УДК 624.15

З.Г. Тер-Мартиросян, М.Н. Джаро
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

КОЛЕБАНИЯ ЗАГЛУБЛЕННОГО МАССИВНОГО ФУНДАМЕНТА НА МНОГОСЛОЙНОМ ВЕСОМОМ ОСНОВАНИИ

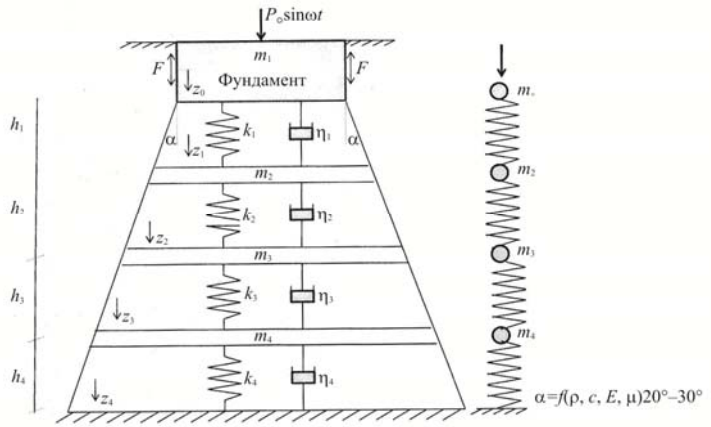
Приведены решения задач о колебании заглубленного фундамента навесомом многослойном основании при динамических нагрузках аналитическим и численным методами.Показывается, что учет весомости основания, трения заглубленного фундамента с грунтом и упруго-вязких свойств грунтов основанияоказывант существенное влияние на амплитуду и частоту колебания фундамента, а также на накопление остаточных осадок фундамента.

Ключевые слова: колебание, многослойное основание, заглубленный фундамент, весомое основание, вязко-пластическая модель, реологическая модель, амплитуда.

При колебании заглубленного фундамента на грунтовом весомом многослойном основании возникают реактивные и инерционные силы, а также силы трения фундамента с грунтом по боковой поверхности. Эти силы могут оказывать существенное влияние на характер колебания фундамента [1],в т.ч. на амлитуду и частоту колебания,исключаютвозможность резонанса и способствуютнакоплению остаточных осадок и кренов фундамента.

Задача о колебании на упруго-инерционном однородном основании рассмотрена в [2, 3], в т.ч., по приближенным схемамрасчета, в которых принимается, что динамическая нагрузка передается: только на несущий призматический столб грунта; на несущий массив в видеконечного (трапецеидального) массива и на полупространство.Известна также приближенная схема расчета, когда инерционность основания учитывается путем присоединения массы грунта активной зоны к массе фундамента. Все эти схемы расчета приводят к уменьшению амплитуд колебаний и исключают резонанс.

В настоящей работе предлагается приближенная схема расчета колебания заглубленного фундамента на весомом многослойном основании с учетом трения боковой поверхности фундамента с грунтом, а также упруго-вязких свойств грунтов. Грунтовое основание представляется в виде весомых слоев конечной толщины, соединенных между собой упругими или упруго-вязкими элементами. В этом случае каждый слойс массой *m*будет колебаться самостоятельно,и, следовательно, получится система с многочисленной степенью свободы, равной количеству слоев (рис.1).



© Тер-Мартиросян З.Г., Джаро М.Н., 2012

Рис. 1. Расчетная схема колебания заглубленного фундамента на многослойном основании

Для математического описания колебания такой системы потребуется определение коэффициентов жесткости каждого слоя k_i, их массы m_i средних значений статической нагрузки p_i и угла распределения статической нагрузки γ. Последний в первом приближении можно определить исходя из коэффициента затухания напряжений $\alpha(m(z),l/b)$ под фундаментом на центральной оси z по табл. [5] в зависимости от формы фундамента в плане (прямоугольник, квадрат, круг).

