517 – Трубобетонная свая

Программа предназначена для подбора висячей забивной трубобетонной сваи согласно СП 24.13330.2011 [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, проверка допустимости осадки сваи.

1. Свая

Рассматривается трубобетонная свая, представляющая собой стальную трубу, заполненную бетоном (рис.1). В общем случае предполагается, что голова сваи находится выше поверхности грунта. Длина части сваи над грунтом обозначается через l_0, а длина части сваи в грунте – через l. Предполагается, что $l_0 \geq 0$, $l > 3$ м. При расчете применяются две вертикальных оси координат. Координата z_0 отсчитывается от подошвы ростверка, координата z - от поверхности грунта.

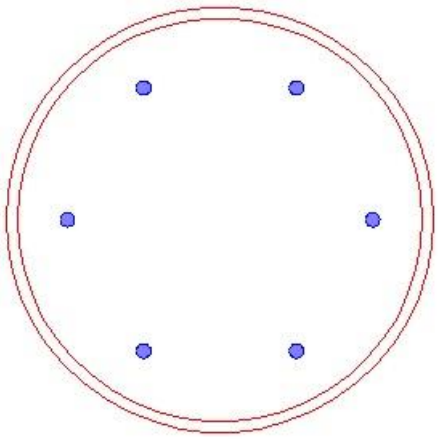

Рис. 1. Сечение сваи

При подборе сваи применяются следующие сортаменты: труба бесшовная горячекатаная по ГОСТ 8732-78*, труба электросварная по ГОСТ 10704-91. Помимо задания сортамента при подборе сваи требуется задать максимальный диаметр трубы, минимальное и максимальное значения длины части сваи в грунте. Длина части сваи над грунтом не изменяется.

Глубина погружения сваи принимается с учетом требований [1], 8.14. 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 рассмотрении фундамента с многорядным расположением свай 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 ψ головы сваи, а при жестком сопряжении отлично от нуля только горизонтальное перемещение u головы сваи.

2. Грунт

Грунт, в который заглублена свая, может состоять из нескольких горизонтальных слоев с различными физико-механическими характеристиками. Предполагается, что последний заданный слой подстилается скальным грунтом. Для каждого слоя грунта 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 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.

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 определении осадки.

3. Нагрузки

В случае фундамента с однорядным расположением свай нагрузка на сваю, помимо вертикальной силы N, включает горизонтальную силу H и момент M, действующие в плоскости, перпендикулярной к оси ряда свай. Положительное направление момента M совпадает с направлением момента горизонтальной силы H относительно нижнего конца сваи. В случае фундамента с многорядным расположением свай нагрузка на сваю состоит из вертикальной силы N и горизонтальных сил H_1, H_2, действующих в направлении осей 1,2.

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.

Собственный вес сваи учитывается при проверке прочности грунта основания сваи, при проверке прочности материала сваи и при определении 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 и 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 допустимости осадки сваи.

Условия проверок представляются в виде

$$V / V_u \le 1$$

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 нагрузок определяется путем численного решения задачи статики для стержня, часть которого расположена в упругой среде с кусочно-линейным коэффициентом постели. Краевые условия в верхнем сечении стержня соответствуют заданному виду сопряжения сваи с ростверком. Нижний конец стержня принимается свободным.

Проверка прочности материала сваи проводится согласно [3], [4] на основе диаграмм деформирования бетона, арматуры и конструкционной стали. Для сжатого бетона применяется трехлинейная диаграмма согласно [4], 6.1.20. Для арматуры в зависимости от ее класса применяется двухлинейная или трехлинейная диаграмма согласно [4], 6.2.14, 6.2.15. Для конструкционной стали применяется диаграмма типа Прандтля. Если не допускается пластическая деформация конструкционной стали, то предельная деформация принимается равной $\gamma_c R_y / E$. В противном случае предельная деформация может быть задана любым значением, не превышающим 25 промилле. Предусмотрена корректировка сопротивления сжатого бетона и сопротивления при сжатии металла трубы согласно [3], 7.2.1.2 и 7.2.1.3.

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

Расчет осадки сваи проводится согласно [1], 7.4.2, 7.4.3 по формуле

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

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

Литература

1. СП 24.13330.2011: Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – Минрегион России, 2010.

2. СП 20.13330.2016: Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – Минстрой России, 2016.

3. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. – М.: 2016.

4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - Минрегион России, 2012.