

П.А. ЛЯШЕНКО¹, В.В. ДЕНИСЕНКО², М.Б. МАРИНИЧЕВ¹¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия

СОПРОТИВЛЕНИЕ ОСНОВАНИЯ БУРОНАБИВНОЙ ВИСЯЧЕЙ СВАИ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация. Испытание статической нагрузкой буронабивной висячей сваи не даёт достаточных данных о сопротивлении глинистых грунтов основания сваи. По результатам стандартного испытания невозможно судить о причинах линейности и нелинейности деформаций основания, об изменениях скорости осадки, о видах сопротивления и распределении усилий, о действии нагружаемой сваи на соседние сваи и подземные конструкции. На основе анализа материалов испытаний и наблюдений за строящимися и эксплуатируемыми сооружениями, лабораторного моделирования и расчётов предложена схема сопротивления по боковой поверхности, под нижним концом сваи и на периферии основания. Часть внешней нагрузки передаётся грунтом на периферию основания трещинами сдвига и отрыва, образующимися в грунтах, хрупко разрушающихся при деформациях под действием упругих сил на контакте грунта с боковой поверхностью и под нижним концом сваи. Реакция грунта на периферии основания содержит как упругую, так и пластическую составляющие вертикальной и горизонтальной ориентаций. Реализация схемы возможна при испытании сваи методом постоянно возрастающей нагрузки с непрерывным измерением деформаций грунта на контакте с боковой поверхностью, на расстоянии от неё с помощью глубинных марок, давления грунта под нижним концом сваи и регистрацией их показаний синхронно регистрации осадки сваи.

Ключевые слова: буронабивные висячие сваи, основание сваи, статическая нагрузка, осадка, скорость осадки, постоянно возрастающая нагрузка, деформации грунта, давление грунта, поверхность скольжения, трещина в грунте.

P.A. LYASHENKO¹, V.V. DENISENKO², M.B. MARINICHEV¹¹FSBEI HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina", Krasnodar, Russia²FSBEI HE "Kuban State Technological University", Krasnodar, Russia

RESISTANCE OF THE BASE OF THE DRILLED HANGED PILES TO EXTERNAL LOAD

Abstract. The static load test of a bored hanging pile does not provide sufficient data on the resistance of clay soils of the pile base. Based on the results of a standard test, it is impossible to judge the causes of linearity and nonlinearity of base deformations, changes in the settlement rate, types of resistance and distribution of forces, and the effect of a loaded pile on adjacent piles and underground structures. Based on the analysis of test materials and observations of structures under construction and in operation, laboratory modeling and calculations, a foundation resistance scheme and methods for determining its parameters are proposed. The diagram includes resistance forces along the lateral surface, under the lower end of the pile and at the periphery of the base. Part of the external load is transferred by the soil to the periphery of the base by shear and separation cracks formed in soils, which are fragilely destroyed during deformations under the action of elastic forces at the contact of the soil with the lateral surface and under the lower end of the pile. The reaction of the soil at the periphery of the base contains both elastic and plastic components of vertical and horizontal orientations. The implementation of the scheme is possible when testing the pile by the method of a constant rate of loading (CRL) with continuous measurement of soil deformations at the contact with the lateral surface, at a distance from it using depth marks, soil pressure under the lower end of the pile and registering their readings synchronously registering pile settlement.

Keywords: bored hanging piles, pile base, static load, settlement, settlement rate, constantly increasing load, soil deformation, soil pressure, sliding surface, crack in the soil.

Введение

Испытание грунтов основания фундамента буронабивной висячей сваей производится по ГОСТ 5686-2012 (Грунты. Методы полевых испытаний сваями) и имеет целью определение вида и размеров свай, их несущей способности и зависимости перемещения свай в грунте от нагрузок и во времени. По требованиям нормы, испытанию подвергается основание сваи, а не грунты, которые его составляют. Грунтовые условия считаются заданными и обсуждению не подлежат. Эта ситуация, помимо внутреннего противоречия в документе, порождает противоречие по существу: грунты испытывают отдельно от основания сваи, и связь их характеристик с сопротивлением сваи внешней нагрузке и деформаций основания сваи неизвестна.

Стандартное испытание основания сваи также порождает вопросы [1, 2]:

– как передаётся вдавливающая сила на грунт основания висячей сваей? Считается [1-5], что через трение на боковой поверхности и нижний конец сваи. Оказывается, что сумма сил трения и сопротивления грунта нижнему концу меньше вдавливающей силы. К чему отнести разницу?

