

Подобие осадок основания фундамента и штампа

УДК 624.131

Ляшенко Павел Алексеевич

канд.техн.наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов Кубанского государственного аграрного университета; e-mail: lyseich1@yandex.ru

Денисенко Виктор Викторович

канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры кадастра и геоинженерии Кубанского государственного технологического университета; e-mail: devivi@yandex.ru

Статья получена: 05.02.2016. Рассмотрена: 12.02.2016. Одобрена: 28.02.2016. Опубликовано онлайн: 28.03.2016. ©РИОР

Аннотация. Ступенчатое увеличение осадки штампа иллюстрируется циклическим изменением скорости осадки. Оно свидетельствует о перестройке микроструктуры грунта. Предлагаемая модель деформации микроструктуры глинистого грунта согласуется с наблюдаемым эффектом ступенчатого увеличения осадки штампа. Нисходящая ветвь цикла отражает замедление осадки вследствие упругого сопротивления грунта основания, восходящая — ускорение осадки при перемещении элементов микроструктуры по поверхностям скольжения, т. е. при пластической деформации. Этими элементами являются микроагрегаты глинистых частиц. Их кооперативная реакция на действие нагрузки от штампа порождает этот макроскопический эффект. Оба вида деформаций и сопротивления определяются свойствами микроструктуры: упругими и вязкопластическими характеристиками контактов между ее элементами и не зависят от размеров и формы грунтового основания. Упругие и вязкопла-

стические характеристики контактов инвариантны к размерам основания. На основе этих инвариантов сформулированы условия подобия осадок фундамента и штампа на том же грунтовом основании. Для каждой ступени деформации основания штампа сформулированы условия подобия сопротивления и деформации фундамента заданных размеров. Приводятся формулы для расчета приращений осадок основания фундамента на каждом заданном шаге приращения давления на его подошве.

Ключевые слова: фундамент, основание, штамп, подобие, микроструктура, цикличность, упругость, вязкопластичность.

Введение

Условия подобия осадки штампа и фундамента отсутствуют, и это лишает возможности непосредственно использовать результаты испытания основания штампом для расчета основания фундамента.

SIMILARITY OF THE FOUNDATION AND STAMPSETTLEMENTS

Liashenko Pavel Alekseevich

Candidate of technical Sciences, associate Professor, professor of Foundation department of Kuban State Agrarian University e-mail: lyseich1@yandex.ru;

Denisenko Viktor Viktorovich

Candidate of technical Sciences, associate Professor, associate professor of the cadastre and geoengineering department of Kuban State Technology University; e-mail: devivi@yandex.ru

Manuscript received: 05.02.2016. Revised: 12.02.2016. Accepted: 28.02.2016. Published online: 28.03.2016. ©RIOR

Abstract. A stepwise increase of settlement of the stamp is illustrated with the cyclic change of the settlement rate. It appears the reconstruction of the microstructure of the soil. The suggesting now microstructure deformation model correlates with the observed effect of stepwise increase of settlement of the stamp. De-

scending branch of the cycle reflects the slow settlement due to elastic resistance of soil, the ascending branch reflects acceleration when moving elements of microstructure on the sliding surfaces at plastic deformation. These elements are microaggregates of clay particles. Their cooperative reaction on the external load creates this macroscopic effect. Both types of deformation and resistance to them are determined by the properties of the microstructure: elastic and viscoplastic characteristics of contacts between its elements and do not depend on the size and shape of the Foundation. On the basis of these invariants are formulated the similarity conditions of the stamp and the Foundation on the same soil. The similarity conditions of the stamp and the Foundation of given sizes has been formed for each step of deformation. Authors give formulas for calculation of incremental settlement of the Foundation on each increment of pressure on its base.

Keywords. foundation, stamp, similarity, microstructure, cyclicity, elastic, viscoplastic.

Применение эквивалентных характеристик деформируемости и прочности [1] не решает проблемы в силу их оторванности от реальных физических свойств грунтов.

Давно ясно, что «в первое время после приложения нагрузки приобретают возможность перемещения те частицы (и их агрегаты), в контактах которых с их соседями наиболее высокие деформирующие напряжения сочетаются с низкими размерами сцепления. Происходящие вначале некоторые перемещения отдельных частиц приводят к изменениям в распределении напряжений в контактах и их повышению в отдельных пунктах. Там, где деформирующие напряжения превысят сцепление, вновь появляется возможность перегруппировки частиц. Подобное вовлечение в движение все новых и новых групп частиц приводит к затягиванию деформаций во времени» [2]. Исследованиями ползучести глин показано, что при деформации микроструктуры «наряду с процессом «залечивания» дефектов происходят смещение частиц и их более плотная упаковка и упрочнение грунта» [3].

