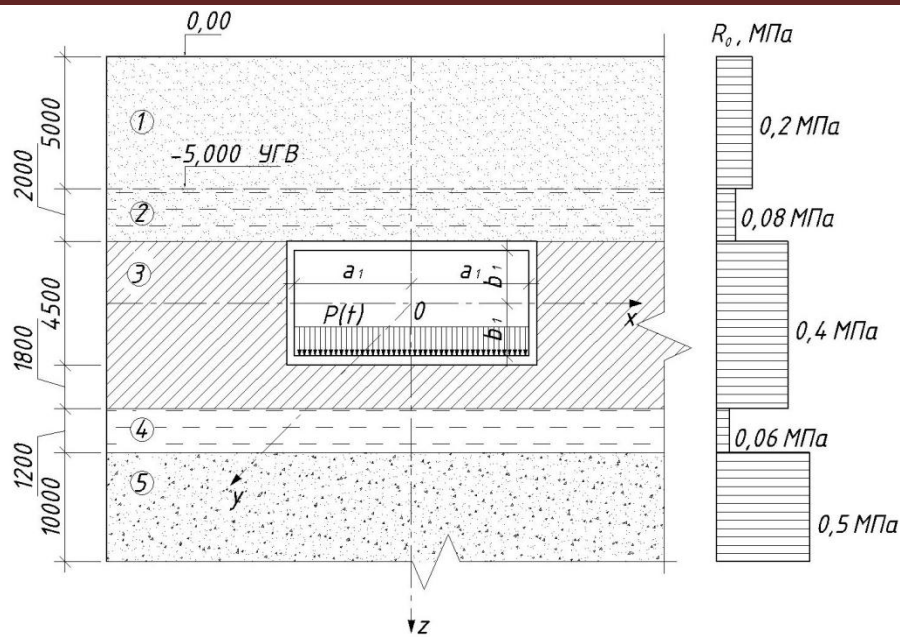


Рис.1. Схема расположения подземных сооружений на грунтовом массиве с условным сопротивлением  $R_0$ , МПа и динамическими нагрузками  $P(t)$ :

1 – пылеватый песок до УГВ – маловлажный  $\gamma_s = 27,2 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 16,7 \text{ кН/м}^2$ ,  $w = 0,06$ ,  $c = 0,003 \text{ МПа}$ ,  $\varphi = 24^\circ 30'$ ,  $R_0 = 0,2 \text{ МПа}$ ,  $E = 30 \text{ МПа}$ ; 2 – пылеватый песок после УГВ – водонасыщенный  $\gamma_{sw} = 9,82 \text{ кН/м}^3$ ,  $w = 0,31$ ,  $c = 0,001 \text{ МПа}$ ,  $\varphi = 27^\circ 30'$ ,  $R_0 = 0,08 \text{ МПа}$ ; 3 – глина полутвердая  $\gamma_s = 27,9 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 19,2 \text{ кН/м}^2$ ,  $w = 0,16$ ,  $w_L = 0,35$ ,  $w_p = 0,14$ ,  $I_L < 0$ ,  $R_0 = 0,4 \text{ МПа}$ ; 4 – торф  $\gamma_s = 11,6 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 5,4 \text{ кН/м}^2$ ,  $w = 0,12$ ,  $c = 0,0015 \text{ МПа}$ ,  $\varphi = 8^\circ 40'$ ,  $R_0 = 0,06 \text{ МПа}$ ; 5 – крупный песок средней плотности  $\gamma_s = 27,0 \text{ кН/м}^3$ ,  $\gamma = 8,8 \text{ кН/м}^2$ ,  $w = 0,08$ ,  $c = 0,063 \text{ МПа}$ ,  $\varphi = 37^\circ 40'$ ,  $R_0 = 0,5 \text{ МПа}$

В качестве основной системы координат принимаем условно главные центральные оси инерции  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ . Координаты центра инерции  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$  (центра тяжести) объекта (подземное сооружение), мысленно расчлененного на  $n$  простых элементов, определяем в системе координат с произвольным началом и осями  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ , если их направление известны по формулам:

$$x_c = \frac{1}{m \sum_i m_i x_i}; \quad y_c = \frac{1}{m \sum_i m_i y_i}; \quad z_c = \frac{1}{m \sum_i m_i z_i}, \quad \text{где:} \quad (1)$$

$m_i$  – масса  $i$ -го элемента;  $m$  – общая масса сооружений условно отрезанного участка длиной 1 пог. м;  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $z_c$  – координаты центра тяжести  $i$ -го элемента.

