

УДК 624.15

**РАСЧЕТ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПО НОРМАМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
И EUROCODE7 «GEOTECHNICALDESIGN» (PART 1)****А.Я. ТЕРЕНТЬЕВ, В.В. БОНДАРЬ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Н.Г. ЛОБАЧЕВА)*

Приведен сравнительный анализ методик расчетов несущей способности забивных и буронабивных железобетонных свай по данным статического зондирования согласно действующим нормативным документам Республики Беларусь и EUROCODE 7 «Geotechnical design» (part 1).

Происходящая в последние годы глобализация мирового экономического и социального пространства предполагает выработку унифицированных, общепризнанных основ для интеграции. Поэтому на данный момент является актуальной задача о «гармонизации» европейских норм с нормами Республики Беларусь.

Еврокоды – это нормативные документы в области строительства, согласованные на уровне Евросоюза и рекомендованные к применению странами-членами союза с учетом национальных особенностей. Национальные приложения к еврокодам предусматривают дополнительные требования к отдельным параметрам строительства, которые могут быть выше, но не ниже общеевропейских. Эти требования каждая страна определяет самостоятельно.

В данной работе рассмотрены нормы Республики Беларусь по проектированию ТКП 45-5.01-256-2012 «Сваи забивные», ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты» и Технический кодекс Еврокод 7 «Геотехническое проектирование», приведен сравнительный анализ различий методов проектирования и расчета свайных фундаментов.

В национальных нормах Республики Беларусь и Еврокоде 7 есть ряд похожих положений в проектировании по предельным состояниям. Однако, несмотря на существующие принципы и расчеты, результаты проектирования остаются различными. Прямое использование европейских норм без учета национальных особенностей проектирования и расчета фундаментов в Республики Беларусь невозможно.

По ТКП основания и фундаменты должны рассчитываться по двум группам предельных состояний: первая группа – по потере несущей способности (потеря устойчивости, формы, различные виды разрушения материалов: просадка, выпор, трещины и др.), вторая – по деформациям (непригодности к эксплуатации всего сооружения или его отдельных частей).

Еврокод 7 также рекомендует выполнять расчет по двум группам предельных состояний, однако в отличие от ТКП более расширен диапазон случаев расчета.

Первое предельное состояния включает в себя следующие расчеты:

- «потеря устойчивости сооружением или основанием, которые считаются телами большой жесткости, где прочность конструкционных материалов и грунта играет незначительную роль в обеспечении несущей способности (EQU), например, опрокидывание подпорного сооружения на скальной породе;

- «внутреннее разрушение или чрезмерная деформация сооружения или его строительных элементов, включая фундаменты, сваи, подвальные стены и т.д., для которых прочность строительных материалов играет решающую роль в обеспечении несущей способности (STR)»;

- «разрушение или чрезмерная деформация основания, для которого прочность грунта или скальной породы являются определяющими в обеспечении несущей способности (GEO)», например, общая устойчивость, несущая способность фундаментов на естественном основании или свайных фундаментов;

- «потеря устойчивости сооружением или основанием вследствие увеличения гидростатического давления воды (взвешивающее действие) или выпора грунта (UPL)»;

- «гидравлический подъем, внутренняя эрозия и вымывание грунта, вызванные гидравлическими градиентами (HYD)».

Второе предельное состояние включает в себя такие расчеты:

- чрезмерные деформации (прогибы, углы поворота и т.д.);

- вибрации;

- местные деформации.

Анализ последних достижений и публикаций. В лекции [4] приводятся примеры проектирования свайных фундаментов, на которые воздействует осевая нагрузка: на основе испытания грунта и испытаний свай на нагружение. В статье [5] приведены отличия при проектировании плитных фундаментов по нормам Республики Беларусь и европейским нормам. Авторы [6; 7] объясняют и комментируют статьи Еврокода 7, содержащие новые подходы к проектированию, приводят примеры расчета свайных фундаментов по европейским нормам.