Обнаружение ступенчато изменяющегося сопротивления грунта сдвигу [4] и скачкообразного изменения скорости ползучести глин [5] приводят к пониманию того, что влияния перестройки микроструктуры грунта на реакцию макроскопического грунтового тела должно идти через взаимодействие кластеров, осуществляющих кооперативный эффект [6]. Исследования такого рода требуют определенной методики эксперимента и расчетов.

Методика непрерывного нагружения основания

Расчет осадки произведем на основе моделирования штампом работы основания фундамента [6].

Испытание штампом производится при постоянно возрастающем давлении на подошве и непрерывном измерении осадки с малым шагом регистрации значений, не более 0,005 мм. По достижении заданного значения давления производят наблюдение за ползучестью основания при постоянном давлении.

Пусть давление p на подошве штампа возрастает с постоянной скоростью B_p , т. е.

$$p = B_p t, \quad (1)$$

где t – время с начала нагружения.

Осадка штампа $s(p)$ увеличивается неравномерно (рис. 1). Эта неравномерность хорошо иллюстриру-

ется изменением скорости осадки: скорость осадки $V_p(p) = ds/dp$ изменяется циклически (рис. 2).

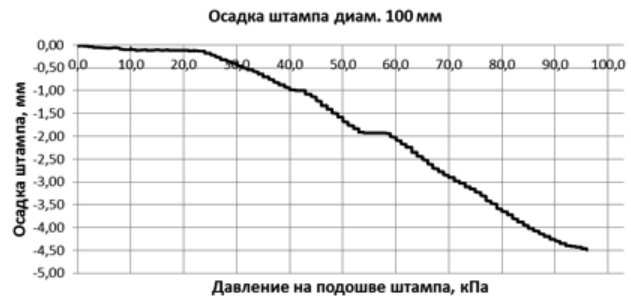


Рис. 1. Диаграмма осадки круглого штампа

Циклы состоят из нисходящей ветви ($\partial s / \partial p < 0$) и восходящей ветви ($\partial s / \partial p > 0$). Обозначим длину нисходящей ветви через $\Delta p_{e,i}$, восходящей – $\Delta p_{r,i}$, длину цикла $\Delta p_i = \Delta p_{e,i} + \Delta p_{r,i}$ а приращения осадки штампа на соответствующих ветвях – через $\Delta s_{e,i}$ и $\Delta s_{r,i}$, где i – номер цикла.

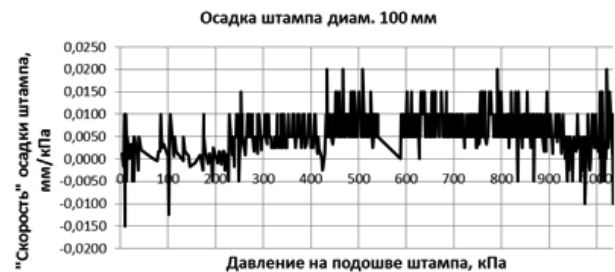


Рис. 2. Диаграмма «скорости» осадки круглого штампа при постоянной скорости увеличения давления 0,11 кПа/с

Критерии подобия основания фундамента и штампа

Предположим, что:

1) каждый цикл отражает приращение поверхностей скольжения в основании штампа (на восходящей ветви) и приращение упругой деформации основания (на нисходящей ветви);

2) сопротивление неупругой деформации на единицу площади поверхности скольжения одинаково для штампа и фундамента на том же основании.

Тогда на основании представления о контактном взаимодействии элементов грунта на поверхностях скольжения запишем условие подобия для приращения сопротивления:

$$\frac{F_r \Delta N_{r,i}^{(fn)}}{\Delta \Phi_i^{(fn)}} = \frac{F_r \Delta N_{r,i}^{(pl)}}{\Delta \Phi_i^{(pl)}}, \quad (2)$$

где F_r – сила обобщенного сопротивления неупругого единичного контакта на поверхностях скольжения; $\Delta N_{r,i}^{(fn)}$ и $\Delta N_{r,i}^{(pl)}$ – приращения числа контактов на поверхностях скольжения фундамента и штампа, осуществляющих кооперативное неупругое сопротивление на приращениях их площадей $\Delta\Phi_i^{(fn)}$ и $\Delta\Phi_i^{(pl)}$, соответственно.