Под действием динамических нагрузок в подземном сооружении возникают вращательные колебания, кроме других видов колебаний. Для определения вращательных колебаний виброизолированного объекта необходимо знать моменты инерции относительно осей  $x_0$ ,  $y_0$  и  $z_0$ :

$$I_{ox} = \sum [I_{xi} + m_i(y_{oi}^2 + z_{oi}^2)];$$

$$I_{oy} = \sum [I_{yi} + m_i(z_{oi}^2 + x_{oi}^2)];$$

$$I_{oz} = \sum [I_{zi} + m_i(x_{oi}^2 + y_{oi}^2)], \text{ где:}$$

$I_{xi}$ ,  $I_{yi}$ ,  $I_{zi}$  – моменты инерции  $i$ -го элемента относительно осей, проходящих через его центр тяжести параллельно осям  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ , а  $x_{oi}$ ,  $y_{oi}$ ,  $z_{oi}$  – координаты центра тяжести  $i$ -го элемента. Постараемся разделить  $i$ -й элемент на виды прямоугольного параллелепипеда. Если  $i$ -й элемент имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами  $a$ ,  $b$ ,  $h$  в направлениях осей  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  соответственно, то:

$$I_{xi} = \frac{m_i(b^2 + h^2)}{12}; \quad I_{yi} = \frac{m_i(a^2 + h^2)}{12}; \quad I_{zi} = \frac{m_i(a^2 + b^2)}{12};$$

Радиусы инерции будут:

$$R_{ox} = \sqrt{\frac{I_{ox}}{m}}; \quad R_{oy} = \sqrt{\frac{I_{oy}}{m}}; \quad R_{oz} = \sqrt{\frac{I_{oz}}{m}};$$

Виброизолирующие материалы бывают упругие (пружина Гука) и вязкие (амортизатор Ньютона). При использовании упругого материала как виброизоляции в расчетах участвуют характеристики коэффициента жесткости по трем осям симметрии  $K_{xi}$ ,  $K_{yi}$ ,  $K_{zi}$ , (здесь  $i$  – номер виброизолятора), ориентируемым при проектировании параллельно осям  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$ . Для обеспечения виброизоляции подземного сооружения, жесткости виброизолирующих материалов должны быть равными силе, вызывающей единичную деформацию виброизолируемого объекта в данном направлении. Система виброизоляторов характеризуется суммарными жесткостями реологических элементов.

$$K_x = \sum_i K_{xi}; \quad K_y = \sum_i K_{yi}; \quad K_z = \sum_i K_{zi}.$$

Центром жесткости системы виброизоляторов вдоль данной оси, называется точка приложения равнодействующей их реакции, параллельной этой оси, возникающей при поступательном перемещении подземных сооружений вдоль этой оси (рис. 2).

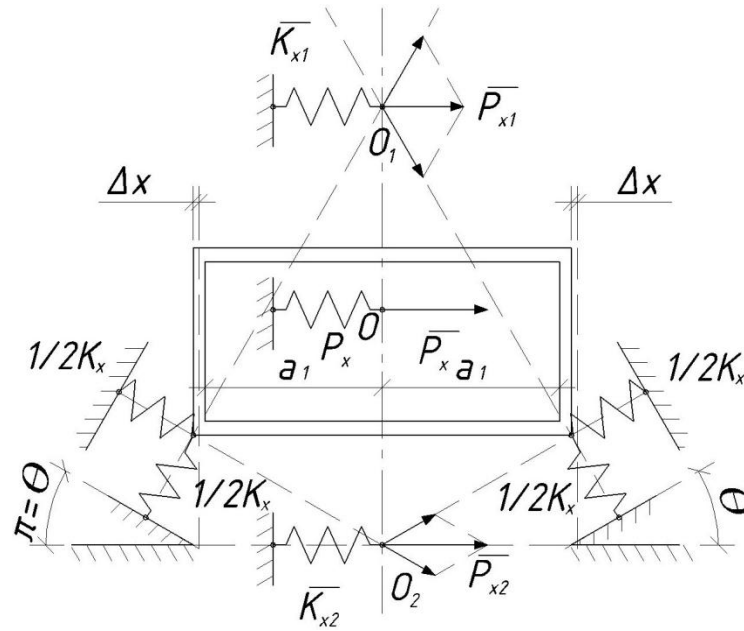


Рис. 2. Расчетная схема виброизоляции подземного сооружения с упругими опорами из пружин

