

Калачук Т.Г., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

gkadastr@mail.ru

В последние годы наблюдается неуклонное увеличение строительства в сложных инженерно-геологических условиях. Все чаще используются для строительства площадки, сложенные слабыми грунтами. Указанные грунты в природном состоянии имеют невысокую несущую способность. В этих условиях прибегают к устройству фундаментов из свай. Создание методов, позволяющих на стадии проектирования расчетным путем получать достоверные результаты, равноценные данным статических испытаний, является актуальной задачей.

В статье обосновывается необходимость проектирования фундаментов на строительных площадках, сложенных слабыми грунтами, с учетом возможности полного замачивания.

Ключевые слова: слабые грунты, свая, свайный фундамент, проектирование, строительство, несущая способность, прочностные и деформационные характеристики.

Проблема рационального проектирования фундаментов является одной из актуальных в области современного фундаментостроения.

Наиболее остро эта проблема стоит при проектировании и строительстве на слабых структурно-неустойчивых грунтах.

В настоящее время в строительстве находят широкое применение свайные фундаменты. Этому способствуют:

а) значительное снижение объема земляных работ, сокращение сроков строительства и т. д.;

б) высокая механовооруженность строительства позволяет забивать в грунт сваи значительной длины, достигать более плотных слоев грунта и передавать на них большие нагрузки;

в) длинные сваи, воспринимая сравнительно большие нагрузки, дают относительно малые осадки;

г) фундамент из забивных свай высокоиндустриальны;

д) в сложных инженерно-геологических условиях свайный вариант зачастую оказывается и единственно возможным видом фундаментов.

Наибольшее распространение получили цельные призматические ж/бетонные сваи. Размеры поперечных сечений выпускаемых свай от 0,2×0,2 м до 0,4×0,4 м, длиной до 2,0 м. Объем свай, изготавливаемых в грунте, не превышает 10...15 % от общего объема свайных фундаментов. Но доля набивных свай возрастает.

Верхнюю часть свай – голову, воспринимающую удары молота при забивке, и свайный наконечник, выполняемый в виде пирамиды, армируют дополнительными сетками и спиралями из арматурной проволоки.

При забивке ударные нагрузки передаются грунту, вызывая мгновенные пластические деформации. Осадка сваи от каждого динамического воздействия происходит за счет сдвигов, развивающихся в грунте. При погружении сваи

грунтовые частицы из-под острия выдавливаются в сторону и вверх. Если глубина забивки небольшая, то значительным является выпор грунта на поверхность. Наибольший подъем поверхности (на расстоянии до bd , где d – сторона сечения сваи) происходит при водонасыщенных глинистых грунтах.

Для повышения эффективности свай требуется совершенствование определения их несущей способности на стадии проектирования. Развивается метод расчета с использованием прочностных и деформационных характеристик грунта (угла внутреннего трения, удельного сцепления, модуля деформации). Особое внимание следует уделять при определении показателя консистенции – I_L .

По классификационному признаку все висячие сваи подразделяют на сваи, устраиваемые: с полным извлечением грунта в их объеме; с частичным вытеснением грунта и частичным извлечением его.

К первой группе относятся буровые сваи, которые изготавливают путем заполнения бетоном предварительно пробуренных скважин. Ко второй группе относятся сваи, погружаемые в лидирующие скважины. К третьей группе относятся сваи, погружаемые в грунт в готовом виде.

С увеличением заглубления под острием сваи проявляется так называемый внутренний выпор, который формируется вокруг сваи при дальнейшем ее погружении в пластическую зону. В некотором объеме, прилегающем к этой зоне, грунт переходит в упругое состояние. Зоны уплотнения вокруг сваи имеют форму цилиндра диаметром до $7...8d$. Грунт, расположенный в непосредственной близости (10...15 см) от сваи, перемещается вниз, образуя воронку глубиной до 10...20 см.

Горизонтальные смещения грунта по опытным данным достигает максимальных размеров в зоне до двух диаметров сваи, а небольшие

смещения имеют место даже на расстоянии, превышающем 10 диаметров.

При забивке свай в глинистые грунты наблюдается снижение прочности последних в связях и перераспределение воды, содержащейся в порах. При забивке возникает избыточный гидростатический напор, под действием которого уменьшается объем пузырьков воздуха, содержащегося в порах. За счет этого происходит уплотнение грунта.

Несущая способность боковой поверхности свай определяется эффективным давлением, передаваемым на грунт. Постепенно поровое давление в грунте, окружающем сваю, снижается, а эффективное растет. Этот процесс продолжается от нескольких часов до 3–х дней. Значительно дольше может продолжаться возрастание прочностных характеристик грунта за счет сцепления коагуляционных связей.