Существует зависимость между углом распределения γ и коэффициентом затухания напряжений $\alpha(2z/b,l/b)$ в виде

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{b(l-\alpha)}{2\alpha Z_a}, \tag{1}$$

где b и l — ширина и длина прямоугольного фундамента соответственно; Z_a — нижняя граница сжимаемой толщи основания, определяемая из условия $\sigma_{zp}=0{,}2\sigma_{zg}$.4.

Так, например, для прямоугольного фундамента шириной b=10 м, длиной l=18 м на глубине z=10 м α=0,463. Тогда $\mathrm{tg}\gamma=b(l-\alpha)/(2\alpha z)$=0,58, $\gamma\approx30°$, имея значение γ, можно определить размеры i-го слоя в плане, т.е. $b_i=b_1+2\Sigma h_i\cdot\mathrm{tg}\gamma$, где h_i — толщина i-го слоя. Значения p_i и k_i можно определить по формулам

$$p_i=p_o(b_1/b_i); \tag{2}$$

$$k_i = \frac{p_i}{S_i} \tag{3}$$

$$s_i = \frac{p_i\beta_i h_i}{E_i}; \tag{4}$$

где E_i — модуль линейной деформации i-го слоя; S_i — осадка i-го слоя;

$$\beta_i = 1-\frac{2\nu_i^2}{1-\nu_i} \approx 0{,}8, \tag{5}$$

где ν_i — коэффициент Пуассона i-го слоя

Рассмотрим простейший случай. Представим схему расчета системы фундамент — весомое основание с тремя степенями свободы, полагая, что фундамент массой m_1 взаимодействует с весомым двухслойным основанием массой m_2 и m_3, центр тяжести которых находится на одной третьей высоты слоев h_1 и h_2 (рис.2).

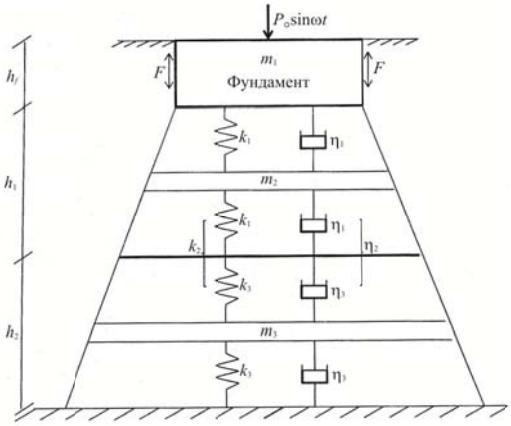


Рис. 2. Схема расчета колебания системы фундамент — весомое основание с тремя степенями свободы

В этом случае имеетместо только вертикальное перемещение фундамента, и если в первом приближении не учитывать поглощения энергии, то дифференциальное уравнение вынужденных колебаний такой системы можно представить в виде

$$m_1 z_1^{``} + k_1(z_1 - z_2) + \eta_1(z_1^{`} - z_2^{`}) + F\sin(z_1^{`} - z_2^{`}) = P_O \sin\omega t;$$
$$m_2 z_2^{``} + k_2(z_2 - z_3) - k_1(z_1 - z_2) + \eta_2(z_2^{`} - z_3^{`}) - \eta_1(z_1^{`} - z_2^{`}) = 0; \qquad (6)$$
$$m_3 z_3^{``} + k_3 z_3 - k_2(z_2 - z_3) + \eta_3 z_3^{`} - \eta_2(z_2^{`} - z_3^{`}) = 0,$$

где z_1, z_2, z_3 —вертикальные перемещения фундамента и центров тяжести первого и второго слоев основаниясоответственно;m_1,m_2,m_3 — массы фундамента и первого и второго слоевгрунтового основания соответственно;k_i — коэффициенты жесткостиоснования, причем $\frac{1}{k_2} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3}$;$\eta_i$ — коэффициенты вязкого сопротивления грунтов,причем $\frac{1}{\eta_2} = \frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_3}$;$F$ —сила трения по боковой поверхности фундамента.