Приращение силы сопротивления основания штампу выразим через сопротивление неупругих контактов по формуле, в которой левая часть измеряется в опыте:

$$\Delta p_{r,i}^{(pl)} A_{pl} = F_r \Delta N_{r,i}^{(pl)}, \quad (3)$$

а сопротивление основания фундамента – по формуле:

$$\Delta p_{r,i}^{(fn)} A_{fn} = F_r \Delta N_{r,i}^{(fn)}. \quad (4)$$

Предположим, что приращение площади поверхностей скольжения пропорционально площади подошвы штампа: $\Delta\Phi_i^{(pl)} = \xi_i^{(pl)} A_{pl}$ и фундамента: $\Delta\Phi_i^{(fn)} = \xi_i^{(fn)} A_{fn}$, где $\xi_i^{(pl)}$ и $\xi_i^{(fn)}$ – коэффициенты относительной плотности поверхностей скольжения в i -ом цикле деформации основания штампа и фундамента, соответственно [7].

При условии, что плотность поверхностей скольжения одинакова как для штампа, так и для фундамента,

$$\xi_i^{(fn)} = \xi_i^{(pl)} \quad (5)$$

получаем, что выполнение условия подобия необходимо задавать равные приращения давления на подошвах штампа и фундамента

$$\Delta p_{r,i}^{(fn)} = \Delta p_{r,i}^{(pl)}. \quad (6)$$

Условие механического подобия геометрически подобных упругих тел запишем для грунта, исходя из представления о контактной передаче напряжений в скелете грунта:

$$\frac{F_{b2} \Delta N_{e,i}^{(fn)}}{A_{fn}} = \frac{F_{b2} \Delta N_{e,i}^{(pl)}}{A_{pl}}, \quad (7)$$

где F_{b2} – сила упругого сопротивления единичного контакта; $\Delta N_{e,i}^{(fn)}$ и $\Delta N_{e,i}^{(pl)}$ – число мобилизованных упругих контактов в основании фундамента и штампа, соответственно.

На нисходящей ветви цикла увеличение внешней нагрузки на нисходящей ветви цикла порождает

увеличение упругого сопротивления межчастичных контактов:

$$\Delta p_{e,i}^{(pl)} A_{pl} = F_{b2} \Delta N_{e,i}^{(pl)}, \quad (8)$$

Подставляя (8) для штампа и такое же представление для фундамента в (7), получаем условие соблюдения механического подобия для геометрически подобных грунтовых тел в виде

$$\Delta p_{e,i}^{(fn)} = \Delta p_{e,i}^{(pl)} \quad (9)$$

Уравнения (2) и (7) составляют **критерий подобия основания фундамента и штампа** на этом же основании:

увеличение числа мобилизованных неупругих контактов на единицу приращения площади поверхностей скольжения одинаково для основания фундамента и для штампа на том же основании;

увеличение числа мобилизованных упругих контактов пропорционально площади фундамента/штампа.
Вычисление приращений осадки фундамента и штампа

Примем, что нисходящая ветвь цикла, описывающая замедление деформации основания, отражает упругую деформацию скелета грунта под действием приращения давления $\Delta p_i = \Delta p_{e,i} + \Delta p_{r,i}$. Тогда осадка штампа на нисходящей ветви в каждом цикле деформации может быть определена как для упругого полупространства по формуле Ф. Шлейхера:

$$\Delta s_{e,i} = \frac{(\Delta p_{e,i} + \Delta p_{r,i}) \lambda_i D \omega (1 - \mu^2)}{C_e}, \quad (10)$$

где λ_i – коэффициент, равный отношению площади опорной площадки уплотненной области грунта под штампом к площади штампа; D – диаметр штампа; ω – коэффициент формы опорной площадки; μ – коэффициент поперечной деформации грунта; C_e – модуль упругой деформации межчастичного контакта [7].

Восходящая ветвь отражает по поверхности скольжения в уплотненной области под штампом. Осадку штампа на восходящей ветви рассчитана с использованием параметров аппроксимации процесса ползучести основания штампа, наблюдаемого при постоянной силе вдавливания. Процесс ползучести удобнее регистрировать, приняв осадку за независимую переменную, поэтому представим длительность процесса как функцию осадки:

$$t_{\eta} = a_{\eta} \exp(b_{\eta} u_t), \quad (11)$$

где a_{η} и b_{η} – параметры аппроксимации.

Осадка штампа на восходящей ветви рассчитывается по формуле:

$$\Delta s_{r,i} = \Delta s_{e,i} \frac{\Delta p_{r,i}}{\Delta p_{e,i}} \left[\ln(\Delta t_{\eta}) - \ln(a_{\eta}) \right] \frac{1}{b_{\eta}}. \quad (12)$$

где $\Delta t_{r,i}^{(pl)} = \Delta p_{r,i}^{(pl)} / B_{pl}$; B_{pl} – скорость увеличения давления на подошве штампа в формуле (1).