Выделение нерешенных прежде частей общей проблемы. Несмотря на повышенный интерес известных ученых к избранной проблематике, «гармонизация» расчета свайных фундаментов по данным статического зондирования по национальным и европейским нормам не теряет актуальности. Эти вопросы остаются нераскрытыми сполна, что требует их дальнейшего развития.

Проведение сравнения расчета несущей способности по данным статического зондирования забивных и буронабивных железобетонных свай по национальным и европейским нормам проектирования – *цель данной работы.*

Для расчета свайных фундаментов в данной работе были приняты результаты статического зондирования на территории Витебской области Республики Беларусь, представленные в таблице.

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов

Инженерно-геологические элементы, грунт	Удельный вес, кН/м ³		Удельное сцепление, кПа		Угол внутреннего трения, град		Модуль деформации, МПа
	γ_n	γ_{II}	c_n	c_{II}	φ_n	φ_{II}	
1. Насыпной слой	19,80	19,4	$R_0 = 80$ кПа				
2. Глина тугопластичная средней прочности	19,6	19,5	38	38	14	14	12
3. Суглинок моренный тугопластичный средней прочности	21,4	21,3	30	30	25	25	6
4. Суглинок моренный полутвердый прочный	21,6	21,6	42	42	26	26	19

Примечания:

1. Характеристики относятся к грунтам ненарушенного сложения и природной влажности.
2. Вертикальная нагрузка на свайный фундамент принята условно и составляет 2000 кН.

Первая часть данной работы заключается в расчете свайного фундамента по национальным нормам Республики Беларусь.

Расчет забивных железобетонных свай по национальным нормам Республики Беларусь

Принимаем железобетонные сваи квадратного сечения с поперечным сечением 0,4×0,4 м длиной 6 м. Глубина заделки сваи в ростверк $l_3 = 0,5$ м. Принимаем глубину заложения ростверка 1,6 м.

Площадь поперечного сечения $A_c = 0,16$ м², периметр $U_i = 1,6$ м.

Определяем несущую способность по грунту F_d , кН, забивной сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам статического зондирования согласно [1].

Среднее предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи по данным статического зондирования в рассматриваемой точке:

$$R_s = \beta_{li} \cdot \bar{q}_{sl} = 0,83 \cdot 3,38 = 2,8 \text{ МПа}, \quad (1)$$

где β_{li} принимаем по таблице 7.7 [1].

Среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности забивной сваи

$$\bar{R}_{fs} = \frac{\sum_1^n \beta_{2i} \bar{f}_{sl} h_{sl}}{h} = \frac{0,435 \cdot 92,44 \cdot 0,93 + 1,235 \cdot 25,03 \cdot 1,1 + 0,817 \cdot 64,23 \cdot 3,47}{5,5} = 46,09 \text{ кПа}, \quad (2)$$

где β_{2i} принимаем по таблице 7.7 [1].

Частные значения предельного сопротивления оснований свай определяем по формуле [1]:

$$F_u = 2800 \cdot 0,16 + 46,09 \cdot 5,5 \cdot 1,6 = 853,59 \text{ кПа}.$$

Для одного испытания $F_d = F_u$.

Расчет буронабивных железобетонных свай по национальным нормам Республики Беларусь

Принимаем железобетонные сваи круглого сечения с поперечным сечением $d = 0,4$ м, длиной 6 м. Площадь поперечного сечения $A_c = 0,1256$ м², периметр $U_i = 1,256$ м. Глубина заделки сваи в ростверк $l_3 = 0,5$ м. Принимаем глубину заложения ростверка 1,6 м.

Расчет производим по формулам [1].

$$F_u = 2800 \cdot 0,126 + 46,09 \cdot 5,5 \cdot 1,256 = 670,07 \text{ кПа}.$$

Для одного испытания $F_d = F_u$.