Решение уравнения (6) может быть получено численным методом с помощью программного комплексаMathCAD. Результаты решения представлены на рис. 3приразличных значенияхжесткости (E_1=15000кН/м^2, E_2=50000кН/м^2)и при массе фундамента m=3750кН, диаметра=8 м, толщиной 3м под действием возмущающейимпульсной силы $P(t)=p_o\sin(\omega t)$ (p_o=500 кН) и толщине слоевh_1=h_2=5 ми F=11000кН.

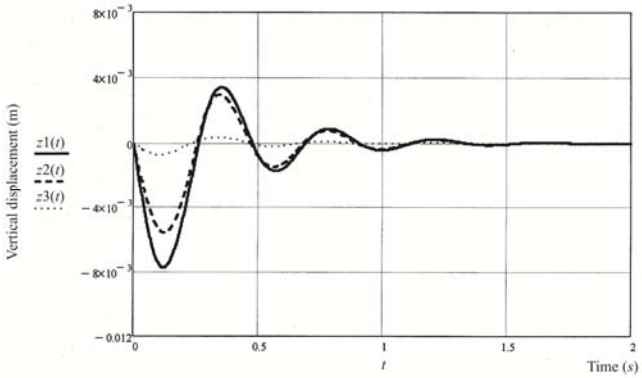


Рис. 3. Кривые колебаний системы $z(t)$, полученные на основании решения управления (6), с тремя степенью свободы с помощью MathCAD

Рассмотренная выше задача была поставлена и решена с помощью программного комплекса Plaxis8.2 МКЭ.Результаты этого решения приведены на рис. 4.

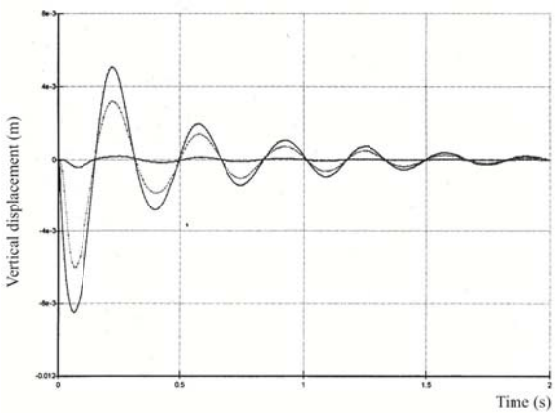


Рис. 4. Кривые колебания системы $Z(t)$ с учетом упругих свойств грунтов основания, построенные по результатам численного решения плоской задачи с использованием программы Plaxis-2d

Сравнительный анализ рис. 3 и 4 показал, что имеет место удовлетворительное совпадение.Следовательно,предложенная расчетная модель (см. рис. 1 и2) может быть использована для расчета колебаний системы фундамент — многослойное основание с помощью MathCAD.

Выводы. 1.Предложена новая расчетная модель весомого многослойного основания для количественной оценки колебания систем*ы*заглубленный фундамент — весомое многослойное основание с учетом упруго-вязких свойств грунтов и трения междуфундаментом и грунтом.

2. Составлена система дифференциальных уравнений и получено их решение с помощью программы MathCAD для построения графиков колебания этой системы во времени.

3.Дана сравнительная оценка графиков колебания, построенных на основе уравнения (6) и по программеPlaxis, которая показала их сходимость.

Библиографический список

1.*Вознесенский Е.А.*Динамическая неустойчивость грунтов. М.: Эдиториал, 1999.264 с.

2.*Красников Н.Д.*Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л.: Стройиздат, 1970.239 с.

3.*Савинов О.А.*Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. Л. - М. :Стройиздат, 1974. 279 с.

4. *Тер-Мартиросян З.Г.*Механика грунтов. М.: Изд-во АСВ, 2009.552 с.

5.Механика грунтов. Основанияифундаменты / С.Б. Ухов и др.2007. 561с.

6.*BrajaM. DA.* Fundamentals of soil dynamics, ed. ELSEVIER, NewYork.Amsterdam. Oxford,1983, P.399.

Поступила в редакцию в апреле 2012 г.

Об авторах:**Тер-МартиросянЗавен Григорьевич** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики грунтов, оснований и фундаментов, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mgroif@mail.ru;

Джаро Мохаммед Назим — аспирант кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mohammed_n.jaro@yahoo.com.

Для цитирования: *Тер-Мартиросян З.Г., Джаро Мохаммед Назим.* Колебания заглубленного массивного фундамента на многослойном весомом основании// Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 116—120.

Z.G. Ter-Martirosyan, M.N. Jaro

VIBRATIONS OF A DEEP HEAVY FOUNDATION RESTING ON WEIGHTY MULTILAYER SOILS

The authors present analytical and numerical solutions to the problem of vibrations of deep foundations caused by dynamic loads, if the foundations rest on multilayer soils. It is proven that the friction force that influences the foundation, the weighty nature of the bedding, and the visco-elastic properties of soils affect the amplitude and the frequency of vibrations.

The authors present an approach to the calculation of vibrations of deep foundations resting on multilayer soils. The proposed approach takes account of the side surface friction of the foundation and the soil and elastic and viscous properties of soils. The soil is presented as a multilayer substance, and all of its layers are connected to one another by elastic-viscous elements. In this case, each layer of soil vibrates independently and provides multiple degrees of freedom to the system.

A mathematical description of vibrations requires the identification of the coefficient of stiffness for each layer of soil, as well as the weight, the average per-layer stress and the angle of distributed static stress.

The results have proven that the weight of the bedding, the friction of a deep foundation, and elastic and viscous properties of soil affect the behavior of the amplitude and the frequency of foundation vibrations and the accumulation of residual settlements.

Key words: vibration, multilayer soil, deep foundation, weighty bedding, viscous plastic model, rheological model, amplitude.

References

1. Voznesenskiy E.A. *Dinamicheskayaneustoychivost' gruntov* [Dynamic Instability of Soils]. Moscow, Editorial Publ., 1999, 264 p.

2. Krasnikov N.D. *Dinamicheskiesvoystvagruntov i metodyikhopredeleniya* [Dynamic Properties of Soils and Methods of Their Identification]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1970, 239 p.

3. Savinov O.A. *Sovremennyekonstrukyiifundamentov pod mashiny i ikhraschet* [Modern Structures of Foundations to Accommodate Machinery and Analysis of Structures]. Leningrad – Moscow, Stroyizdat Publ., 1974, 279 p.

4. Ter-Martirosyan Z.G. *Mekhanikagruntov*[Soil Mechanics]. Moscow, ASV Publ., 2009, 552 p.

5. Ukhov S.B., Semenov V.V, Znamenskiy V.V., Ter-Martirosyan Z.G., Chernyshev S.H. *Mekhanikagruntov. Osnovaniya i fundamenty* [Soil Mechanics.Beddings and Foundations], 2007, 561 p.

6. Braja M. DA. Fundamentals of Soil Dynamics, ed. ELSEVIER, New York, Amsterdam, Oxford, 1983, p. 399.

About the authors: **Ter-MartirosyanZavenGrigor'evich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chair, Department of Soil Mechanics, Beddings and Foundations, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoeshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mgroif@mail.ru;

JaroMokhammedNazeem — postgraduate student, Department of Soil Mechanics, Beddings and Foundations, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoeshosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mohammed_n.jaro@yahoo.com.

For citation: Ter-Martirosyan Z.G., JaroMokhammedNazim. *Kolebaniyazaglublennogomassivnogofundamentanamnogosloynomvesomomosnovanii*[Vibrations of a Deep Heavy Foundation Resting on Weighty Multilayer Soils]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 4, pp. 116—120.