Связанное, с засасыванием увеличение несущей способности свай, погруженных в супеси, практически заканчивается спустя 7...9 дней, в суглинках через 13...17 дней, а в глинах этот процесс продолжается до 30 и более дней.

После погружения свай в песчаный грунт вокруг них можно выделить кольцевые зоны уплотнения в радиусе 2...4-х диаметров, в зависимости от первоначальной плотности грунта.

Ниже острия сваи грунт уплотняется приблизительно до $4d$. Размеры уплотненных зон определяются плотностью и чувствительностью грунтов, а также зависят от их влажности. Например, зона уплотнения под острием свай, погруженных в водонасыщенные илистые грунты, составляет только $2d$.

В маловлажных песчаных грунтах несущая способность свай во времени обычно снижается. Это объясняется тем, что под концом сваи при забивке образуется зона уплотнения, в пределах которой грунт испытывает большие напряжения. После прекращения погружения сваи начинается процесс релаксации напряжений, происходит разуплотнение этого грунта, что приводит к уменьшению несущей способности свай.

При погружении свай в водонасыщенные мелки и пылеватые пески, происходит разжижение песков. Несущая способность свай возрастает в течение 3–х суток после погружения, поэтому в общем случае несущая способность для всех песчаных грунтов следует определять, по крайней мере, после трехсуточного отдыха.

Из-за динамического воздействия разрушаются невосстанавливающиеся структурные связи между частицами, но вследствие уплотнения грунта может повышаться водноколлоидная составляющая сцепления.

Сопротивление острия сваи при забивке зависит от глубины его погружения. Сопротивление в однородном грунте увеличивается до определенной глубины, а затем остается практически постоянным. Срабатывает действие арочного эффекта.

В начале нагружения забивной сваи усилие на грунт передается верхней частью боковой поверхности. С увеличением нагрузки в работу вступает вся боковая поверхность. При дальнейшем загрузении боковая поверхность и острие работают совместно.

Сдвиг под нагрузкой наблюдается по грунту непосредственно около тела сваи. Сопротивление сдвигу на данной глубине зависит от давления обжатия, действующего на ствол, и от прочностных характеристик грунта. Под нижним концом сваи образуется уплотненная зона в форме параболоида. Непосредственно к острию примыкает уплотненное грунтовое ядро, образовавшееся еще при забивке сваи.

Непосредственно к острию примыкает уплотненное грунтовое ядро, образовавшееся еще при забивке сваи. Начиная с определенной нагрузки, в грунте под острием образуются площадки, по которым касательные усилия достигают значения сопротивления сдвигу, растущие зоны пластических деформаций взаимодействуют с окружающим грунтом, уплотняя его в основном в горизонтальном направлении. После достижения предельной нагрузки, которой соответствует образование внутреннего выпора под острием, свая приобретает значительную осадку.

Инженерный метод расчета рассматриваемых свай на вертикальную нагрузку может быть разработан с использованием следующих положений:

1. Сопротивление сваи при любой осадке складывается из сопротивления грунта по боковой поверхности и сопротивления грунта под нижним концом сваи.

2. Сопротивление сваи по боковой поверхности развивается полностью при сравнительно небольших, так называемых сдвиговых осадках.

3. Максимальное удельное сопротивление по боковой поверхности сваи в слое грунта, имеющем прочностные характеристики: – угол внутреннего трения и C – сцепление, определяются по формуле

$$f = (p + p') \cdot \tan + C, \quad (2)$$

где p – горизонтальное давление на ствол, возникающее вследствие погружения сваи; p' – дополнительное горизонтальное давление, проявляющееся при загрузении сваи статической нагрузкой.

4. Внедрение свай эквивалентно расширению полости в грунте от нулевого радиуса до радиуса свай. Однако после образования пластической области вокруг свай давление обжатия грунта падает.

5. Осадка одиночной свай складывается из осадки за счет обжатия основания напряжениями от сил трения, развивающихся по боковой поверхности свай, и осадки за счет уплотнения фунта ниже острия в основном в горизонтальном направлении.

6. Развитие осадок во времени предопределяется релаксационными явлениями, которые будут наблюдаться в грунте под острием свай.

7. Прочностные характеристики и модуль деформации грунта определяется в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для изготовления свай применяют бетон класса не ниже В 15. В качестве висячих свай целесообразно использовать пирамидальные и клиновидные свай, которые могут иметь треугольное или квадратное сечение с размерами сторон головы $b \times b$ $b = 0,3 \times 0,3 \dots 0,8 \times 0,8$ м и подошвы $a \times a = 0,05 \times 0,5 (0,05 \times 0,6) \dots 0,2 \times 0,2 (0,2 \times 0,8)$ м. Длина свай L составляет 1-8 м.