Расчет свай по данным статического зондирования по Еврокод 7

При проектировании на основе результатов полевых испытаний грунта допускается применение альтернативной процедуры, которая во многих европейских странах является традиционной в практике строительства. Процедура направлена на определение характеристических значений сопротивления по основанию сваи и трения по боковой поверхности q_{bk} и q_{sik} исходя из параметров грунта с помощью уравнений и графиков соответствующего вычислительного метода.

Тогда

$$R_{bk} = q_{bk}A_b; \quad (3)$$

$$R_{sk} = \sum q_{sik}A_{si}, \quad (4)$$

где A_b и A_{si} – область основания сваи и поверхность ствола сваи в слое i .

В нормах не уточняется, какие величины должны использоваться при альтернативном подходе: характеристические значения параметров грунта или более «традиционные» величины. Однако в примечании указывается: если «используются значения частных коэффициентов γ_b и γ_s , рекомендуемые в приложении А, может потребоваться их корректировка с помощью коэффициента моделирования больше 1,0. Величина коэффициента моделирования может определяться по Национальному приложению [3]. Это объясняется тем, что в данной процедуре не применяется коэффициент корректировки ξ .

Согласно альтернативной процедуре изменчивость грунта рассматривается способом, отличающимся от метода, основывающегося на результатах испытания статической нагрузкой или от процедуры «модельной сваи», основывающейся на результатах испытаний грунта. Поскольку частные коэффициенты γ_b , γ_s и γ_t (табл. А.6, А.7 и А.8 [3]) применяются в сочетании с коэффициентами они могут быть неприменимы с «альтернативной» процедурой. Коэффициент моделирования, возможно, должен быть введен или напрямую включен при расчете значений $q_{b,k}$ и $q_{s,k}$.

Предположение А. Вычисленные значения q_s и q_b могут рассматриваться как характеристические, поскольку они получены с постоянным учетом N . Поэтому считаем, что величины рекомендуемые в приложении А EN 1997-1 применимы без привлечения коэффициента сопротивления модели, если он больше 1.

Предположение Б. Вычисленные значения q_s и q_b не могут рассматриваться как характеристические, так как они основываются на величинах N , которые неточны, а нормы для расчета недостаточно консервативны. Поэтому можно считать, что величины рекомендуемые в приложении А EN 1997-1 применимы с привлечением коэффициента модели сопротивления, если он больше единицы, для данного примера принимаем $\gamma_{Rd} = 1,1$.

Расчет забивных свай по Еврокод 7

Расчет ведем по формулам (3), (4).

Предположение А

$R_{c,d}$ – несущая способность сваи (расчетное значение).

$$R_{c,d} = 512 + 115,39 = 627,39 \text{ кН.}$$

Предположение Б

$$R_{c,d} = 465,45 + 104,9 = 570,35 \text{ кН.}$$

Расчет буронабивных свай по Еврокод 7

Предположение А

$R_k = R_{cal}$

$$R_k = R_{b,k} + R_{s,k} = 400 + 365,57 = 765,57 \text{ кН.}$$

Предположение Б

$$R_k = \frac{R_{cal}}{\gamma_{Rd}} = \frac{765,57}{1,25} = 612,46 \text{ кН.}$$

Результаты выполненных исследований проиллюстрированы рисунками 1, 2.

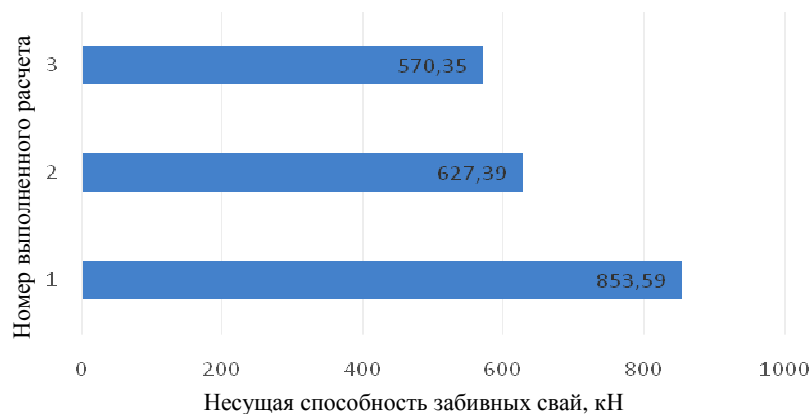


Рис. 1. Несущая способность забивной сваи по данным статического зондирования, полученная при расчете: 1 – ТКП; 2 – Еврокод 7 (предположение А); 3 – Еврокод 7 (предположение Б)

