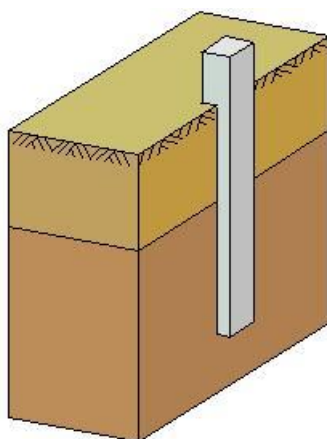


510 – Железобетонная свая



Программа предназначена для подбора сваи согласно СП 24.13330.2021 [1]. Предусмотрены следующие расчеты: проверка прочности грунта основания сваи, проверка допустимости давления на грунт боковой поверхностью сваи, проверка прочности материала сваи, проверка допустимости горизонтального перемещения и угла поворота головы сваи, расчет по образованию и раскрытию трещин в свае, расчет осадки сваи.

Для висячей сваи подбирается размер сечения и ее длина, для сваи-стойки - размер сечения и глубина заделки сваи в скальный грунт.

Предусмотрено задание слоев грунта с нулевым сопротивлением и слоев грунта с заданным сопротивлением. Предусмотрено задание просадочного грунта.

1. Свая

При задании сваи указывается тип сваи по характеру работы в грунте (висячая свая или свая-стойка) и вид сваи по способу заглубления в грунт (забивная, набивная, буровая, свая-оболочка). Рассматриваются забивные железобетонные сваи квадратного и круглого сечения, набивные бетонные и железобетонные сваи, указанные в [1], 6.4а,б; буровые железобетонные сваи, указанные в [1], 6.5а,б,д; сваи-оболочки, погружаемые без выемки грунта или погружаемые с выемкой грунта и заполняемые бетоном. Для висячих набивных и буровых свай предусмотрено задание уширения пяты сваи.

При подборе сваи требуется задать минимальный и максимальный размеры сечения, а также величину приращения размера. Для висячей сваи требуется задать минимальную длину сваи. Для набивной и буровой сваи-стойки, а также для сваи-оболочки, заполняемой бетоном, требуется задать максимальную глубину заделки сваи в скальный грунт. При подборе полый сваи требуется задать диаметр полости, при подборе сваи-оболочки – толщину стенки сваи, при подборе сваи с уширением - диаметр уширения. Эти значения рассматриваются как фиксированные.

Глубина погружения забивной сваи принимается с учетом требований [1], 8.14, глубина погружения буровой сваи – с учетом требований [1], 7.2.7. При расчете предполагается, что толщина слоя грунта, принятого за основание под нижний конец сваи, является достаточной для применимости формул, по которым определяется сопротивление грунта под нижним концом сваи. При подборе длины сваи учитывается заданное минимальное расстояние от сваи до подошвы слоя, в который заглублен нижний конец сваи.

При наличии просадочного грунта предполагается, что свая прорезает все слои просадочного грунта и заглубляется в непросадочный грунт, для которого выполняются требования [1], 9.3.

Возможно задание шарнирного или жесткого сопряжения сваи с ростверком. Вид сопряжения учитывается при расчете сваи на действие горизонтальных сил. При шарнирном сопряжении ненулевыми являются как горизонтальное перемещение u , так и угол поворота φ головы сваи, а при жестком сопряжении отлично от нуля только горизонтальное перемещение u головы сваи. Для сваи-стойки, заделываемой в скальный грунт, предусмотрено задание граничного условия на нижнем конце сваи. Оно применяется при расчете сваи на горизонтальную нагрузку. При шарнирном опирании полагается равным нулю перемещение, а при жесткой заделке - перемещение и поворот. Граничное условие ставится на уровне кровли скального грунта.

2. Грунт

Грунт, в который заглублена свая, может состоять из нескольких горизонтальных слоев с различными физико-механическими характеристиками (рис.1). Предполагается, что последний заданный слой подстилается скальным грунтом.

Для каждого слоя грунта задается удельный вес γ_s твердых частиц, удельный вес γ грунта природной влажности и природная влажность W (%). Для глинистого грунта задаются влажность на границе раскатывания W_p и влажность на границе текучести W_L . Вместо W_p и W_L могут задаваться число пластичности I_p и показатель текучести I_L .