– как возникает горизонтальная составляющая реакции основания сваи при действии на сваю вертикальной вдавливающей силы? Это не понятно, так как расчётные схемы не содержат горизонтальные силы или они включены необоснованно [6, 7];

– почему происходит поднятие ранее размещённых свай на расстоянии 1,2 м от вдавливаемой в моренный суглинок [8]? Известные расчётные схемы не содержат горизонтальные силы и силы, выталкивающие соседние сваи вверх;

– какую часть вдавливающей силы воспринимает грунт под нижним концом сваи? Судя по измеренным усилиям в теле длинных свай, сопротивление грунта под нижним концом в несколько раз меньше вдавливающей силы [1, 2]. Но это противоречит принятым расчётным схемам, согласно которым разница должна быть меньше – на величину силы трения;

– почему сжимающие усилия в стволе сваи уменьшаются с глубиной? Сжимающие усилия в арматуре железобетонной сваи являются, в настоящий момент, наиболее достоверной измеряемой величиной после осадки сваи. Они медленно уменьшаются с глубиной при малых её значениях, на средних глубинах – быстрее, ближе к нижнему – опять медленно, образуя S-образную эпюру [1-4, 9]. Графики такой формы характерны для описания процесса накопления. Можно предположить, что, в данном случае, эпюра описывает накопление какого-то фактора, распределённого вдоль средней части ствола сваи и воспринимающего часть вдавливающей силы.

Анализ производственных испытаний свай показал [10], что осадка сваи растёт неравномерно. В экспериментах с моделями свай при плавном нагружении показано, что при постоянной скорости увеличении вдавливающей силы скорость осадки сваи изменяется циклически [11]. Циклическое изменение реакции образца при сдвиге его с постоянной скоростью [12] и циклическое изменение скорости ползучести грунта [13] известны и связывались авторами с перестройкой микроструктуры грунта, а длины циклов – с размерами неоднородностей на поверхности скольжения. Испытания образцов грунта принимают как элементы взаимодействия свай с грунтовым основанием. Поэтому считаем, что реальной свае, как и её лабораторной модели, присущ эффект цикличности скорости осадки, известный как «эффект Портевена-ЛеШателье» (ЭПЛ).

Испытание сваи постоянно возрастающей нагрузкой

При испытании постоянно возрастающей нагрузкой (ПВН) осадку сваи, вдавливающую силу и время наблюдают непрерывно и регистрируют с шагом 0,005 мм

осадки [11]. По этим данным рассчитывают скорость и ускорение осадки сваи на каждом шаге регистрации, выделяют циклы изменения скорости осадки (ЦСО). В каждом ЦСО на нисходящей ветви скорость осадки уменьшается, что отражает упругое сопротивление основания сваи, а на восходящей – увеличивается, что свидетельствует о разрушении сдвигом грунта в наиболее нагруженных местах в основании сваи. Неоднородности в грунте и на поверхности сваи инициируют разрушение, причём на бетонной поверхности раньше, чем внутри грунтового основания [14]. Разрушение поверхностью скольжения начинается на неоднородностях и тормозится на них, поэтому шаг неоднородностей определяет длины ЦСО.

В некоторых циклах скорость осадки образует всплеск, т. е. значение на восходящей ветви значительно превосходит её значения в предыдущих циклах, что указывает на разрушение грунта с образованием трещин отрыва.

Длины ЦСО легко измеряются по данным испытания методом ПВН: приращения упругой $\Delta s_{e,i}$ и неупругой $\Delta s_{e,r}$ частей осадки, приращения упругого $\Delta P_{e,i}$ и неупругого $\Delta P_{r,i}$ сопротивления. По ним рассчитывают упругую осадку $\Delta s_{ec,i}$ и пластическую $\Delta s_{p,i}$ деформацию основания в i -м ЦСО [15].

В начале нагружения сваи грунт сопротивляется упруго, причём наибольших значений напряжения достигают вблизи головы сваи и нижнего конца. Разрушение грунта начинается сдвигом грунта по бетону на боковой поверхности сваи на участке длиной $a_1 a_2$ (рисунок 1, а). Поверхность скольжения в этом случае совпадает с боковой поверхностью сваи, так на ней сопротивление грунта сдвигу по бетону τ_{s1} меньше, чем сдвигу грунта по грунту τ_{s5} [14]. Предельное сопротивление сдвигу грунта по бетону примем равным τ_{s1} по диаграмме прочности (рисунок 1, б). На остальной поверхности сваи, ниже точки a_2 , упругое сопротивление грунта можно представить решением, соответствующим измеренным значениям $\Delta P_{e,1}$ и $\Delta s_{e,1}$, где e – подстрочный индекс упругой составляющей деформации.