В общем случае имеется три центра жесткости, координаты которых определяют по формулам, аналогичным (1). Так, центр жесткости вдоль оси  $z$  (вертикальной) определяется координатами:

$$x_z = \frac{1}{K_z} \sum_i K_{zi} x_i; y_z = \frac{1}{K_z} \sum_i K_{zi} y_i; z_z = \frac{1}{K_z} \sum_i K_{zi} z_i, \text{ где:} \quad (2)$$

$x_i, y_i, z_i$  – координаты точек приложения реакции виброизоляторов (пружина Гука). Заменой индекса  $z$  на  $x$  и  $y$  получают формулы для координат центров жесткости в направлениях  $x$  и  $y$ . Часто достаточно знать положение вертикальной оси жесткости, определяемое двумя первыми формулами в (2) и высоты центров (осей) жесткости в направлениях  $x$  и  $y$ :

$$z_x = \frac{1}{K_x} \sum_i K_{xi} z_i; z_y = \frac{1}{K_y} \sum_i K_{yi} z_i.$$

Если выполняется условие  $K_{zi} = \alpha K_{xi} = \beta K_{yi}$ , то все три центра жесткости лежат в одной точке, называемой  $v$ , в этом случае, главным центром жесткости. Система виброизоляторов (пружины и амортизаторы) характеризуется также суммарными угловыми жесткостями:

$$\left. \begin{aligned} K_{\varphi x} &= \sum_i (K_{zi} y_{xi}^2 + K_{yi} z_{xi}^2) \\ K_{\varphi y} &= \sum_i (K_{xi} z_{yi}^2 + K_{zi} x_{yi}^2) \\ K_{\varphi z} &= \sum_i (K_{yi} x_{zi}^2 + K_{xi} y_{zi}^2) \end{aligned} \right\}, \text{ где:}$$

$x_{yi}, y_{yi}, z_{yi}$  – координаты точек приложения реакции виброизоляторов в системе координат, с началом в соответствующем центре жесткости и осями, параллельными осям жесткости.

Угловая жесткость относительно данной оси жесткости равна моменту относительно этой оси на угол равный 1 рад.

Важное значение при виброизоляции объекта имеют силы неупругого сопротивления, т.е. вязкость Ньютона, возникающие при колебаниях в упругих элементах.

При строительстве подземных сооружений с виброизоляцией можно принимать взамен пружин Гука щебень по фракции 20 – 70 мм, так как силы внутреннего трения большие; и взамен гидравлических демпферов (силы вязкого трения) – пески либо грунтовую воду в порах щебня. Силы вязкого трения (амортизатор Ньютона) с упругими элементами (пружинами Гука) показаны на рис. 3.

При замене пружин щебнем, шероховатость поверхности гранул щебня обеспечивает достаточную силу внутреннего трения, а влажное состояние щебней благодаря водоупорному слою создает большой гидравлический демпфер, как силы вязкого трения. При отсутствии водоупорного слоя, необходимо поры между частицами щебня заполнять песком.

Внутреннее трение не зависит от скорости деформации виброизоляторов. В таком общем понятии, внутреннее трение шероховатых поверхностей частиц щебня не будет зависеть от скорости деформаций толщины щебеночного слоя, играющего роль виброизоляторов. Тогда управление поступательных колебаний виброизолированного объекта подземных сооружений (где виброизолятором является щебеночным слой вокруг подземных сооружений) вдоль оси  $z$  с учетом внутреннего трения имеет в комплексной форме следующий вид (рис. 3):

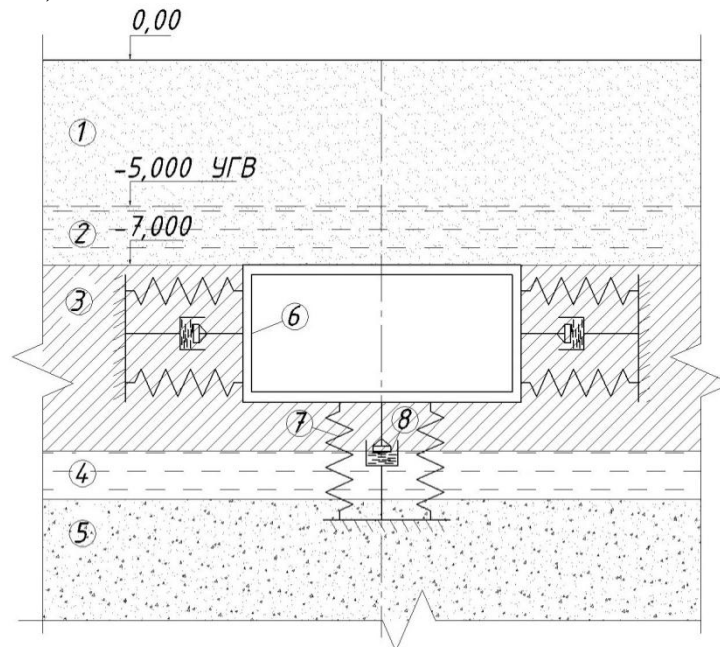


Рис. 3. Конструктивная схема виброизоляции подземных сооружений в упрощенной схеме по реологическим моделям:

1-5 – грунтовые слои; 6 – подземное сооружение; 7 – модель пружины Гука; 8 – амортизатор Ньютона

$$mW'' + (1 + i\gamma_z)K_z W = P_{0z} (\cos \omega_0 t + i \sin \omega_0 t), \text{ где:}$$

$W$  – перемещение по оси  $z$ ;  $W''$  – вторая производная перемещения  $W$ , относительно оси  $z$ , т.е.  $\frac{d^2 W}{dz^2} = W''$ ;  $i$  – мнимая единица;  $\gamma_z$  – коэффициент потерь внутреннего трения;  $P_{0z}$  и  $\omega_0$  – круговая частота силы.

Комплексную жесткость более точно следует принимать равной  $u + iv$ , где  $u = \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^2}}$ ;  $v = \frac{\gamma}{\sqrt{1 + \gamma^2}}$ . Однако на практических расчетах при  $\gamma \leq 0,2$ , можно принимать  $u = 1$ ,  $v = \gamma$ .

Величина  $c_z = \gamma_z K_z$  – жесткость неупругого сопротивления (вязкости Ньютона), которая используется при определении амплитуды силы внутреннего трения  $P_{0z}$  и упругой силы  $P_{0y}$ .

$$P_{0z} = C_z \alpha_{0z} \quad P_{0y} = C_z \alpha_{0z}, \text{ где:}$$

$\alpha_{0z}$  – амплитуда перемещения.

Коэффициент потерь будет равен:

$$\gamma_z = \frac{P_{0z}}{P_{0y}} = \frac{C_z}{K_z}.$$

Логарифмический декремент колебаний  $\delta_z$  тесно связан с коэффициентом потери  $\gamma_z$  и определяется формулой:

$$\delta_z = \pi \gamma_z. \quad (3)$$

В демпферах с жидкостью сила вязкого трения Ньютона пропорциональна скорости. Тогда управление поступательных колебаний объекта, с присоединенными к нему демпферами (в нашем случае вокруг подземных сооружений щебеночный слой в водонасыщенном состоянии или щебеночный слой с песком, которым заполнены пустоты) имеет вид:

$$mW'' + \alpha_z W' + K_z W = P_{0z} \cos \omega_0 t, \text{ где:}$$

$\alpha_z$  – коэффициент сопротивления жидкости;  $m$  – масса сооружения с технологическим оборудованием, машин и механизмов. При условии  $\alpha_z^2 \leq 4mK_z$ , амплитуда силы вязкого трения  $\overline{P_{0m}}$ , при свободных колебаниях будет равна:

$$\overline{P_{0m}} = \alpha_z \omega_z \alpha_{0z}, \text{ где:}$$

$\omega_z$  – круговая частота собственных колебаний системы, а при вынужденных колебаниях будет:

$$\overline{P_{0m}} = \alpha_z \omega_0 \alpha_{0z} = \alpha_z' \alpha_z \alpha_{0z}, \text{ где:}$$

$$\alpha_z' = \frac{\omega_0}{\omega_z}.$$

Величину  $\overline{C_{0z}} = \alpha_z' \alpha_z \omega_z$  – назовем жесткостью неупругого сопротивления при вязком трении, которая при собственных колебаниях равна  $\overline{C_z} = \alpha_z \omega_z$ .

Как было при внутреннем трении, здесь также появляется коэффициент потерь  $\overline{\gamma_z}$  при вязком трении, т.е.:

$$\overline{\gamma_z} = \frac{\overline{P_{0m}}}{P_{0y}} = \frac{C_z}{K_z} = \alpha_z' \gamma_z, \text{ где:} \quad (4)$$

$\gamma_z = \bar{\gamma}_z$  – при  $\alpha_z = 1$ , следует, что:  $\bar{C}_z = \bar{\gamma}_z K_z$ .

Зависимость между  $\bar{\delta}_z$  и  $\bar{\gamma}_z$  остается как в формуле (3)

По аналогии с центром жесткости упругих элементов (пружин) определяют центр жесткости неупругих сопротивлений (вязкости Ньютона), координаты которого определяются по формулам (4).

На рис. 4 показано выполнение виброизоляторов с помощью щебеночной засыпки и пор, заполненных песком.

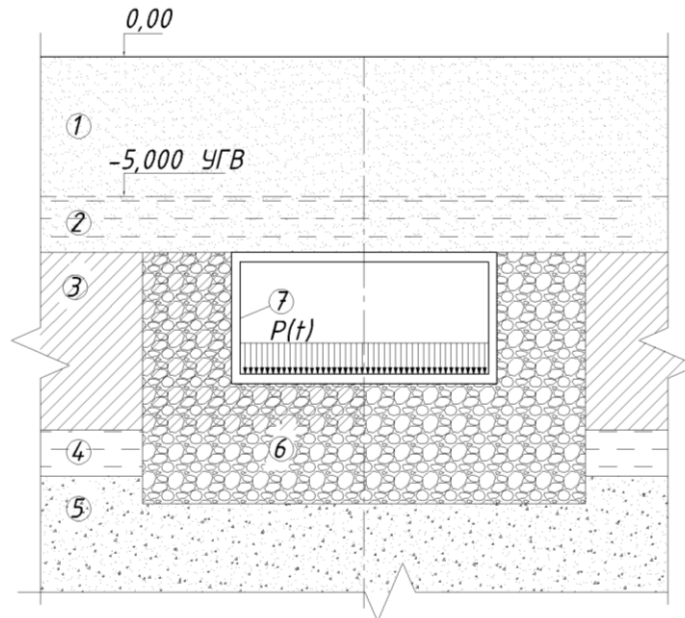


Рис. 4. Схема виброизоляции подземных сооружений с щебеночным слоем, как податливое основание для гашения колебаний:

1-5 – грунтовые слои; 6 – щебеночно-песчаная подготовка; 7 – подземное сооружение

Таким образом, виброизолятор в виде слоя щебня крупностью 20÷70 выполняет роль упругого элемента как пружина, а в случае водонасыщенного слоя, щебень представляет собой виброизолятор с пружинной и амортизатором Ньютона. В случае отсутствия водонасыщенного слоя, необходимо поры щебеночного слоя заполнены песком мелкой или средней крупности для создания вязких свойств.

Следует отметить, что в общем случае виброизолированный объект имеет 6 степеней свободы и, следовательно, необходимо определить 6 частот и форм собственных колебаний. При определении этих частот и форм можно пренебречь вязкостью Ньютона.

Расстановка виброизоляторов в плане всегда должна быть такой, чтобы центр их жесткости лежал на одной вертикали с центром тяжести объекта (подземное сооружение). При совпадении этих центров круговые частоты собственных поступательных и вращательных колебаний определяются соответственно по формулам:



$$\omega_x^2 = \frac{K_x}{m}; \omega_y^2 = \frac{K_y}{m}; \omega_z^2 = \frac{K_z}{m}; \omega_{\varphi x}^2 = \frac{K_{\varphi x}}{m}; \omega_{\varphi y}^2 = \frac{K_{\varphi y}}{m}; \omega_{\varphi z}^2 = \frac{K_{\varphi z}}{m}.$$

Если установка виброизоляторов по оси  $Z$  требуется больше чем по осям  $X$ , тогда они устанавливаются в углах подземных сооружений в два ряда, один наклонен под углом  $\theta_0$ , а другой под углом  $90^\circ$ , с наклоном к углам  $\theta$  (рис.2). При этом угол  $\theta$  можно принимать  $\theta=25^\circ \div 30^\circ$ . Тогда жесткости будут  $K_x < K_z$ . Реакции при поступательном смещении объекта вдоль оси  $X$  получает смещение на величину  $\Delta x$ . Жесткость такой системы в направлении оси  $X$  равна:

$$K_x = K_{x1} + K_{x2} = \frac{P_{x1}}{\Delta x} + \frac{P_{x2}}{\Delta x}.$$

Жесткость наклонных виброизоляторов будет  $\overline{K}_x$  и  $\overline{K}_z$ . Однако, как отметили выше  $K_x < K_z$ , по этому, смещение будет значительно больше по направлению  $Z$ , чем по оси  $X$ . Это значит, что толщину слоя щебня по оси  $Z$  (под подошвой сооружения) следует выполнять больше, чем с боковых сторон, т.е. по оси  $X$  (рис. 4). Таким образом, виброизолированный объект становится податливым.

## Выводы

Предложены методы определения виброизолирующего основания подземных сооружений с помощью использования реологических элементов грунтового основания.

Определены основные параметры виброизолируемого объекта, такие как моменты инерции, коэффициенты жесткости, угловые жесткости и т.д.

Составлены и решены уравнения поступательных колебаний виброизолируемого объекта. Определены перемещения, амплитуды, частоты, коэффициенты потерь, логарифмический декремент, силы внутреннего трения и коэффициенты сопротивления основания.

Предложены меры для достижения податливости оснований сооружений для обеспечения устойчивости и прочности всех элементов сооружений, в том числе деформации (осадки).

## Список использованных источников

1. Baranov V. A. Prodol'nye vynuzhdennye kolebanija prizmaticheskogo sterzhnja na uprugom inertnom poluprostranstve / V. A. Baranov // Sb. «Issledovanija po teorii sooruzhenij», vyp. XIII. M: 1964. – S. 46-54.
2. Borodachev N. M. Vertikal'nye kolebanija krugovogo shtampa na uprugom poluprostranstve / N. M. Bordachev // «Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij», 1964, №:5, – S. 36-43.
3. Korenev B. G., Vynuzhdennye kolebanija krugloj i kvadratnoj plastinki s dinamičeskimi chastjami pri garmoničeskikh vozdejstvijah / B. G. Korenev, L. M. Reznikov // Dinamika sooruzhenij, M.: 1971. – S. 56-64.

4. Samedov A. M. Raschet i proektirovanie podzemnyh sooruzhenij glubokogo zalozhenija / A. M. Samedov. (Monografija) NTUU «KPI» Kiev, 2012. – 649 s.

*Стаття надійшла до редакції 03.12.2013 р.*

УДК 622. 235

**В. Д. Воробйов, д. т. н., проф., О. М. Терентьєв, д. т. н., проф., О. Я. Тверда, к. т. н., ас. (НТУУ «КПІ»)**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА ВОРОНКИ РУЙНУВАННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТА АНІЗОТРОПІЇ У МАСИВІ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ ШАРАМИ РІЗНИХ ТИПІВ ПОРІД**

**V. D. Vorobiov, doc. of tech. sc., prof., O. M. Terentiev, doc. of tech. sc., prof., O. Ya. Tverda, Ph.D, as. (NTUU “KPI”)**

### **EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CRATER RADIUS AND ANISOTROPY COEFFICIENT IN THE ARRAY WITH VERTICAL LAYERS OF DIFFERENT TYPES OF ROCKS**

*Наведено результати експериментальних досліджень із визначення радіуса воронки руйнування та коефіцієнта анізотропії. Встановлено залежності величини радіуса воронки руйнування, усередненого по довжині заряду радіуса воронки руйнування та коефіцієнта анізотропії від міцності гірської породи. Підтверджено високу збіжність теоретичних розрахунків радіуса воронки руйнування з експериментальними даними.*

**Ключові слова:** вибух, воронка руйнування, гірська порода, заряд, коефіцієнт анізотропії, радіус.

*Приведены результаты экспериментальных исследований по определению радиуса воронки разрушения и коэффициента анизотропии. Установлены зависимости величины радиуса воронки разрушения, усредненного по длине заряда радиуса воронки разрушения и коэффициента анизотропии от прочности горной породы. Подтверждена высокая сходимость теоретических расчетов радиуса воронки разрушения с экспериментальными данными.*

**Ключевые слова:** взрыв, воронка разрушения, горная порода, заряд, коэффициент анизотропии, радиус.

*The results of experimental studies of determining the crater radius and the anisotropy coefficient are shown. Dependence of the crater radius, the averaged over the charge length crater*