Коэффициент пористости грунта определяется по формуле

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} \left(1 + \frac{W}{100}\right) - 1$$

Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии определяется по формуле

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1 + e}$$

Удельный вес водонасыщенного грунта с учетом взвешивающего действия воды определяется по формуле

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

Степень водонасыщения грунта определяется по формуле

$$S_r = \frac{W}{100e} \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Число пластичности глинистого грунта вводится формулой

$$I_p = W_L - W_p$$

Показатель текучести глинистого грунта выражается по формуле

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

При учете просадочного грунта применяется показатель текучести при водонасыщении грунта, определяемый согласно [1], (9.1) по формуле

$$I_{Lsat} = \frac{ke\gamma_w / \gamma_s - w_p}{w_L - w_p}$$

$$w_p = W_p / 100, \quad w_L = W_L / 100$$

В приведенных формулах γ_w - удельный вес воды ($\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$).

Схема геологического разреза

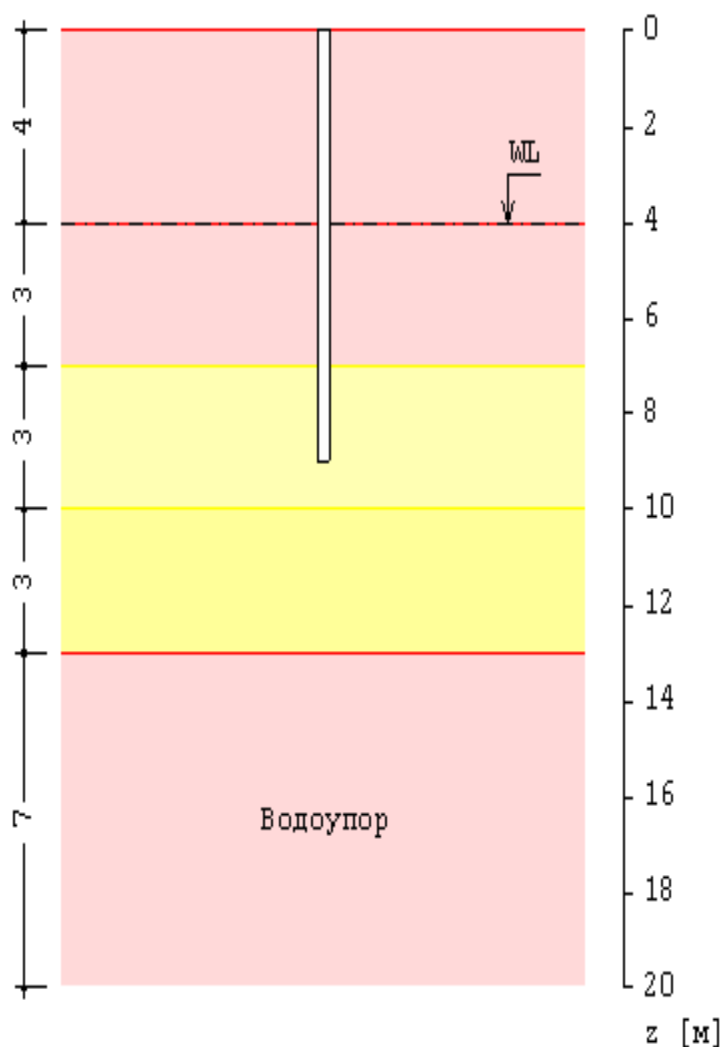


Рис. 1. Пример задания грунта

Для каждого слоя грунта (за исключением грунта с нулевым сопротивлением) задаются удельное сцепление c , угол внутреннего трения φ , модуль деформации E , коэффициент Пуассона ν . При отсутствии ввода для ν автоматически применяются значения, указанные в нормах. Значения c , φ , E для грунта, залегающего ниже уровня подземных вод, но выше водоупора, должны задаваться для водонасыщенного состояния.

При наличии просадочного грунта учитываются особенности расчета сваи в просадочном грунте согласно [1], раздел 9. При вводе данных сначала задаются один или несколько слоев просадочного грунта, а затем задаются слои непросадочного грунта. Расчет сваи производится при условии замачивания просадочного грунта сверху до полного водонасыщения. Расчетное сопротивление f на боковой поверхности сваи при расчете сваи на вертикальную нагрузку и коэффициент пропорциональности K в выражении для коэффициента постели при расчете сваи на горизонтальную нагрузку определяются при

показателе текучести грунта в водонасыщенном состоянии I_{Lsat} . Удельное сцепление c , угол внутреннего трения φ и модуль деформации E для просадочного грунта должны задаваться для водонасыщенного состояния.