Прочность грунта на 2-м участке $a_2 a_3$ (во 2-м ЦСО) будет больше, чем на участке $a_1 a_2$, за счёт упрочнения во 1-м ЦСО [16, 17] от значения τ_{12} до второй снизу диаграммы на рисунке 1б. Разрушение грунта сдвигом по бетону на $a_2 a_3$ произойдёт при увеличении напряжения до $\tau_2 = \tau_{s2}$. Приращение упругого сопротивления ниже точки a_3 определяется по $\Delta P_{e,2}$ и $\Delta s_{e,2}$.

Аналогично строится решение для участков $a_3 a_4$ и $a_4 a_5$, на которых разрушение упрочнённого грунта сдвигом по бетону произойдёт при $\tau_3 = \tau_{s3}$ и $\tau_4 = \tau_{s4}$, соответственно. Приращения упругих сопротивлений определяются по граничным условиям $(\Delta P_{e,3}; \Delta s_{e,3})$ и $(\Delta P_{e,4}; \Delta s_{e,4})$.

На 5-м участке $a_5 a_g$ упрочнение грунта на контакте с бетоном достигнет пятой кривой, описывающей прочность грунта при сдвиге по грунту $a_3 a_4$, т. е. прочность грунта в массиве.

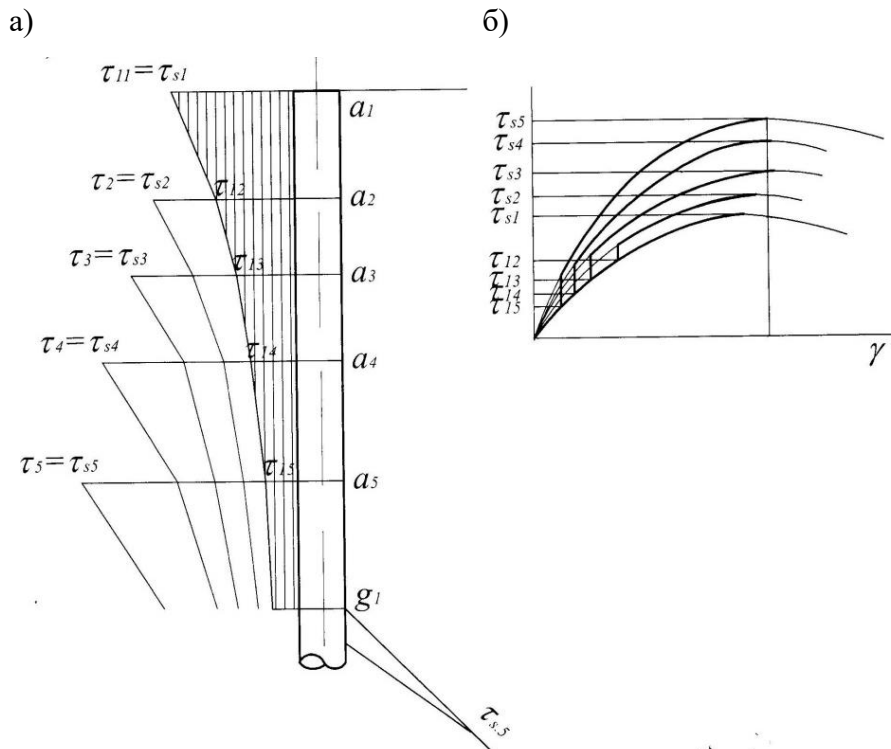


Рисунок 1 – Пластическое сопротивление упрочняющегося грунта в верхней части основания сваи:
 а) эпюры касательных напряжений; б) условия прочности грунта

Разрушение грунта сдвигом по грунту произойдёт теперь не по поверхности сваи, а по площадке максимальных касательных напряжений $\Omega(\tau_{\max} = \tau_{s,5})$, которая наклонена под углом β к оси сваи (рисунок 2) от точки g_1 (рисунок 1, а). В первом приближении, поверхность скольжения ω , образованная площадками Ω , может быть представлена усечённым конусом, а часть её, на которой действуют напряжения τ_{\max} , – коническим поясом на расстоянии L_{cr} от оси сваи (рисунок 2).

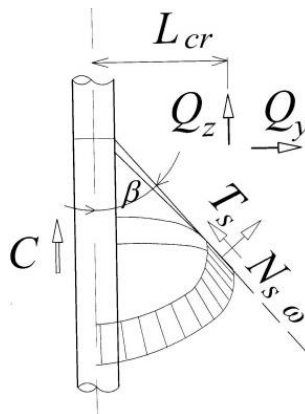


Рисунок 2 – Схема трещины сдвига и отрыва в основании висячей сваи

Другая часть трещины, ближняя к свае, является трещиной отрыва. Для её развития растягивающие напряжения на поверхности конического пояса должны достичь значения $\sigma_{\omega,n} = \sigma_t$, где σ_t – сопротивление грунта отрыву. Интегрирование напряжений $\sigma_{\omega,n}$ и τ_{\max} по коническому поясу даёт соответственно упругую N_s и пластическую T_s составляющие сил сопротивления основания развитию трещины. Расчёт вертикальной Q_z и

горизонтальной Q_y проекций этих сил позволяет оценить влияние нагружаемой сваи на соседние сваи и другие подземные конструкции.

До образования первой трещины свая испытывает, в основном, упругое сопротивление, что порождает видимость линейной зависимости осадки от нагрузки в начале нагружения. На самом деле, эта зависимость имеет скачкообразный вид, и упругая постоянная изменяется, по мере роста осадки, и в каждом ЦСО имеет своё значение, которое определяется по данным испытания сваи $(\Delta P_{e,i}; \Delta s_{e,i})$. Разделение осадки на упругую и неупругую части позволяет также определить значение $\tau_{s,1}$ в каждом ЦСО по значениям $(\Delta P_{r,i}; \Delta s_{p,i})$.

Однако для всех этих расчётов необходимо иметь значения размеров участков поверхности сваи, положение на ней начала (устья) трещины сдвига и отрыва. Для определения длины трещины и её наклона нужны данные о деформациях грунтов вокруг сваи. Эти данные можно получить только экспериментально, измеряя вертикальные деформации грунтов относительно боковой поверхности сваи [11, 15, 18-23]. Для этого на стволе сваи размещают в разных уровнях измерители вертикальной деформации грунта относительно бетонной поверхности ствола сваи (ИДГБС), представляющие собой трубу с боковым продольным сквозным пазом, из которого выступает поворотный элемент, соединённый через передаточный стержень с регистратором его перемещений [18].

Получение данных для схемы сопротивления основания висячей сваи

Образование трещины отрыва в грунте на контакте с боковой поверхностью сваи вызывает всплеск скорости осадки, её неупругой составляющей, так как отрыв протекает быстро и с большой амплитудой. Если всплеск происходит синхронно со всплеском деформации грунтов относительно боковой поверхности сваи, то это указывает однозначно на образование трещины выше (ИДГБС). Это измерение даёт локализацию точки g_1 на рисунке 1.

График изменения скорости осадки сваи содержит несколько всплесков значений, отражающих образование трещин отрыва. Синхронная регистрация всплесков скорости осадки и данных ИДГБС позволяет связать значения вдавливающей силы, осадки и времени с положением устьев трещин на поверхности сваи и получить реальную картину деформаций основания сваи.

Трещины могут быть в грунтах, разрушение которых происходит по схеме хрупкого разрушения. Размеры приращений длины трещины в одном ЦСО тем больше, чем жёстче грунт. Соответствует жёсткости грунта и размер области пластической деформации на продолжении открытой части трещины: она меньше у более жёстких грунтов. Включение трещин сдвига и отрыва в схему сопротивления основания сваи позволяет объяснить более быстрое нарастание осадки жёсткого («прочного») грунта, по сравнению с пластичным («слабым»), которое наблюдается при испытаниях свай в стадии нелинейной осадки [1, 5].

Для определения длин трещин и углов их наклона к оси сваи требуется установка вокруг ствола сваи по замкнутому контуру в плане глубинных марок [24] на тех же уровнях, что и ИДГБС, и непрерывное наблюдение за вертикальными перемещениями глубинных марок [7, 19, 21]. Регистрация вертикальных перемещений глубинных марок синхронно осадке сваи и с такой же точностью, как осадки сваи, даёт доказательство причинно-следственной связи этих величин и позволяет оценить размеры основания сваи в горизонтальном направлении.