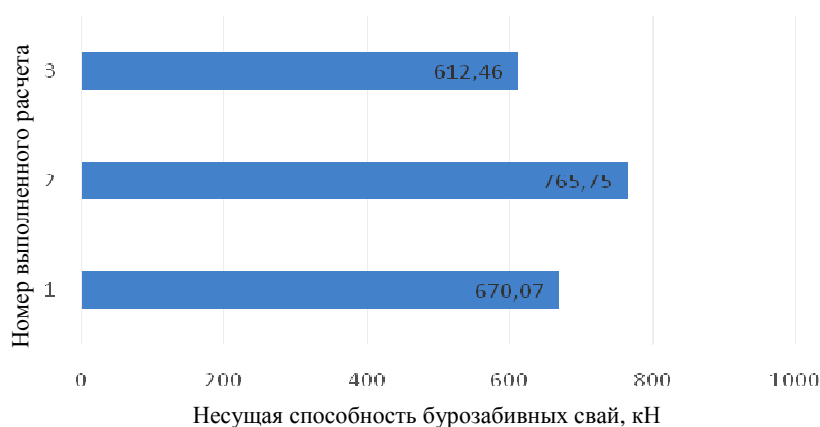


Рис. 2. Несущая способность буронабивной сваи по данным статического зондирования, полученная при расчете: 1 – ТКП; 2 – Еврокод 7 (предположение А); 3 – Еврокод 7 (предположение Б)

В заключение проведенного исследования можно сделать следующие *выводы*:

- значение несущей способности забивной сваи по данным статического зондирования, полученное путем вычисления по национальным нормам Республики Беларусь, является максимальным и превышает на 26,5 % значение несущей способности забивной сваи, полученное при расчете по европейским нормам (предположение А), и на 33,18 % по предположению Б.

- значение несущей способности буронабивной сваи по данным статического зондирования, полученное путем вычисления по национальным нормам Республики Беларусь, меньше на 14,28 %, чем расчетное значение несущей способности по европейским нормам (предположение А), и выше на 8,6 % расчетного значения несущей способности по предположению Б;

- при «гармонизации» национальных норм Республики Беларусь и европейских норм требуется большее внимание уделить расчету несущей способности забивных свай, так как разница между значениями расчетной несущей способности буронабивных свай по национальным и европейским нормам (предположение Б) не превышает 10 %. Однако полноценное применение второго подхода (предположение Б) в проектировании свайного фундамента в Республике Беларусь затруднено, потому что имеются различия между коэффициентами надежности и значениями несущей способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Сваи забивные. Правила проектирования и устройства: ТКП 45-5.01-256-2012(02250). – Введ. 01.07.2012. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2013. – 137 с.
2. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.01-254-2012(02250). – Введ. 01.07.2012. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2012. – 102 с.
3. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 1. Общие правила: ТКП EN 1997-1-2009 (02250). – Введ. 10.12.2009. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 121 с.

4. Франк, Р. Проектирование свайных фундаментов в соответствии с Еврокодом 7 / Р. Франк: лекция XIII Дунайско-Европейской конф. по геотехнике, Любляна, Словения, 29–31 мая 2006 г. – 11 с.
5. Никитенко, М.И. Основные принципы геотехнического проектирования и исследования свойств грунтов в соответствии с ТКП EN 1997 / М.И. Никитенко, С.В. Игнатов // Вопросы перехода на европейские нормы проектирования строительных конструкций: науч.-техн. семинар / СФ БНТУ. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 82–94.
6. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7. Геотехническое проектирование / Р. Франк [и др.]; под науч. ред. А.З. Тер-Мартиняна. – М.: МГСУ, 2013. – 360 с.
7. Eurocode 7: Geotechnical Design. Worked examples. Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes / Andrew J. Bond [et al.]. – Dublin, 13–14 June, 2013. – 172 p.