При погружении пирамидальной свай в грунт вокруг нее образуется уплотненная зона под действием нормальных напряжений, передаваемых на грунт наклонными боковыми поверхностями, поэтому и пирамидальные свай могут воспринимать большие нагрузки по сравнению с призматическими при значительно меньших размерах и, следовательно, меньших затратах материалов на изготовление.

Наибольший интерес представляет вопрос проектирования и строительства на слабых грунтах. К слабым грунтам, наиболее часто встречающимся при строительстве инженерных сооружений, относятся: водонасыщенные песчаные и глинистые грунты; лессовые просадочные грунты; сильносжимаемые грунты (просадочные грунты при подъеме уровня подземных вод).

Расчет свайных фундаментов и их оснований производится по предельным состояниям двух групп.

Первая группа:

- по прочности конструкции свай и свайных ростверков;

- по несущей способности грунта основания свайных фундаментов и свай;

- по устойчивости основания свайных фундаментов, если на них передаются горизонтальные нагрузки, или если основания ограничены откосами, а также сложены крутопадающими слоями грунта.

Вторая группа:

- по осадкам оснований свайных фундаментов от вертикальных нагрузок;

- по перемещениям свай (вертикальным, горизонтальным r) и углом поворота головы свай (совместно с грунтом оснований от действия вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов (приложение к СНиП 2.02.03–85);

- по образованию или раскрытию трещин в элементах ж/бетонных свайных фундаментов (СНиП 2.02.03–85).

Свайные фундаменты следует проектировать с учетом возможности полного замачивания просадочных грунтов в основании фундаментов.

Исключение составляют те случаи, когда по прогнозу в соответствии с гидрогеологическими условиями и условиями эксплуатации зданий подъем уровня подземных вод или местное замачивание невозможно (или предусматриваются водозащитные мероприятия); полностью замоченными просадочными грунтами считаются при $S_r \leq 0,8$.

Просадочные грунты (мощностью просадочного слоя до 30 м), прочностные и деформационные характеристики которых снижаются при замачивании, рекомендуется прорезать полностью. Если же прорезка указанных грунтов в конкретных случаях экономически нецелесообразно, то в грунтовых условиях I типа просадочности для зданий и сооружений III класса допускается устройство свай (кроме свай-оболочек) с заглублением нижних концом не менее чем на 1 м в слой грунта с относительной просадочностью $[s_l < 0,02$ при давлении не менее 300 кПа (3 кгс/см²)] и не менее давления, соответствующего давлению от собственного веса грунта и нагрузки на его поверхности при условии, что в этом случае обеспечивается несущая способность свай, а суммарные значения возможных просадочных и осадочных основания не превышают предельных значений для здания и сооружения при неравномерном замачивании.

Расчет свай по несущей способности (вертикальные и горизонтальные нагрузки и моменты) следует выполнять в соответствии с указаниями раздела 4 (приложение №1) СНиП 2.02.03–85, с учетом следующих дополнительных условий:

- если возможны местное или аварийное замачивание грунтов, или подъем уровня подземных вод, расчетное сопротивление просадочных грунтов под нижним концом R и на боковой поверхности f свай, коэффициент пропорциональности K и модуль деформации E следует принимать по величине показателя консистенции грунта I_L .

$$I_l^* = \frac{l \cdot \gamma_w - W_p}{\gamma_s - W_p}, \quad (3)$$

где l – коэффициент пористости просадочного грунта; w – удельный вес воды ($W = 1 \text{ тс/м}^3$; 10 кН/м^3); s – удельный вес грунта, тс/м (кН/м); W_l и W_p – влажность просадочного грунта, соответственно на границе раскатывания и на границе текучести в долях единицах.

При $I_l < 0,4$, следует принимать $I_L = 0,4$.

Если возможно только местное замачивание части грунта просадочной толщи в пределах сваи, то расчетные сопротивления просадочных грунтов R и f следует умножить на дополнительный коэффициент условий работы $m_g = 1,4$; если невозможен подъем уровня подземных вод или не возможно расчетное замачивание просадочных грунтов, то R следует определять при I_L в природном залегании.

Но возможно медленное повышение влажности просадочного грунта основания до влажности на границе раскатывания W_p , вызвано нарушением природных условий испытания; если $W > W_p$, то характеристики грунтов должны назначаться при фактической влажности (природной) грунта (W); если площадка сложена грунтами II типа просадочности, а величина ожидаемой просадки превышает предельно допустимую величину осадки для проектируемого здания, то должно учитываться появление на боковой поверхности негативное трение грунта.

Если возможно замачивание грунтов основания, то во всех расчетах значение угла внутреннего трения и удельное сцепление C для просадочных грунтов должны приниматься применительно к их полному водонасыщению, т.е. при степени влажности грунта $S_r > 0,8$.

Силами негативного (отрицательного) трения называются силы, возникающие на боковой поверхности сваи при осадке околосвайного куста и направлены вертикально вниз.

При расчете фундаментов из нескольких свай, подвергающихся действию сил отрицательного трения, в число расчетных нагрузок на условный фундамент включается величина расчетного значения сил отрицательного трения, действующие на куст свай.

Силы отрицательного трения, действующие на сваи внутри куста, не могут превосходить массу его грунта (расположенного внутри куста), который при расчете свайных фундаментов включает в собственную массу условного фундамента. Поэтому их учитывают только по периметру куста.

Расчет свайных фундаментов по предельным состояниям второй группы (по деформаци-

ям) производят с учетом их возможных неравномерных осадок вследствие локального замачивания основания. В грунтовых условиях второго типа просадочности при расчете деформаций следует учитывать возможность дополнительной просадки грунтовой толщи вместе со сваями на замачиваемом участке от действия собственной массы грунта.

При этом расчет по деформациям – осадкам свайного фундамента из висячих свай и его основания производится как для условного фундамента на естественном основании, исходя из условия:

$$S < S_{np}$$

где S – возможная не равномерная осадка или перемещение свайного фундамента; S_{np} – предельная величина неравномерной осадки зданий и сооружений на свайных фундаментах, устанавливаемая заданием на проектирование.

Анализируя перспективы развития дорожного строительства, выполняемые проектные и строительные работы, можно заключить, что до 90% капвложений будут использоваться, в первую очередь, для Украины и черноземной полосы России на реконструкцию и капитальный ремонт автодорог. Естественно, в такой же пропорции будут реконструироваться искусственные сооружения на дорогах. В большинстве случаев, в связи с повышением интенсивности движения, потребуется увеличить габариты сооружения, а как следствие, будут увеличиваться нагрузки на основание (F). Учитывая выше сказанное, определенное значение приобретают вопросы установления действительно несущей способности основания на момент реконструкции, а так же применение методов погружения свай (и самих конструкция свай), которые позволяли бы снижать динамический эффект на существующие здания. Особенно это важно для сооружений длительно эксплуатирующихся, и если в конструкциях имеет место существенные дефект и повреждения. В большинстве случаев несущая способность свайного основания повышается при длительной эксплуатации сооружения.

Таким образом, можно заключить, что при проектировании и строительстве искусственных сооружений, необходимо максимально учитывать реальные инженерно-геологические условия и состояния конструкций.

Для объективной оценки работы свай 0,5 % их общего количества на площадке (но не менее 2-х штук) должно быть испытано статической нагрузкой. Но из-за огромной стоимости и трудоемкости статических испытаний они выполняются примерно в 10 раз реже, чем это требуется, что приводит к большому перерасходу ма-

териалов и снижению качеству строительства. Поэтому создания методов, позволяющих на стадии проектирования расчетным путем получить достоверные результаты, равноценные данным статических испытаний, является актуальнейшей задачей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн М.Н., Шугаев В.В. О характере деформаций лессовых грунтов под фундаментами в процессе замачивания. Вопросы строительства на лессовых грунтах. Доклады Межвузовской научной конференции. Воронеж, 1961.
2. Джетенов А.К., Куликов Г.В. Исследования просадочных лессовых грунтов в лабораторных и полевых условиях. Труды ТПИ, вып. IX, Ашхабад, 1971.
3. Крутов В.И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах. М.: Стройиздат, 1972.
4. Раевский И.Е. Влияние размеров штампов на характер просадки лессовых грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1962. №5.
5. Саватеев С.С. Некоторые вопросы проектирования гидротехнических сооружений и расчета лессовых подпорных оснований: дис. ... к.т.н. М., 1969.
6. Черныш А.С., Карякин В.Ф., Ашихмин П.С. Исследование работы висячей сваи в массиве укрепленного грунта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. №3. С. 22-27.
7. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1977.

Kalachuk T.G.

TO THE QUESTION OF DESIGN AND CONSTRUCTION ON WEAK SOIL

In recent years the steady increase in construction in difficult engineering-geological conditions is observed. Even more often used for construction of a platform, put by weak soil. The specified soil in a natural state has the low bearing ability. In these conditions resort to the device of the bases from piles. Creation of the methods allowing to receive at a design stage in the settlement way reliable results, equivalent to data of static tests is an actual task.

Need of design of the bases on the building sites put by weak soil taking into account possibility of full soaking locates in article.

Key words: *weak soil, the pile, the pile base, design, construction bearing ability, strength and deformation characteristics.*