Вычисление приращений осадки фундамента производится по формуле (10) при $D = D^{(fn)}$ для упругих частей циклов и по формуле (12) для неупругих частей при заданных интервалах времени нагружения основания фундамента $\Delta t_{\eta}^{(fn)}$. В результате получается последовательность пар значений давления на подошве и осадки фундамента:

$$p_k = \sum_{i=1}^k (p_{e,i} + p_{r,i}) \text{ и } s_k = \sum_{i=1}^k (s_{e,i} + s_{r,i}), \quad (13)$$

Эта последовательность дает представление о развитии осадки основания при заданном давлении с учетом скорости его увеличения. На рис. 3 приведен пример построения диаграммы «давление-осадка» по вычисленным значениям с соблюдением условий подобия штампа диаметром 0,1 м и фундамента диаметром 1,128 м.

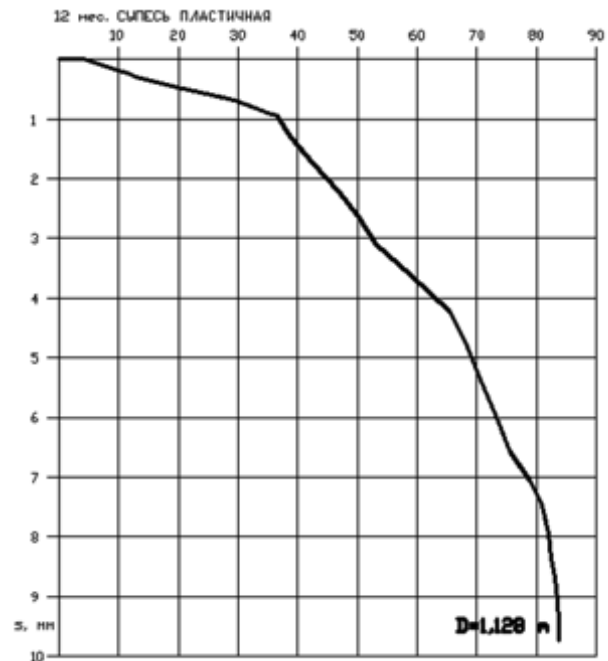


Рис. 3. Диаграмма осадки круглого штампа площадью 1 м², построенная путем вычисления осадки при длительности нагружения 12 месяцев

Литература

1. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 487 с.
2. Денисов Н.Я. Некоторые особенности деформаций глинистых пород // В кн.: Природа прочности и деформаций грунтов, М.: Стройиздат, 1972, с. 85-89.
3. Кинетика структурных деформаций и разрушения глин / Вялов С.С., Зарецкий Ю.К., Максимьяк Р.В., Пекарская Н.К. – В кн.: Труды к Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, М.: Стройиздат, 1973, с. 13-23
4. Покровский Г.И. Исследования по физике грунтов. 1937.
5. Исследование ползучести глинистых грунтов при сдвиге / Тер-Степаян Г.И., Месчан С.Р., Галстян Р.Р. – В кн.: Труды к Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, М.: Стройиздат, 1973, с. 51-63.
6. Шматков В.В. О новом направлении в механике грунтов / Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: Матер. всерос. науч.-техн. конф., г. Новочеркасск: 7-8 июня 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – С. 205-215.
7. Ляшенко П.А. Сопротивление и деформации глинистого грунта. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 160 с.

References

1. Ter-Martirosyan Z.G. Mechanics of soils [Soil mechanics]. Moscow, ASV Publ., 2005, 487 p.
2. Denisov N.Ya. Some features of the deformation of clay rocks. Moscow, Stroiizdat, 1972, pp.85-89
3. Vylov S.S., Zareckiy Yu.K., Maksimyak R.V., Pekarskaya N.K. Kinetics of structural deformations and destruction of clays. Works by International congress on mechanics soil and Foundation engineering. Moscow, Stroiizdat, 1973, pp. 13-23 (In Russian)
4. Pokrovskiy G.I. Issledovania po physics gruntov [Studies on soils physics], 1937
5. Ter-Stepanyan G.I., Meschyan S.R., Galstyan .R.R. Issledovanie polzuchesti glinistih gruntov pri sdvige [A study of creep of clay soils shear]. Moscow, Stroiizdat, pp.51-63
6. Snmatkov V.V. On a new direction in soil mechanics/soil Mechanics in geotechnics and Foundation engineering. Materials international science-technical conference. Novocherkassk. 7-8 June, 2012 (In Russian)
7. Lyashenko P.A. Soprotivlenie i deformatsia glinistogo grunta [Resistance and deformation of clay soil]. Krasnodar, Kyb-GAY, 2014, 160 p.