УДК 624.131.63.001.24

РАСЧЕТ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЧАСТИ БУНКЕРА ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. ЛОВШОВА, И.О. КОРНИЛОВА

(Представлено: канд. техн. наук, проф. В.Д. ГРИНЁВ; доц. А.Г. ЩЕРБО)

Рассматриваются вопросы расчета стенок бункера с учетом возникающих в толще материала жесткого ядра и призмы обрушения. Представлен сравнительный анализ результатов, полученных в данной работе, с результатами классического решения.

Ёмкости для хранения сыпучих материалов получили широкое распространение в различных отраслях производства. Наиболее технологичными в процессе сооружения и эксплуатации представляются емкости прямоугольной формы. При хранении, а также истечении сыпучего материала без учета динамических эффектов стенки прямоугольной части бункера испытывают одинаковое боковое давление.

Существует несколько вариантов поведения сыпучего материала при выпуске его из бункеров.

Рассмотрим варианты поведения и формы истечения для определенных видов сыпучих материалов.

Зависание сыпучего материала, то есть отложение его на днище, стенках бункера, вызванное слеживанием материала, исключается правильным выбором формы истечения сыпучего материала. При нормальной форме истечения в бункере образуются две зоны: узкий столб движущегося материала над выпускным отверстием – зона потока; неподвижная часть материала у стенок – застойная зона, которая может превратиться в слежавшуюся массу, в зависание. Для хорошо сыпучих материалов следует проектировать бункера с негидравлической формой истечения. К хорошо сыпучим материалам, то есть материалам, не имеющим сцепления, относятся щебень, галька, песок с влажностью менее 2 %, а также неразмакающие в воде материалы с крупностью самых мелких частиц более 2 мм при любой влажности.

В зависимости от свойств сыпучего материала, а также формы и размеров емкости возникают различные виды движения сыпучего материала. Первой формой истечения – истечения с трубообразованием – называется образование над выпускным отверстием узкой зоны движения, вокруг которой сыпучий материал неподвижен. Второй формой истечения – массовое истечение – называют процесс, когда сыпучий материал образует область малоподвижного или полностью неподвижного материала только в нижней зоне

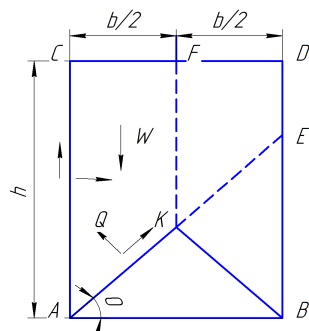


Рис. 1. Расчетная схема

аппарата. Между предельными состояниями возникают промежуточные формы, которые могут существовать длительное время. При хранении и всех указанных формах истечения сыпучего материала стенки бункера испытывают боковое давление, которое является определяющим фактором при расчете их прочности. Ниже рассматривается расчет прямоугольной части бункера в предположении статического приложения бокового давления.

При проектировании силосов, бункеров, перемычек и подпорных стен для определения бокового давления сыпучих материалов применяются графические методы Кульмана (1), (2), формулы Кеннена – Янсена и Эри (3). Вывод формул Эри для определения горизонтального давления на высокие стены бесконечной длины, ограничивающие сыпучую среду, основывается на классическом решении условий равновесия призмы обрушения $ACDE$, (рис. 1).

Определение бокового давления на стенки бункера. При расчёте бокового давления по формулам Эри наблюдается значительное расхождение с результатами экспериментов, что позволяет предположить образование некоторого жёсткого ядра AKB , по которому может произойти сползание призмы