Расчёты сопротивления сваи внешней нагрузке

Образование трещины в грунте вызывает разгрузку его от напряжений, в данном случае, вблизи устья и на боковой поверхности сваи. Напряжения концентрируются в

кончике трещины и уравниваются внутренними силами, обеспечивающими прочность грунта на сдвиг и отрыв. Граничными условиями для их расчёта являются приращения вдавливающей силы и осадки сваи ($\Delta P_{r,i}; \Delta s_{p,i}$) на восходящей ветви i -го ЦСО, а характеристиками – прочность грунта на сдвиг T_s и отрыв N_s (рисунок 2). Тогда для включения внутренних сил в условия равновесия рассчитывают вертикальные и горизонтальные их составляющие: Q_z и Q_y .

Для составления условий равновесия сваи необходимо также прямое измерение давления грунта на нижний конец сваи путем размещения под нижним концом сваи датчика давления. Оно может изменяться в связи с разрушением грунта поверхностями скольжения [6, 7]. Будучи синхронизировано с измерением осадки сваи, оно также может быть разделено на упругую и неупругую составляющие.

Уравнения равновесия имеют вид:

– на первой стадии испытания (рисунок 3, а):

$$P = T + C + R, \quad (1)$$

– в начале второй стадии (рисунок 3, б):

$$P = T + C_1 + Q_{z1} + Q_{zb} + R, \quad (2)$$

– в конце второй стадии (рисунок 3, в):

$$P = T + \sum_{j=1}^5 C_j + \sum_{j=1}^5 Q_{zj} + Q_{zb} + R, \quad (3)$$

где j – число трещин отрыва, равное числу всплесков скорости осадки сваи (в нашем примере $j = 5$).

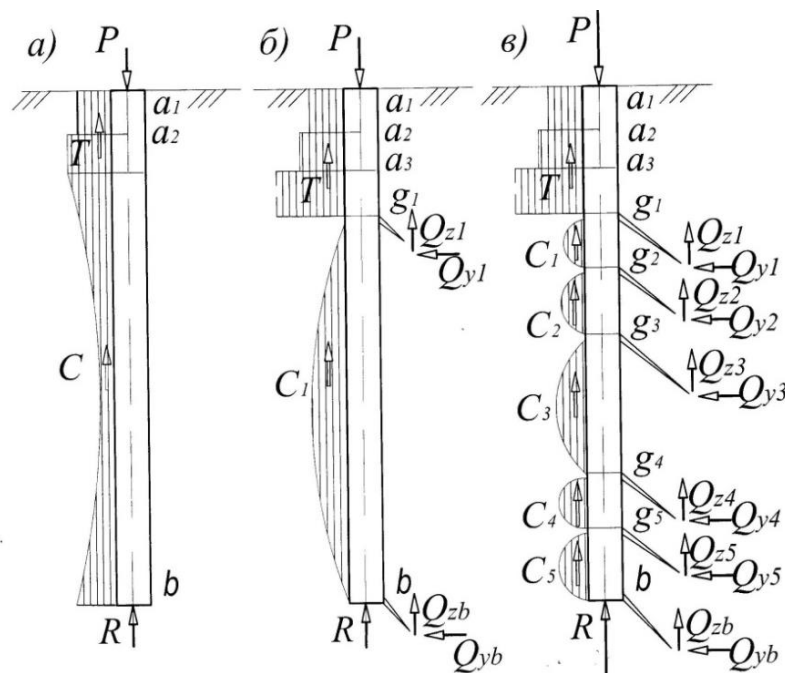


Рисунок 3 – Распределение сил и напряжений в основании висячей сваи:

а) – на первой стадии испытания; б) – в начале второй стадии; в) – в конце второй стадии испытания

Разделение на упругую и пластическую составляющие увеличивает вдвое число уравнений. Например, уравнение (1) перепишем для i -го ЦСО:

$$\Delta P_{e,i} = \Delta C_i + \Delta R_{e,i}, \quad (1a)$$

$$\Delta P_{p.i} = \Delta T_i + \Delta R_{p.i}, \quad (16)$$

а уравнение (2) перепишем для i -го ЦСО:

$$\Delta P_{e.i} = \Delta C_{1.i} + \Delta Q_{zli} + \Delta Q_{zbi} + \Delta R_{e.i}, \quad (2a)$$

$$\Delta P_{p.i} = \Delta Q_{zp1.i} + \Delta Q_{zbp.i} + \Delta R_{p.i}, \quad (26)$$

где p – подстрочный индекс пластической составляющей деформации.