Тип грунтовых условий по просадочности определяется в зависимости от величины просадки от собственного веса грунта. В грунтовых условиях I типа просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см. В грунтовых условиях II типа просадка от собственного веса грунта превышает 5 см. При определении типа грунтовых условий используются зависимости относительной просадочности ε_{sl} от давления p для заданных слоев просадочного грунта (рис.2), полученные при испытаниях просадочных грунтов в компрессионном приборе согласно [4]. На основе графиков относительной просадочности вычисляется просадка грунта на уровне головы сваи. Если просадка не превышает 5 см, то грунтовые условия относятся к I типу и расчет сваи проводится аналогично расчету для непросадочного грунта, но с применением физико-механических характеристик просадочного грунта в водонасыщенном состоянии. В грунтовых условиях II типа учитывается действие на сваю отрицательных сил трения, возникающих при просадке околосвайного грунта. Силы трения учитываются до глубины h_{sl} , на которой просадка грунта равна 5 см. Суммарная сила трения грунта P_n учитывается с коэффициентом условий работы $\gamma_{cn} \leq 0.8$ при проверке прочности грунта основания свай и учитывается с полным значением при проверке прочности материала свай при вертикальной нагрузке. Сопротивление f грунта на боковой поверхности свай при действии сжимающей нагрузки учитывается от глубины h_{sl} до глубины погружения нижнего конца свай.

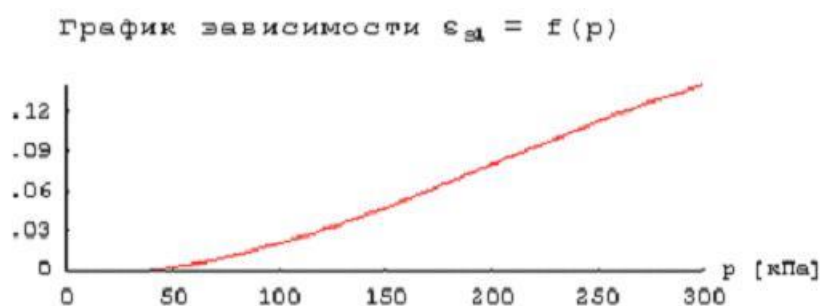


Рис. 2. Пример зависимости относительной просадочности от давления

Суммарная отрицательная сила трения P_n определяется по формулам [1], 9.10

$$P_n = u \sum_0^{h_{sl}} \tau_i h_i$$

$$\tau_i = \zeta \sigma_{zg} \operatorname{tg} \varphi_I + c_I$$

Здесь u - периметр сечения свай, φ_I, c_I - значения угла внутреннего трения и удельного сцепления, $\zeta = (0.55/n)(1+z)^{-0.5}$, n - пористость грунта, $n = e/(1+e)$.

При отсутствии просадочного грунта предусмотрен учет отрицательных сил трения грунта согласно [1], 7.2.11-7.2.13. Форма ввода исходных данных позволяет учесть

требования указанных пунктов норм. В программе определяется равнодействующая P_n отрицательных сил трения, которая рассматривается как дополнительная вертикальная нагрузка на сваю. Сила P_n учитывается при проверке прочности грунта основания сваи при сжимающей нагрузке, при проверке прочности материала сваи и при расчете осадки.

При учете взвешивающего действия воды задаются номера первого и последнего водонасыщенных слоев грунта. При отсутствии водоупорного слоя ввод номера последнего слоя не требуется. При наличии водоупорного слоя учитывается давление воды на кровлю водоупорного слоя. На эпюре напряжения от собственного веса грунта на уровне кровли водоупорного слоя возникает скачок напряжения. Предполагается, что уровень подземных вод ниже просадочного грунта.

3. Нагрузки

Нагрузка на сваю состоит из вертикальной силы N , горизонтальных сил H_1, H_2 и моментов M_1, M_2 . Сила H_1 и момент M_1 действуют в плоскости оси 1, сила H_2 и момент M_2 - в плоскости оси 2. Вертикальная сила положительна, если она действует сверху вниз. Горизонтальная сила положительна, если она действует в положительном направлении соответствующей координатной оси. Положительные направления моментов совпадают с направлениями моментов горизонтальных сил относительно нижнего конца сваи.

Классификация и комбинирование нагрузок принимаются согласно [2]. Нагрузки подразделяются на постоянные, длительные, кратковременные, особые и сейсмические. Комбинирование нагрузок представляет собой генерацию множества возможных комбинаций нагрузок с учетом коэффициентов надежности по нагрузке γ_f и коэффициентов, связанных с одновременным учетом двух и более временных нагрузок. При наличии особых и/или сейсмических нагрузок наряду с основными комбинациями генерируются также особые комбинации.

