

О РАСЧЕТЕ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ЗАМЕНЕ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВ

Рассмотрены основные принципы расчета виброизолирующих оснований при замене структурно-неустойчивых грунтов в грунтовых массивах под подошвой и с боковых сторон подземных сооружений. Составлены и решены уравнения колебательных движений виброизолирующих оснований, которые состоят из реологических элементов жесткости упругой пружины и жесткости неупругих сопротивлений в виде амортизатора вязкости трения или вязкости Ньютона.

Розглянуто основні принципи розрахунку виброизолирующих підстав при заміні структурно-нестійких ґрунтів в ґрунтових масивах під подошвою і з бічних сторін підземних споруд. Складено й вирішені рівняння коливальних рухів виброизолирующих підстав, які складаються з реологических елементів жорсткості пружної пружини і жорсткості непружних опорів у вигляді амортизатора в'язкості тертя або в'язкості Ньютона.

The basic principles for calculating antivibration foundations when replacing structurally unstable soils into groundwater arrays under the sole and sides of underground structures. Formulated and solved equation oscillatory motions antivibration bases, which consist of the rheological stiffeners elastic spring stiffness and internal damping of damper friction or viscosity Newtonian viscosity.

Вступление. Основания подземных сооружений часто состоят из структурно-неустойчивых грунтов, которые подробно рассмотрены в работе [5].

Основание под сооружением подвергается динамическим воздействиям и имеет колебания, которые необходимо виброизолировать. Это изложено в трудах [1-4], однако до сих пор отсутствуют способы расчета виброизолирующих оснований подземных сооружений.

Результаты исследований. При проектировании подземных сооружений часто встречаются основания, состоящие из структурно-неустойчивых грунтов. К структурно-неустойчивым грунтам относятся грунты, которые при некоторых добавочных внешних воздействиях (замачивании, оттаивании, вибрации и т.п.) коренным образом изменяют свою структуру, т.е. дают значительные просадки, осадки, смещения, разжижения, выдавливания в сторону, набухания, лавинные разрушения структурных связей между частицами и другие виды деформаций (хотя и устойчивые в обычных природных условиях).

К структурно-неустойчивым грунтам относятся: лессовые глины, лессовидные супеси и суглинки – как просадочные, илистые, слабо-глинистые супеси и суглинки, органо-минеральные и водно-каллоидные и пылеватые отложения, которые обладают разжижаемостью и тиксотропными свойствами при нарушении их структурных связей, заторфованные органо-минеральные грунты с содержанием органических веществ от 10-60% и более 60%, обладающие весьма большой и неравномерной сжимаемостью, ленточные озерно-ледниковые глинистые отложения большой мощности, состоящие из отдельных тонких слоев (толщиной до 1 см) глины, суглинки и супеси покрытые водой, в которых при динамических нагрузках нарушаются

коллоидные связи и увеличивается количество свободной воды, возникает текучее состояние в основаниях сооружений. Прочностные параметры ленточных глин имеют величины: -угол внутреннего трения $\varphi = 12 \div 19^\circ$, сила сцепления $c = 0,01 \div 0,03$ МПа, коэффициент сжимаемости $m_0 = 0,2 \div 0,3$ МПа.

Набухающие – монтмориллонитовые, бентонитовые, каолиновые глины относятся к структурно-неустойчивым грунтам и при увлажнении набухают и резко изменяют сопротивление сдвигу – уменьшается модуль деформации с 40МПа до 5МПа, угол внутреннего трения уменьшается в несколько раз, а сцепление до 15 раз, сила набухания может достичь $1,2 \div 1,5$ МПа (до 1500 кН/м^2), которая значительно превосходит давление от фундаментов на их основания. Поэтому допускать развития сил набухания по подошве фундамента ни в коем случае нельзя.

Из приведенного выше следует, что для подземных сооружений необходимо заменять структурно-неустойчивые грунты виброизолирующим основанием. Как известно, виброизоляция оснований обеспечивает долговечность подземных сооружений в процессе эксплуатации при динамических воздействиях.

Для расчета виброизолирующего объекта, принимаем подземное сооружение в виде тоннеля прямоугольного сечения: ширина $2a$, высота $2b$, длина L , находящееся в структурно неустойчивых грунтах из торфяных и лессовых просадочных суглинков как показано на рис. 1.

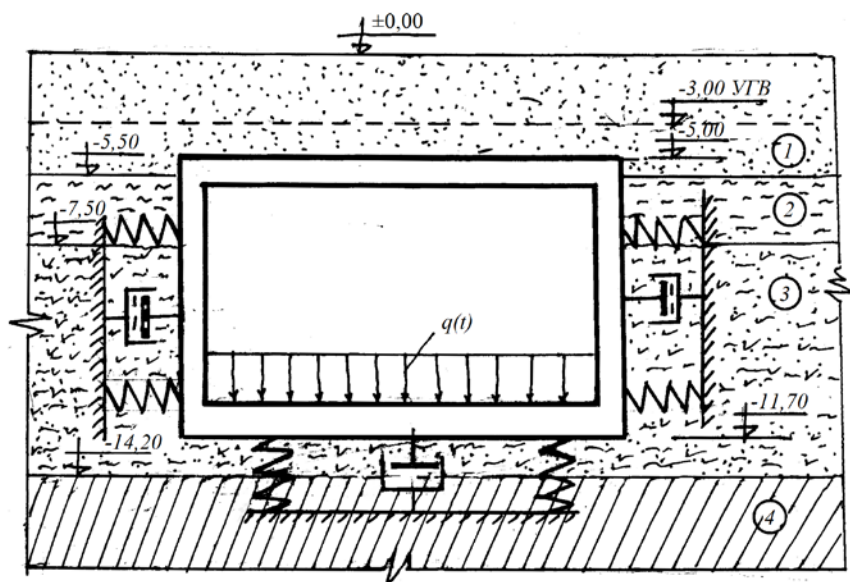


Рис.1. Схема расположения подземного сооружения в массиве из структурно-неустойчивых грунтов: 1 – пылеватый песок; 2 – торф; 3 – лессовый суглинок по II-му типу просадочности; 4 – глина полутвердая, мощностью 9,5 м. (до отм. 23,70)

В верхней части тоннеля находятся пылеватые пески от отметки 3,0м ниже поверхности земли уровень грунтовых вод в водонасыщенном состоянии

до 2,5 м, т.е. до отм. -5,5 м, а затем торф до отм. -7,5 м. Ниже торфяного слоя до отм. -14,2 м находится лессовый суглинок по II-му типу просадочности. Эти грунты относятся к структурно-неустойчивым грунтам и для оснований подземных сооружений не пригодны. Поэтому необходимо виброизолирующее основание, которые заменит эти грунты.

Для расчета виброизолирующего основания принимаем реологические модели грунтов в виде пружины упругого элемента и амортизатора вязкого трения или гидравлический демпфер (силы вязкого трения – вязкость Ньютона), как показано на рис.1

На виброизолирующие основания действуют нагрузки $q(t) = q_{ст} + \beta q_d$, где $q_{ст}$ – статические нагрузки от собственного веса сооружения и технического оборудования, кН/м, $\beta=1,5$ – коэффициент уплотнения материалов основания, q_d – динамические нагрузки от технологического оборудования, кН/м.

От действия собственного веса сооружения, технологических машин и механизмов статические и динамические нагрузки передаются от площади подошвы сооружения на виброизолирующее основание, которое создает колебания вдоль вертикальной оси z с учетом внутреннего трения основания. Уравнения колебаний виброизолированного основания можно выразить с помощью упругой пружины и вязкого демпфера т.е. в комплексной форме:

$$mW^I + (1+i\gamma_z)K_1w = P_{oz}(\cos w_0 t + i \sin w_0 t), \quad (1)$$

где m – масса сооружения с технологическим оборудованием, кН, условно отрезанного участка длиной 1 пог. м.; w – перемещение по оси z; W^I – производные перемещения w , относительно оси z, т.е. $d^2w/dz^2 = W^I$; i – мнимая единица; γ_z – коэффициент потерь внутреннего трения; t – время действия динамических нагрузок; P_{oz} и w_0 – соответственно амплитуда и круговая частота силы от $q(t)$. Амплитуду P_{oz} можно определить с помощью жесткости неупругого сопротивления или вязкости Ньютона c_z и амплитуды перемещения α_{oz} следующей формулой:

$$P_{oz} = c_z \alpha_{oz}; \quad c_z = \gamma_z K_z; \quad \gamma_z = \frac{c_z}{K_z}; \quad K_z = \frac{Gd}{8c^2 n}, \quad (2)$$

где G – модуль сдвига для пружины; d – диаметр проволоки пружины, см; $c = \frac{D}{d}$ – показатель пружины, D – диаметр спирали пружины, см; n – количество витков в пружине.

Логарифмический декремент колебания δ_z тесно связан с коэффициентом потери γ_z и определяется формулой :

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

В демпферах с жидкостью сила трения Ньютона пропорциональна скорости колебания. Тогда уравнения колебания основания с присоединенным (без пружины) демпфером вязкости Ньютона будет иметь вид:

$$mW^I + \alpha_z W^I + K_z W = P_{oz} \cos w_0 t \quad (4)$$

где α_z – коэффициент сопротивления жидкости, который можно определить из условия $\alpha_z^2 \leq 4mK_z$.

Таким образом, виброизолирующие основания под подошвой подземного сооружения можно рассчитать с помощью жесткости упругих элементов в виде пружины и жесткости неупругих сопротивлений в виде демпфера, как амортизатор вязкости трения Ньютона.

Выводы. Для оснований подземных сооружений массив их структурно-неустойчивых грунтов непригоден без инженерных мероприятий. Часто применяемые инженерные мероприятия являются очень дорогостоящими и не обеспечивают устойчивости и долговечности сооружений при эксплуатации.

Основания подземных сооружений, состоящие из структурно-неустойчивых грунтов необходимо заменять виброизолирующими податливыми материалами, которые являются надежными и долговечными при динамических воздействиях.

Расчет виброизолирующих оснований выполняется с помощью применения реологических элементов в виде жесткости упругих пружин и вязкого демпфера, т.е. амортизатора вязкого трения или вязкость Ньютона. С участием этих двух реологических элементов составляется уравнение колебаний виброизолированного основания в комплексной форме и дается решение с включением определений входящих параметров.

Список литературы

1. Корнев Б.Г. и др. О колебаниях башенных сооружений, оборудованных динамическими гасителями / Б. Г. Корнев, Л. М. Резников, - Строительная механика и расчет сооружений, №2, 1968. – С. 22-28.
2. Мартышкин В. С. Виброизоляция. Справочник проектировщика. Динамический расчет зданий и сооружений. Под редак. проф. Б. Г. Корнева, И. М. Рабиновича: Стройиздат, 1984. – С. 229-253.
3. Самедов А. М. Расчет и проектирование подземных сооружений глубокого заложения. Киев, НТУУ «КПИ», 2012. – 649с.
4. Сорокин Е. С. К теории внутреннего трения при колебаниях упругих систем, Наука, М.: 1960. – 260 с.
5. Цытович Н. А. и др. Основания и фундаменты / Н. А. Цытович, В. Г. Березанцев, Б. И. Далматов, М. Ю. Абелев. – Изд. «Высшая школа», М.: 1970. – 382 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Шашенко О.М.
Надійшла до редакції 16.01.15*