Уравнения (1a)-(2б) включают упругую $\Delta R_{e.i}$ и неупругую $\Delta R_{r.i}$ составляющие силы сопротивления грунта R под нижним концом сваи. Эти величины должны быть измерены и зарегистрированы также синхронно осадке сваи.

Следует отметить, что все величины в уравнениях (1)-(3) и (1a)-(2б) изменяются от цикла к циклу, по мере увеличения осадки сваи. Но некоторые из них можно «заморозить», исходя из перераспределения напряжений, например, значение T во второй стадии испытания или C_1 при расчёте на участке сваи $g_2 g_3$ и т. д.

В целом, расчётная схема висячей сваи предполагает предельное состояние грунта на боковой поверхности («трение») только на участке $a_1 g_1$, до первой трещины. Ниже точки g_1 грунт сопротивляется упруго силами $C_1 \dots C_5$ на участках боковой поверхности, разделённых трещинами, а также упруго и неупруго – на периферии основания и под нижним концом сваи. Расчёт по такой схеме даёт большую долю упругого сопротивления, что подтверждается поднятием свай после разгрузки при испытаниях статической нагрузкой [1].

Реакция грунта на периферии основания сваи имеет, в основном, упругий характер, за исключением пластической области вблизи кончика трещины. Она распределена в объёме сваи. Для длинных свай важно то, что силы реакции распределены по длине сваи.

Реакция грунта на периферии основания содержит горизонтальную составляющую Q_{yj} , обусловленную косым (под острым углом к оси сваи) направлением траектории трещин сдвига и отрыва в хрупко деформирующихся грунтах (рисунок 3, в). В сыпучих грунтах трещины сдвига (поверхности скольжения) направлены под углом к оси сваи, зависящим от главных направлений и угла внутреннего трения сыпучего грунта. В «слабых» (пластичных) грунтах трением по боковой поверхности можно пренебречь;

Из уравнений (1)-(3) видно, что сжимающие усилия в стволе сваи, уменьшаются сверху вниз. Действительно, обозначим сжимающую силу в сечении g_1 через R_{g1} . Из уравнения (2) получаем:

$$R_{g1} = P_1 - T - C_1, \quad (4)$$

в j -м сечении

$$R_{gj} = P_j - T - \sum C_j. \quad (5)$$

Сравнение уравнений (2) с (4) и (3) с (5) показывает, что для висячей сваи уменьшение сжимающей силы с глубиной закономерно и объясняется кумулятивным действием упругого сопротивления на боковой поверхности, что и подтверждается измерениями [1-3].

Выводы

1. Вдавливающая сила передаётся на грунт через боковую поверхность висячей сваи и её нижний конец, как силами трения, так и упругими напряжениями, но часть её

воспринимается периферией основания, отстоящей от боковой поверхности на расстояние распространения трещин сдвига и отрыва.

2. Периферические силы определяют действие нагружаемой сваи на соседние сваи, передавая им часть вдавливающей силы. Направление сил задают трещины сдвига и отрыва. Вертикальная составляющая периферических сил может быть направлена как вниз, так и вверх, в зависимости от соотношения жёсткостей грунтов и соседних конструкций.

3. Предлагаемая расчётная схема основания буронабивной висячей сваи позволяет объяснить следующие эффекты в ее поведении под нагрузкой:

– осадка сваи происходит неравномерно, а скорость осадки изменяется циклически. Этот эффект вызван перестройкой микроструктуры грунта, а длины циклов определяются размерами неоднородностей на поверхностях скольжения;

– скорость осадки сваи испытывает всплески значений. Они вызваны образованием в грунте основания трещин сдвига и отрыва;

– сжимающие силы в стволе сваи уменьшаются с глубиной. Это закономерно, так как часть внешней нагрузки на сваю передаётся грунтом на периферию основания;

– начальный участок испытания сваи (до первого всплеска скорости осадки) представляется линейной зависимостью осадки от вдавливающей силы потому, что в сопротивлении основания сваи на этом участке преобладают упругие деформации грунта;

– более быстрое нарастание осадки более жёсткого грунта, по сравнению с пластичным, которое наблюдается при испытаниях свай в стадии нелинейной осадки, объясняется более быстрым распространением в нём трещин сдвига и отрыва.

4. Испытание грунтов основания буронабивной висячей сваи должно производиться высокотехнологичным способом: с применением метода постоянно возрастающей нагрузки при непрерывном наблюдении за осадкой, с измерением вертикальных деформаций грунта относительно боковой поверхности сваи, вертикальных перемещений глубинных марок, давления грунта под нижним концом сваи и регистрацией всех параметров синхронно осадке сваи с шагом 0,005 мм осадки сваи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Готман А.Л. Расчет одиночных свай и свайных фундаментов (доклад) // Герсевановские чтения 15 марта 2017 г., Новосибирск: Товарищество сибирских геотехников, 2017.
2. Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З., Сидоров В.В. Взаимодействие длинных свай с окружающим грунтом с учетом нелинейных и реологических свойств в условиях высотного строительства // 100+ Forum Russia 2019 - международный форум и выставка высотного и уникального строительства с 29 октября по 1 ноября 2019, Екатеринбург, 2019.
3. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков В.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1994. 384 с.
4. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К., Россихин Ю.В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1975. 240 с.
5. Метс М., Мусатова Е. Определение несущей способности свай с помощью статических и динамических испытаний // Междунар. науч-тех конф.: Геотехника Беларуси: наука и практика. Минск: БНТУ, 23-25.10.2013. С. 178-194.
6. Григорян А.А., Иванов Е.С. Несущая способность и способ устройства свай в лессовых грунтах. В кн.: Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. М.: Стройиздат, 1973. С. 140-150.
7. Григорян А.А. Расчет оснований свайных фундаментов в свете решения задач механики грунтов // Труды Международной научно-практической конф. по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству. Т.1, Пермь, 2004. С. 200-205.
8. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов (обследование, расчёты, ведение работ, мониторинг). М.: изд-во АСВ, 1999. 327 с.
9. Трофименков Ю.Г., Бахолдин Б.В., Швец В.Б. и др. Совершенствование методов определения несущей способности свай. В кн.: Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. М.: Стройиздат, 1973. С. 150-161.

10. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Обобщенные характеристики в глинистых грунтах буронабивных свай // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 5. С. 24-30.
11. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Исследования работы оснований буронабивных свай // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2019. № 7. С. 18-23.
12. Покровский Г.И. Исследования по физике грунтов. М.-Л.: Гл. ред. строит. лит., 1937. 135 с.
13. Тер-Степанян Г.И. Явление скачкообразной перестройки структуры грунтов при деформировании // Инженерная геология. 1988. № 3. С. 11-26.
14. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Трение грунта на поверхности соприкосновения с бетоном сваи // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 1. С. 24-30.
15. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Совершенствование технологии испытания буронабивной висячей сваи // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 12-20.
16. Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 200 с.
17. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Гохаев Д.В. и др. Упрочнение и разупрочнение глинистого грунта // Научный журнал КубГАУ. №120(06). URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/103.pdf>.
18. Устройство для измерения сдвиговых деформаций грунта относительно поверхности бетонной конструкции / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. // Заявка на изобретение РФ № 2020105074 от 3.02.2020 г.
19. Россихин Ю.В., Битайнис А.Г. Осадки строящихся сооружений. Рига: Зинатне, 1980. 339 с.
20. Мирсаяпов И.Т., Артемьев Д.А. Полевые испытания плитно-свайного фундамента // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства. Матер. Междунар. конф. (г. Пермь, 18-19.10.2011 г.). Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. С. 169-173.
21. Мирсаяпов И.Т., Артемьев Д.А. Особенности деформирования основания плитно-свайных фундаментов // ЮРГТУ(НПИ). 2012. С. 230-236.
22. Галиуллин Р.Р., Мирсаяпов И.Т. Исследование осадок плитно-свайных фундаментов при режимных циклических и статических нагружениях // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 138-143.
23. Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Мариничев М.Б. Учёт взаимодействия бетонных свай в основании фундамента // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2020. № 6. С. 27-33.
24. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: НИИОСП им. Н.Г. Герсеванова, 1975. 156 с.

REFERENCES

1. Gotman A.L. Calculation of single piles and pile foundations (report) // Gersevanov readings on 15 March 2017, Novosibirsk: Association of Siberian Geotechnicians, 2017.
2. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V. Interaction of long piles with surrounding soil, taking into account nonlinear and rheological properties in high-rise construction conditions // 100+ Forum Russia 2019 - international forum and exhibition of high-rise and unique construction from October 29 to November 1, 2019, Yekaterinburg, 2019.
3. Bartolomey A.A., Omelchak I.M., Yushkov V.S. Forecast of the sediment of pile foundations. M.: Stroyizdat, 1994. 384 p.
4. Dalmatov B.I., Lapshin F.K., Rossikhin Y.V. Design of pile foundations in soft soil conditions. L.: Stroyizdat, Leningrad. department, 1975. 240 p.
5. Mets M., Musatova E. Determination of the bearing capacity of piles using static and dynamic tests // Mezhdunar. scientific-technical conference: Geotechnics of Belarus: science and practice (Minsk, BNTU - 23-25.10.2013). P. 178-194.
6. Grigoryan A.A., Ivanov E.S. Bearing capacity and method of piling in loess soils. - In the book: Proceedings for the VIII International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering. M.: Stroyizdat, 1973. P. 140-150.
7. Grigoryan A.A. Calculation of the foundations of pile foundations in the light of solving problems of soil mechanics // Proceedings of the International Scientific and Practical Conf. on the problems of soil mechanics, foundation construction and transport construction. Vol. 1, Perm, 2004. P. 200-205.
8. Ulitskiy V.M., Shashkin A.G. Geotechnical support for city reconstruction (inspection, calculations, work, monitoring). Moscow: ASV Publishing House, 1999. 327 p.
9. Trofimenkov Y.G., Bakholdin B.V., Shvets V.B. and other Improvement of methods for determining the bearing capacity of piles // In the book: Proceedings for the VIII International Congress on soil mechanics and foundation engineering. M.: Stroyizdat, 1973 .S. 150-161.
10. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Generalized characteristics of bored piles in clay soils // Construction: new technologies - new equipment. 2019. № 5. P. 24-30.

11. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Research of the work of the foundations of bored piles // Construction: new technologies - new equipment. 2019. № 7. P. 18-23.
12. Pokrovsky G.I. Research in soil physics. M.-L. : Ch. ed. builds. lit., 1937. 135 p.
13. Ter-Stepanyan G.I. Phenomenon of jump-like rearrangement of soil structure during deformation // Engineering Geology. 1988. № 3. P. 11-26.
14. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Friction of soil on the surface of contact with concrete of the pile // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 1. P. 24-30.
15. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Improvement of testing technology for bored hanging piles // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. P. 12-20.
16. Ter-Martirosyan Z.G. Rheological parameters of soil and calculations of the foundations of structures. M.: Stroyizdat, 1990. 200 p.
17. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Gokhaev D.V. and others. Strengthening and softening of clay soil // Scientific journal KubGAU, №120 (06). URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/103.pdf>.
18. Device for measuring shear deformations of soil relative to the surface of a concrete structure / Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. // Application for invention of the Russian Federation № 2020105074 dated 02.03.2020.
19. Rossikhin Y.V., Bitainis A.G. Precipitation of structures under construction. Riga: Zinatne, 1980. 339 p.
20. Mirsayapov I.T., Artemiev D.A. Field tests of the slab-pile foundation // Deep foundations and problems of the development of underground space. Mater. Int. conf. (Perm, 18-19.10.2011), Perm: PNRPU Publishing House, 2011. P. 169-173.
21. Mirsayapov I.T., Artemiev D.A. Peculiarities of deformation of the base of slab-pile foundations // YURSTU (NPI), 2012. P. 230-236.
22. Galiullin R.R., Mirsayapov I.T. Investigation of the settlement of slab-pile foundations under regime cyclic and static loading // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2016. Vol. 1. P. 138-143.
23. Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Marinichev M.B. Accounting for the interaction of concrete piles at the base of the foundation // Construction: new technologies - new equipment. 2020. № 6. P. 27-33.
24. Guidance on observation of deformations of foundations and foundations of buildings and structures. M.: NIOSPthem. N.G. Gersevanov, 1975. 156 p.

Информация об авторах:

Ляшенко Павел Алексеевич

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.
E-mail: lyseich1@yandex.ru.

Денисенко Виктор Викторович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры кадастра и геоинженерии.
E-mail: denvivi@yandex.ru.

Мариничев Максим Борисович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Россия, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры оснований и фундаментов.
E-mail: marinichev@list.ru.

Information about authors:

Lyashenko Pavel A.

FSBEI HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina ", Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.
E-mail: lyseich1@yandex.ru.

Denisenko Viktor V.

FSBEI HE "Kuban State Technological University", Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of cadastre and geoen지니어ing.
E-mail: denvivi@yandex.ru.

Marinichev Maxim B.

FSBEI HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina ", Krasnodar, Russia, candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of foundations and foundations.
E-mail: marinichev@list.ru