Проверки по первой группе предельных состояний проводятся для расчетных ($\gamma_f > 1$) основных и особых комбинаций нагрузок, а проверки по второй группе – для нормативных ($\gamma_f = 1$) основных комбинаций. Если при подборе сваи требуется обеспечить отсутствие трещин, то расчет по образованию трещин согласно [3] проводится для расчетных ($\gamma_f > 1$) основных комбинаций нагрузок.

Собственный вес сваи учитывается при проверке прочности грунта основания сваи, при проверке прочности материала сваи и при расчете осадки. При действии сжимающей нагрузки на сваю применяется заданный коэффициент надежности $\gamma_f > 1$, а при действии выдергивающей нагрузки принимается $\gamma_f = 1$.

4. Расчет сваи и ее основания

При расчете сваи и ее основания по предельным состояниям первой группы проводятся следующие проверки: проверка прочности грунта основания сваи при действии на сваю вертикальной силы (сжимающей или выдергивающей), проверка допустимости давления на грунт боковой поверхностью сваи при действии на сваю горизонтальных сил и моментов,

проверка прочности материала сваи при действии на сваю вертикальной силы, горизонтальных сил и моментов. При расчете по предельным состояниям второй группы проводятся следующие проверки: проверка допустимости горизонтального перемещения и угла поворота головы сваи при действии горизонтальных сил и моментов, проверка трещиностойкости при действии вертикальной силы, горизонтальных сил и моментов.

Условия проверок представляются в виде

$$V/V_u \leq 1$$

Здесь V - рассчитанное значение силового или деформационного фактора, V_u - его предельное значение. Отношение V/V_u рассматривается как критерий при поиске наиболее опасных комбинаций нагрузок.

Напряженно-деформированное состояние сваи при действии горизонтальных сил и моментов определяется путем численного решения задачи статики для стержня в упругой среде с переменным коэффициентом постели. Краевые условия в верхнем сечении стержня соответствуют заданному виду сопряжения сваи с ростверком. При рассмотрении висячей сваи нижний конец стержня принимается свободным, а при рассмотрении сваи-стойки нижний конец сваи принимается закрепленным согласно заданному граничному условию. Условия на нижнем конце могут иметь значение в случае коротких свай.

Проверка прочности материала сваи проводится согласно [3]. При подборе размеров сваи также производится подбор продольной арматуры в свае по требуемой площади арматуры, определяемой расчетом по прочности для всех комбинаций нагрузок. Расстояние от контура сечения сваи до центров арматурных стержней первоначально определяется по заданному максимальному диаметру стержней и толщине защитного слоя бетона. После вычисления требуемой площади арматуры и подбора стержней уточняется расстояние до центров стержней и расчет повторяется. В случае сваи квадратного сечения первоначально подбор проводится для схемы армирования с четырьмя стержнями, расположенными вблизи углов сечения. Если четырех стержней максимального диаметра не достаточно, то проводится подбор для схемы армирования с дополнительными стержнями, расположенными вблизи середин сторон сечения. В случае круглой сваи число стержней при подборе арматуры принимается не менее 4.

В необходимых случаях арматура подбирается с учетом обеспечения трещиностойкости сваи.

Предусмотрено определение длины анкеровки стержней в случае, если в голове сваи требуется продольная арматура. Длина анкеровки в общем случае выводится для растянутых и для сжатых стержней.

Расчет по образованию и раскрытию трещин, нормальных к оси сваи, проводится согласно [3], 8.2.3-8.2.7, 8.2.14, 8.2.15, 8.2.17, 8.2.18. Расчет по трещиностойкости не проводится, если не выполняются условия прочности материала сваи.

Предусмотрена проверка устойчивости сваи на действие касательных сил морозного пучения грунта согласно [1], приложение Ж.

5. Расчет осадки сваи

Расчет осадки сваи проводится согласно [1], 7.4.2, 7.4.3 в случае сваи без уширения пяты по формуле

$$s = \beta \frac{N}{G_1 l}$$

а в случае сваи с уширением пяты по формуле

$$s = \frac{0.22N}{G_2 d_b} + \frac{Nl}{EA}$$

Вертикальная сила N включает вертикальную нагрузку на сваю, вес сваи и отрицательную силу трения проседающих слоев грунта.

Литература

1. СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты»
2. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»
3. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»
4. ГОСТ 23161-78 Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности