

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ СВАЙ ПО ЕВРОКОД 7 В
УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ (СРАВНИТЕЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ ЕВРОПЕЙСКИХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ НОРМ)**

КРАВЦОВ В. Н.

Белорусский национальных технический университет,
РУП "Институт БелНИИС"
Минск, Беларусь

Введение. Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства (ТНПА) Республики Беларусь в настоящее время, с 01.01.2010 г., включает две нормативные базы: национальную (белорусскую, в формате ТКП РБ, СНБ РБ, СТБ РБ) и европейскую (в формате ТКП EN: Еврокод, СТБ EN), разработанную на основе европейских стандартов (Еврокодов).

В результате, при практическом использовании Еврокодов, не вошедших в перечень приказа № 340 от 10.12.2014 г., «О переходе на Еврокоды», у специалистов возникает большое количество вопросов, связанных с применением утвержденных документов, их статусом, порядком действия и приоритетом по отношению к национальным ТКП РБ, в т.ч. к методам расчета.

Частично эти вопросы регламентированы письмом Минстройархитектуры Республики Беларусь [1], в котором говорится, что утвержденные и введенные в действие в Республике Беларусь европейские стандарты не отменяют действия блока национальных ТНПА, за исключением указанных в приказе №340 (СНБ 5.01.03 и СНиП 2.01.07-85). Их допускается применять для внутреннего проектирования и строительства наряду с Еврокодами.

Согласно [1], решение о использовании при проектировании тех или других норм (ТКП РБ, ТКП EN) принимается заказчиком и проектной организацией с указанием этого условия в контракте (договоре) на проектные работы, задании на проектирование.

При этом, общая интеграция национальных и европейских норм в Республике Беларусь осуществляется на базе Технического регламента (ТР) «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность» [2], утвержденного Постановлением Совета Министров от 31.12.2010г., №1748. Технический регламент разработан на основе Директив 89/106/ЕЕС и 2002/91/ЕС Евросоюза и определяет требования к зданиям, сооружениям, строительным материалам и изделиям, правила подтверждения соответствия требованиям технического регламента, а также маркировки знаком соответствия. Однако, в указанных документах [1, 2] отсутствуют данные (мероприятия) по актуализации и внедрению Еврокодов для проектирования и эффективному применению методов расчета различных конструкций, в т.ч. фундаментов и их оснований.

В Программе из 10-ти Строительных Еврокодов и 58 их частей к проектированию оснований и фундаментов относятся следующие стандарты:

- EN 1997, Еврокод 7: Геотехническое проектирование. Часть 1, часть 2.

- EN 1998, Еврокод 8: Проектирование сейсмостойких конструкций.

- Еврокод 7, часть 1 утвержден с национальным приложением.

- Еврокод 7, принятый (введенный) в действие в Республике Беларусь (ТКП EN /3, 4/) является версией перевода с английского немецких норм DIN EN 1997 – 1:2005-10 и предназначен для проектирования оснований и фундаментов всех типов сооружений, в т.ч. подпорных конструкций. Он позволяет делать расчеты геотехнических воздействий на сооружение, а также устойчивости грунта, подверженного воздействию от сооружения. В документе имеются все предписания (требования) и правила для выполнения геотехнической части строительного проекта. Их следует применять совместно с EN 1990 «Еврокод 0: Основы строительного проектирования» (СЕН, 2002) [5] для проверки предельных состояний (ULS) и Еврокод 1 : воздействия на конструкции [6] для определения нагрузки на элементы сооружений и их допустимых смещений при контакте с грунтом

- Еврокод 7 состоит из двух частей: ТКП EN 1997-1 «Геотехническое проектирование. Часть 1. Основные правила» [3]; EN 1997-2

«Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунтов» [4].

Часть 1 Еврокода 7 «Основные правила» является общим документом, излагающим только принципы геотехнического проектирования в рамках метода расчета по предельным состояниям (LSD). В частности в нем дается общий расчет геотехнических воздействий массива грунта на структурные элементы сооружения в виде: опор, фундаментов, свай, подземных частей зданий и др., а также деформаций и напряжений, возникающих в грунте от внешних воздействий. Отдельные детальные сведения проектирования или расчетные схемы и принципы (точные формулы, графики и др.) приводятся в «информативных» (рекомендуемых) приложениях и одном нормативном (обязательном) приложении А, где указаны «парциальные» (частные) множители, корреляционные коэффициенты для критических предельных состояний по прочности и их рекомендованные значения, уточняемые на национальном уровне или принимаемые по умолчанию.

В настоящее время, параметры, определяемые в Еврокод 7 на национальном уровне, приняты по умолчанию или без соответствующего обоснования. Это приводит к снижению эффективности применения Еврокода 7 [3] на территории белорусского региона. Кроме того, отсутствуют или не полностью актуализированы СТБ EN к нему по испытанию грунтов, а изыскательские организации не оснащены соответствующим оборудованием, отвечающим требованиям СТБ EN. Следует также отметить, что:

1 – Европейской Комиссией для строительного проектирования, расчета прочности и устойчивости несущих конструкций, странам-участницам внедряющим ЕС рекомендуется перед их введением, подготовить инструкции (руководства) по применению Еврокодов, в частности, в рамках высшего образования, курсов переподготовки и повышения квалификации инженерно-технического состава. В настоящее время в Республике Беларусь такие инструкции отсутствуют.

2 – среди специалистов разработчиков Еврокода 7 также имеются существенные разногласия по формату проверки предельных состояний STR и GEO. Одни настаивают на двойной проверке (неопределенности внешней нагрузки и устойчивости грунта), а другие

предпочитают использовать только один формат сочетаний воздействий [7 и др.].

В связи с этим, в Еврокоде 7 для геотехнического проектирования рекомендуются три различных подхода: ПП1, ПП2, ПП3 (Design Approaches (1, 2, 3): DAI, DA2, DA3). Выбор ПП (DA) согласно [3, 5, 7 и др.], должен происходить на уровне каждой отдельной страны и закрепляться в национальном приложении Еврокода 7. Этот подход используется для всех типов геотехнических сооружений (фундаментов на естественном основании, свайных, подпорных конструкций, склонов, общей устойчивости). В настоящее время ПП1 (DA1) для расчета свай принят в Англии и еще 6-ти Европейских странах; ПП2 (DA2) – примерно в 9-ти странах; ПП3 (DA3) – в 3-х странах (рис. 1).

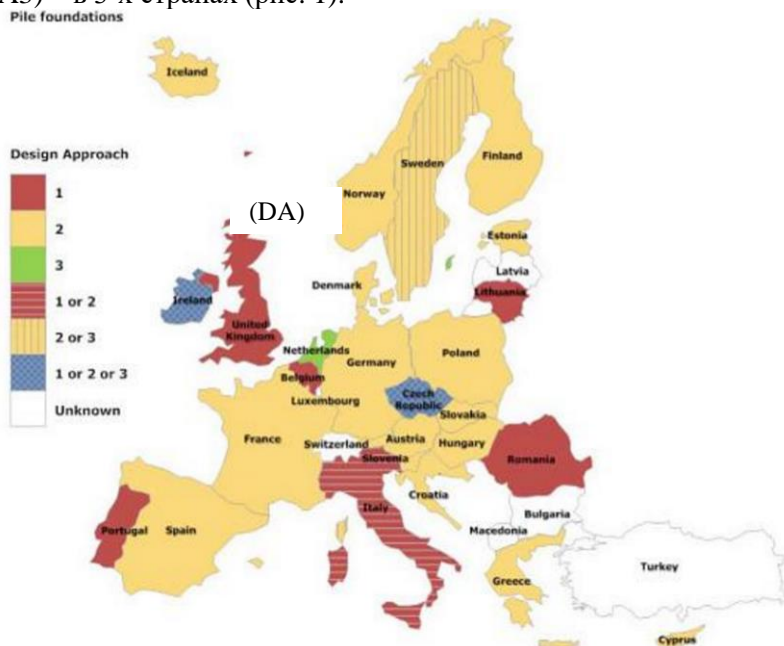


Рис. 1. Варианты принципов проектирования (DA/ПП) по Еврокод 7, принятые в странах Евросоюза для проектирования свайных фундаментов

Исходя из вышеизложенного, для эффективной имплементации Еврокода 7 в Республике Беларусь требуется.

1. Разработать, согласно директивы 89/109 ЕС, инструкцию (рекомендации) по применению ТКП ЕН Еврокод 7 для условий РБ.

2. Определить наиболее эффективный проектный подход (из ПП1-ПП3) и уточнить частные и поправочные коэффициенты для обеспечения максимальной эффективности выбранного принципа проектирования и возведения оснований и фундаментов из условия: «Надежность – экономическая и техническая эффективность – защита потребителя» [5, 7, 13].

Для решения поставленных Минстройархитектурой Республики Беларусь задач по актуализации Еврокодов, в РУП "Институт БелНИИС" проведен комплекс геотехнических исследований методов проектирования по белорусским ТКП РБ [8-11] и европейским нормам ТКП ЕН 1997-1-2009: Еврокод 7, часть 1 [3] с целью уточнения параметров национальных приложений и его эффективной имплементации в условиях белорусского региона.

В настоящей статье приводятся часть материалов выполненной работы, касающиеся сравнительного анализа результатов расчета оснований свай по двум нормативным базам национальных ТНПА Республики Беларусь.

1 Методика сравнительного анализа двух баз тнпа по расчету оснований свай

Методы сравнительных расчетов свай, приведенных в двух нормативных блоках ТНПА: национальном ТКП РБ [8-11 и т.д.] и европейском ТКП ЕН [3-6], базируется на:

– учете грунтовых особенностей белорусского региона, согласно приложению А [8], тестовых расчетов оснований свай, наиболее распространенных в Республике Беларусь;

– анализе данных литературных источников по использованию Еврокода 7 при геотехническом проектировании, в частности, следующих зарубежных авторов R. Frank, A. Bond, A. Harris, P. Arnold, G.A. Fenton, M.A. Hicks, T. Schweckendiek, B. Simpson, L.L. Trevor, E.R. Farrel, R. Driscoll, P. Scott, J. Powell, Trevor Orr [7, 12-21 и др.].

Сущность методов расчетов используемых в 2-х базах национальных ТНПА РБ заключается в проверке двух групп предельных состояний по материалу и грунту (таблица 1).

В статье приведены результаты сравнительных расчетов согласно двум базам ТНПА для предельного состояния только по несущей

способности оснований свай при вдавливающей осевой нагрузке с учетом грунтовых условий белорусского региона.

Таблица 1

Сравнение предельных состояний, используемых в ТНПА Республики Беларусь при расчете оснований свай

Предельные состояния по сравниваемым базам ТНПА	
Европейской (ТКП EN)	Национальной (ТКП РБ)
<p>По несущей способности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - потеря общей устойчивости; - потеря прочности на сжатие для свайного фундамента; - выдергивание или недостаточное сопротивление растяжению для свайного фундамента; - разрушение основания от действия поперечной нагрузки на свайный фундамент; - разрушение конструкций свай при сжатии, напряжении, изгибе, потере продольной устойчивости или сдвиге; - совместное разрушение основания и свайного фундамента; - совместное разрушение основания и сооружения; <p>По деформациям и динамике</p> <ul style="list-style-type: none"> - чрезмерные осадки; - чрезмерное пучение; - чрезмерное поперечное перемещение; - недопустимые колебания. 	<p>Первая группа (несущая способность):</p> <ul style="list-style-type: none"> - проверка прочности материала свай и свайных ростверков; - проверка несущей способности грунта основания свай; - проверка несущей способности оснований свайных фундаментов при больших горизонтальных нагрузках <p>Вторая группа (деформации):</p> <ul style="list-style-type: none"> - проверка вертикальных и горизонтальных перемещений свай; - проверка образования трещин в конструкциях.

Согласно [22 и др.] наиболее характерны для строительных площадок белорусского региона слоистые основания из четвертичных отложений второй категории сложности, описываемые расчетной схемой II по приложению А [8], которая принята в качестве основной (рисунок 2). В качестве грунтов основания для расчетной схемы на рисунке 2 приняты наиболее часто встречающиеся на территории белорусского региона четвертичные отложения из песков и глин, с характеристиками по ТКП [11] (табличные значения).

В выполненной работе и в тестовых расчетах рассматривались следующие типы готовых (сборных) и набивных свай и технологии их устройства, наиболее часто применяемые в массовом строительстве:

- традиционные готовые заводского изготовления, погружаемые забивкой (далее забивные);
- традиционные буронабивные в пробуренных скважинах;
- набивные в пробитых скважинах с уширением их пяты и ствола (вытрамбованные, выштампованные, в т.ч. инъекцией и раскатыванием);
- винтовые металлические сваи;
- сваи, выполненные по технологии jetgrouting и т.д.

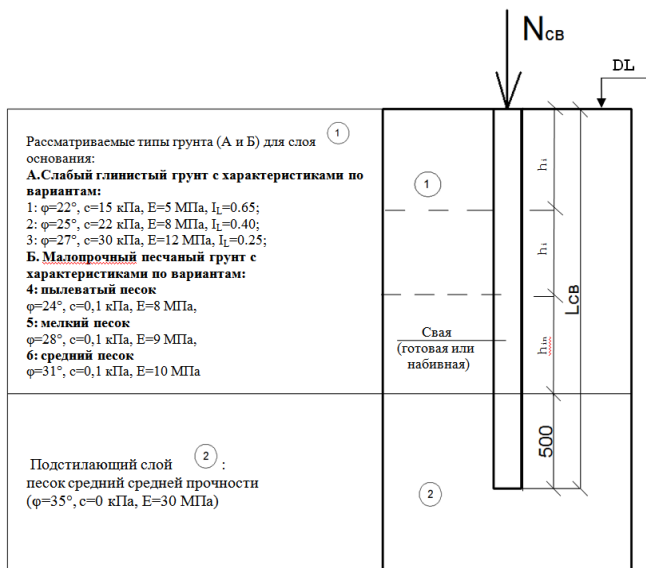


Рис. 2. Расчетные схемы для сравнительных расчетов оснований свай по результатам их статических испытаний и теоретического метода с использованием данных физико-механических характеристик грунтов
 $N_{св}$ – нормативная нагрузка на сваю; $L_{св}$ – длина сваи; DL – отметка планировки

До 70% всех применяемых в массовом промышленно-гражданском строительстве свай составляют готовые железобетонные квадратные призматические сваи с поперечным сечением ($b \times h$: 300×300, 350×350, 400×400) мм длиной до (6-10) м и круглые

буронабивные сваи диаметром (300-800) мм, в отдельных случаях (под высотные и сильнонагруженные сооружения) диаметром (1000-2000) мм длиной до 30 м.

В связи с вышеизложенным для **тестовых** расчетов в выполненных исследованиях рассмотрены следующие типы свай, наиболее применяемые в массовом строительстве Беларуси, и их характерные основания:

– типовые готовые (забивные) квадратные (расчетная схема основания по рисунку 2, соответствует категории сложности оснований II по приложению А ТКП [1]):

I – ($b \times h \times L_{св} = 300 \times 300 \times 4000$) мм; **II** – ($350 \times 350 \times 5000$) мм; **III** – ($400 \times 400 \times 6000$) мм;

– типовые буронабивные, устраиваемые в разбуренных скважинах (основания по рисунку 2):

IV – ($\varnothing \times L_{св} = 300 \times 4000$) мм, **V** – (600×7000) мм, **VI** – (800×9000) мм; **VII** – (1200×15000) мм.

В [3-8, 10] приведены следующие рекомендуемые методы расчета оснований свай по несущей способности:

а – по результатам статических испытаний грунтов сваями;

б – по данным статического или динамического зондирования;

в – по физико-механическим характеристикам грунтов, установленным испытанием или по таблицам.

В настоящей статье анализируются результаты расчетов с использованием методов **а** и **в**.

В сравнительных методах расчета свай по первой группе предельных состояний согласно ТКП РБ [1-3] необходимо вычислить допускаемую нагрузку на сваю F_u а по ТКП EN [7] – расчетное проектное значение сопротивления грунта основания свай $R_{c;d}$, исходя из условий:

– по ТКП РБ [1-3]:

$$N \leq F_u, \quad (1)$$

где N – максимальная расчетная вдавливающая осевая нагрузка на сваю в наиболее невыгодном сочетании, кН;

F_u – допускаемая нагрузка (предельная) на сваю по прочности грунтового основания, кН;

– по ТКП EN [7]:

$$F_{c;d} \leq R_{c;d} , \quad (2)$$

где $F_{c;d}$ – наиболее неблагоприятная проектная осевая вдавливающая нагрузка на сваю, кН;

$R_{c;d}$ – проектная величина сопротивления грунтового основания вдавливанию сваи в предельном состоянии, кН.

Параметры F_u и $R_{c;d}$ приняты в качестве критериев для сравнительного анализа методов расчета по несущей способности и выбора проектного принципа для условий Республики Беларусь. В соответствии с [3, 5, 6] проектная нагрузка на сваю в свою очередь зависит от процентной доли временной и постоянной нагрузок относительно ее общей величины. Поэтому расчет выполняется с учетом следующего соотношения долей нагрузки: 30%/70%; 40%/60%; 50%/50% (числитель – процентная доля **временной** нагрузки от ее общей величины; знаменатель - **постоянной**).

Так как, в связи с разногласием среди специалистов разных европейских стран по подходам и принципам расчета фундаментов (см. рисунок 1), в ТКП EN не указан конкретный принцип проектирования, сравнительные расчеты выполняются по всем трем принципам.

2 Сравнительные исследования геотехнических методов расчета оснований по двум базам ТНПА, их результаты и анализ

2.1 Сравнительные расчеты по результатам испытания грунтов сваями. Методики определения допустимой (предельной) нагрузки на сваю регламентируемые ТКП РБ и проектного (предельного) сопротивления основания сваи ТКП EN с использованием статических испытаний грунтов сваями на вдавливающие осевые нагрузки – схожи. По данным статических испытаний строятся графики зависимости осадки сваи от нагрузки $s = f(p)$. Затем для допускаемой нормами осадки с учетом количества испытаний свай по ТКП РБ [8-10] проверяется не превышение предельного сопротивления ее основания F_u (допускаемой нагрузки на сваю), а по ТКП EN [3] предельное состояние по разрушению основания (GEO), исходя из трех проектных подходов (ПП1...ПП3/DA1...DA3), использующих наборы частных коэффициентов в сочетаниях (A_1, A_2 – к репрезентативным воздействиям $F_{геп}, M_1, M_2$ – к характеристическим параметрам $X_k, R_1...R_4$ – к сопротивлениям).

Принципиальные отличия методов определения предельной нагрузки на основания сваи (первая группа предельных состояний) в ТКП РБ [8-10] и ТКП EN [3] заключаются в следующем:

– осадка, при которой определяется данная характеристика, зависит от доли средней осадки здания $s = \xi \cdot S_{u,mt}$, учитывающей его конструктивную схему уровень ответственности, класс сложности основания, количество проведенных испытаний и находится в пределах (80–400 мм), где ξ – коэффициент перехода от осадки здания к осадке сваи, равный 0,2–0,5. В ТКП EN 1997-1 $R_{c;d}$ определяется при осадке равной 10% доле диаметра или поперечного размера сваи (см. п. 7.6.1.1.(3) [3]). В результате при диаметре сваи 1200 мм, величина осадки, при которой определяется предельное сопротивление ее основания, по ТКП EN почти в 2–4 раза больше, чем по ТКП РБ, что сильно завышает величину $R_{c;d}$ по результатам испытаний.

– при определении допустимой (предельной) нагрузки на основание сваи по ТКП РБ и расчетного (проектного) значения сопротивления грунта вдавливаю сваи по ТКП EN используются различные частные и поправочные коэффициенты к воздействиям, сопротивлениям, характеристикам материала.

Ниже приведены тестовые примеры сравнительного определения допустимой нагрузки на основания свай F_u по ТКП РБ и проектного (расчетного) значения сопротивления основания вдавливаю сваи $R_{c;d}$ по ТКП EN.

Пример 1 сравнительных расчетов несущей способности оснований свай по результатам их испытаний статической нагрузкой.

Дано. Испытано 4-е буронабивные сваи $\varnothing 1200$ мм на строительной площадке здания с железобетонным каркасом II-ого уровня ответственности. Грунтовое основание свай II-ой категории сложности. Проектная (расчетная) нагрузка на сваю $N = F_{c;d} = 1,0$ МН. Распределение временной и постоянной нагрузки в ее общем объеме составляет 40%/60%. Получены графики (рисунок 3) зависимости их осадки от нагрузки $s = f(p)$.

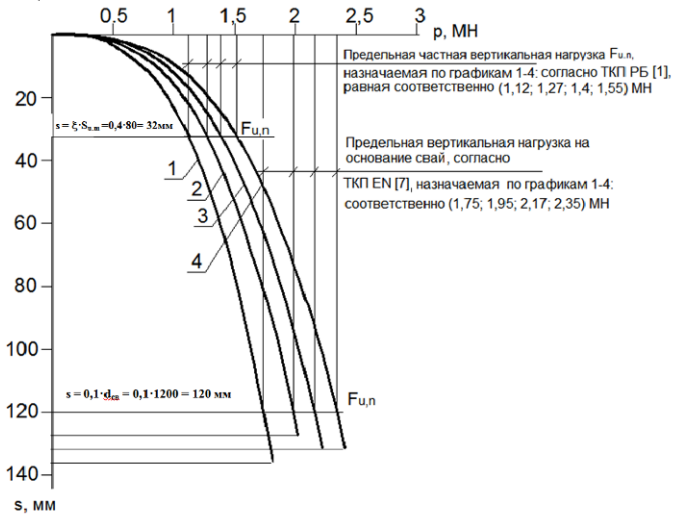


Рис. 3. Графики зависимости осадки буронабивных свай диаметром 1200 мм от нагрузки $s = f(p)$

2.1.1 Расчет по ТКП РБ. По результатам статических испытаний (см. рисунок 3) показатели частных значений 4-х одинаковых свай, испытанных на одной площадке при осадке, согласно [8], $s = \xi \cdot S_{u,mt} = 0,4 \cdot 80 = 32$ мм составили $F_{u,n} = (1,12, 1,27, 1,40, 1,55)$ МН.

Так как количество испытаний свай меньше 6-ти, несущая способность, согласно [8], назначается по меньшему из всех частных значений по формуле

$$F_d = \gamma_c \cdot F_{u,n} / \gamma_g = 1,0 \cdot 1,12 / 1,0 = 1,12 \text{ МН,}$$

где γ_c - коэффициент условий работы; γ_g - коэффициент надежности по грунту, принимаемые в соответствии с п. 5.2.16.1 [8] равными 1,0, т.к. испытаний менее 6 шт.

Тогда допустимая нагрузка на сваю составит:

$$F = \frac{F_d}{\gamma_k} = \frac{1,12}{1,2} = 0,93 \text{ МН; } \cong N = 1,0 \text{ МН.}$$

где γ_k - коэффициент надежности метода определения несущей способности сваи по грунту, равный 1,2 по таблице 5.6 [8].

2.1.2 Расчет по ТКП EN. По результатам статических испытаний (см. рисунок 3) показатели предельных частных характеристических значений сопротивления грунта вдавливаюнию 4-х одинаковых свай на одной площадке при осадке, согласно [3], равной 10% от ее диаметра, $s = 1200 \times 0,1 = 120$ мм, соответственно составили: $R_{c,k} = (1,75; 1,95; 2,17; 2,35)$ МН. Характеристическое значение $R_{c,k}$ сопротивления грунта вдавливаюнию свай по результатам испытаний, если их количество $n > 1$ шт., назначается исходя из двух значений: минимального $R_{m,min} = 1,75$ МН и среднего $R_{m,mean} = 2,06$ МН значений показателей предельных нагрузок на основания свай, (см. рисунок 3) по формуле (3) [3]

$$R_{c,k} = \min(R_{m,mean}/\xi_1; R_{m,min}/\xi_2), \quad (3)$$

где ξ_1, ξ_2 – поправочные коэффициенты, учитывающие количество испытанных свай. Для четырех испытаний по таблице А9 [3]: $\xi_1 = 1,10; \xi_2 = 1,0$.

Тогда $R_{c,k} = \min\{2,06/1,1 = 1,87; 1,75/1,0 = 1,75\}$, принимается $R_{c,k} = 1,75$ МН.

Проектное (расчетное) сопротивление основания вдавливаюнию свай $R_{c,d}$ зависит от выбранного принципа проектирования. Учитывая то, что в [3] приведено 3-и проектных принципа (ПП1-ПП3/DA1-DA3) и в национальном приложении приоритет не отдается ни одному из них, расчет $R_{c,d}$ производится с использованием всех трех подходов.

Проектное сопротивление основания $R_{c,d}$, при использовании принципа ПП1/DA1 и соответствующих ему 2-х сочетаний набора частных коэффициентов сопротивления γ_t , определяемых по таблице А.7 $\gamma_t = 1,1$ (сочетание 1) и $\gamma_t = 1,0$ (сочетание 2), составит:

- для сочетания 1: $R_{c,d} = R_{c,k}/\gamma_t = 1,75/1,1 = 1,59 > F_{c,d} = 1,0$ МН;
- для сочетания 2: $R_{c,d} = R_{c,k}/\gamma_t = 1,75/1,0 = 1,75$ МН $> F_{c,d} = 1,0$ МН.

Аналогично, при использовании принципов проектирования ПП2/DA2 и ПП3/DA3, проектные (расчетные) сопротивления основания свай вдавливаюнию в соответствующих им сочетаниях наборов частных коэффициентов для сопротивлений R_2 (в ПП2) – $\gamma_t = 1,1$ и R_3 (в ПП3) – $\gamma_t = 1,0$, составит:

- при использовании ПП2/DA2: $R_{c,d} = R_{c,k}/\gamma_t = 1,75/1,1 = 1,59$ МН $> F_{c,d} = 1,0$ МН, что соответствует сочетанию 1 по ПП1/DA1;

- при использовании ППЗ/ДАЗ: $R_{c,d}=R_{c,k}/\gamma_t=1,75/1,0=1,75 \text{ МН} > 1,0 \text{ МН}$ что соответствует сочетанию 2 по ПП1/ДА1.

2.2 Сравнительные расчеты несущей способности сваи аналитическим методом с использованием данных физико-механических свойств грунта.

Пример 2. Рассматривается один из вариантов сравнительных расчетов по вышеприведенной методике исследований двух геотехнических баз национальных ТНПА по проектированию оснований свай.

Исходные данные. Рассчитывается традиционная готовая (забивная) призматическая свая типоразмера I (см. методику) с поперечным квадратным сечением со сторонами (0,3×0,3) м, длиной 4 м, погруженная в слоистое основание с характеристиками грунтов определенными испытаниями по одной скважине (см. вариант А на рисунке 3): для 1-го и 2-го слоев грунта h_1 и $h_2 - \gamma' = 20 \text{ кН/м}^3$, $c'_u = 15 \text{ кПа}$, для 3-го слоя $h_3 - \gamma' = 18 \text{ кН/м}^3$, $c'_u = 0,01 \text{ кПа}$. Нормативная (репрезентативная) осевая вдавливающая нагрузка на сваю составляет $N_n(F_{\text{rep}}) = 250 \text{ кН}$. Распределение временной и постоянной нагрузки в ее общем объеме составляет 40%/60% (числитель/знаменатель). По результатам испытаний 3-х свай $F_{un,min}(R_{m,min}) = 364 \text{ кН}$, нормативная (репрезентативная) несущая способность их основания составляет: минимальная средняя их трех $R_{m,min} = 396 \text{ кН}$. Расчетная схема сваи типоразмера I (см. методику) с характеристиками свойств ее основания приведена на рисунке 3.

2.2.1 Расчет по ТКП РБ. Согласно [8, 9] несущая способность основания сваи F_d по аналитическому методу определяется как сумма сопротивления грунта вдавливанию нижнего конца и ствола. Для этого, предварительно, основание сваи разбивается на 3-и слоя $h_1 = 2 \text{ м}$, $h_2 = 1,5 \text{ м}$ и $h_3 = 0,5 \text{ м}$, по таблицам 6.1 и 6.2 [9] для которых, а также в уровне ее нижнего конца определяется расчетные сопротивления грунта, равные в данном случае: $R = 4400 \text{ кПа}$ и $R_{fi} = (7,5; 14; 60) \text{ кПа}$.

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cr} \cdot RA + \gamma_{cf} \cdot u_i \cdot \sum R_{fi} \cdot h_i) =$$
$$= 1(1 \cdot 4400 \cdot 0,09 + 1 \cdot 1,2 \cdot (7,5 \cdot 2 + 14 \cdot 1,5 + 60 \cdot 0,5)) = 396 + 79,2 = 475,20 \text{ кН},$$

где $\gamma_c, \gamma_{cr}, \gamma_{cf}$ – коэффициенты условий работы сваи в грунте, равные 1;

A – площадь поперечного сечения сваи, $0,09 \text{ м}^2$;

u_i – усредненный периметр поперечного ствола сваи в i -м слое грунта, $1,2 \text{ м}$;

h_i – толщина до 2-х метров i -ого слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, на которые разбивается ее основание, м.

Допустимая (предельная) нагрузка на сваю, согласно ТКП РБ, по результатам:

– расчетов

$$F_{cal} = \frac{F_{d,cal}}{\gamma_k} = \frac{475,20}{1,4} = 339,43 \text{ кН} > N = \gamma_n \cdot N_n = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ кН};$$

– испытаний

$$F_m = \frac{F_{dm}}{\gamma_k} = \frac{364}{1,2} = 303,33 \text{ кН}; > N = \gamma_n \cdot N_n = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ кН}.$$

где γ_k – коэффициент надежности метода определения несущей способности сваи, равный, согласно [8]: $\gamma_k = 1,4$ – для аналитического метода $\gamma_k = 1,2$ – по результатам испытаний свай.

2.2.2 Расчет по ТКП EN. Предельные характеристические сопротивления грунта вдавливаю сваи в грунт, в аналитическом методе с использованием физико-механических характеристик грунтов, как и в методе по результатам испытаний свай статической нагрузкой, определяются по аналогичной формуле (3), в которой индексы "m" ("измеренный") заменены на "cal" ("расчетный"), а значения ξ_1, ξ_2 на ξ_3, ξ_4 , приведенные в приложении А [7].

Характеристические значения среднего $(R_{c,cal})_{mean} = (R_{b,cal} + R_{s,cal})_{mean}$ и минимального $(R_{c,cal})_{min} = (R_{b,cal} + R_{s,cal})_{min}$ (см. формулу (3)) допускается определять по любой из аналитических теорий подтвержденных опытными данными с использованием поправочных и частных коэффициентов для назначения проектного (расчетного) сопротивления сваи $R_{c,d}$.

Характеристическое сопротивление основания (несущую способность по терминологии [8]) вдавливаю сваи $R_{c,k} = (R_{b,k} + R_{s,k})$ по вышеприведенным исходным данным, определяется как сумма сопротивления вдавливаю ее нижнего конца $R_{b,k}$ и сдвигу ствола $R_{s,k}$ с использованием поправочных, частных коэффициентов ξ_4 и аналитических формул теории упругости, рекомендуемых [3].

$$R_{b,k} = R_{b,cal} / \xi_4 = R_b \cdot (c' \cdot N_c \cdot s_c + q' \cdot N_q \cdot s_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma) / \xi_4 =$$

$$= 0,3 \cdot 0,3 \cdot (1 \cdot 61,30 \cdot 1,63 + 72 \cdot 48,89 \cdot 1,69 + 0,5 \cdot 18 \cdot 0,3 \cdot 74,83 \cdot 0,7) / 1,4 = \mathbf{382,11 \text{ кН}},$$

$$\text{где } s_q = 1 + \sin \varphi' = 1 + 0,616 = 1,62; s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,616 \cdot 48,89 - 1) / (48,89 - 1) = 1,63; s_\gamma = 0,7.$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi'} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) = 48,89;$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg} \varphi' = 61,30;$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \operatorname{tg} \varphi' = 74,83;$$

$$q' = \gamma' \cdot d = 18 \cdot 4 = 72 \text{ кПа.}$$

$$R_{s,k} = \sum R_{s,cal} / \xi_4 = (R_{s \text{ h1.cal}} + R_{s \text{ h2.cal}}) / \xi_4 = 25,56 / 1,4 = 18,26 \text{ кН,}$$

здесь $R_{s \text{ h1.cal}} = A_{s1} \cdot \alpha \cdot c_u = 4 \cdot 0,3 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot 15 = 25,2 \text{ кН,}$

$$R_{s \text{ h2.cal}} = A_{s2} \cdot \alpha \cdot c_u = 4 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,36 \text{ кН.}$$

Проектное (расчетное) сопротивление вдавливанию сваи определяется согласно методики исследований, для всех 3-х принципов проектирования ПП1...ПП3/DA1... DA3:

– по ПП1/DA1 расчет выполняется для двух сочетаний, где для набора коэффициентов в сочетании A1+M1+R1 не равны единице только частные коэффициенты к воздействиям набора A1 – $\gamma_G = 1,35$ и $\gamma_Q = 1,5$; а в сочетании 2: A2+M1+R4, коэффициенты к воздействиям набора A2 – $\gamma_G = 1,0$ $\gamma_Q = 1,3$ и набора R4 – $\gamma_t = 1,3$. Таким образом:

– для сочетания 1:

$$F_{c;d} = \gamma_G \cdot (0,6 \cdot F_{rep}^G) + \gamma_Q (0,4 \cdot F_{rep}^Q) = 1,41 \cdot F_{rep} = 1,41 \cdot 250 = 352,50 \text{ кН}$$

$\leq R_{c,dcal} = (R_{b,k} + R_{s,k}) / \gamma_t = (382,11 + 18,26) / 1 = \mathbf{400,37 \text{ кН}}$, (отклонение от результатов расчета по ТКП РБ, пример 1, в сторону завышения "+" составляет – $i_{cal} = (+)18\%$ по отношению к опытным данным $R_{c,dm} = R_{m,min} / \gamma_t = 364 / 1 = 364 \text{ кН} - i_m = (+)10\%$).

– для сочетания 2:

$F_{c,d} = 1,12 \cdot F_{rep} = 1,12 \cdot 250 = \mathbf{280 \text{ кН}} < R_{c,dcal} = R_{c,k} / \gamma_t = 400,37 / 1,3 = \mathbf{307,98 \text{ кН}}$ (отклонение в сторону занижения " – " от ТКП РБ – $i_{cal} = (-)10\%$, от результатов испытаний $(364 / 1,3 = 280) - i_m = (+)10\%$).

– по ПП2/DA2 в сочетании A1+M1+R2 не равны единице соответственно для A1 – $\gamma_G = 1,35$ и $\gamma_Q = 1,5$ и для R2 – $\gamma_t = 1,1$, тогда:

$F_{c,d} = 1,41 \cdot 250 = \mathbf{352,50}$ кН < $R_{c,d,cal} = 400,37/1,1 = \mathbf{363,97}$ кН ($i_{cal} = (+)7\%$; $i_m = (-)9\%$ ($R_{c,d,m} = 330,91$ кН).

- по **ППЗ/ДА3** в сочетании А1+М2+R3 коэффициенты более единицы в наборах А1 – $\gamma_G = 1,35$ и $\gamma_Q = 1,5$; в М2 – $\gamma_\varphi = 1,25$; $\gamma_{cu} = 1,4$. Тогда:

$$\varphi'_d = \tan^{-1}(\tan 38^\circ / 1,25) = 30,4; N_q = 19,27; N_c = 31,78; N_\gamma = 21,44;$$

$$c'_{u1} = c'_{u1}/1,4 = 15/1,4 = 10,7 \text{ кПа}; c'_{u2} = 1/1,4 = 0,71 \text{ кПа};$$

$$R_{b,k} = 0,3 \cdot 0,3(0,71 \cdot 31,78 \cdot 1,63 + 72 \cdot 10,27 \cdot 1,62 + \\ + 0,5 \cdot 18 \cdot 0,3 \cdot 21,44 \cdot 0,7) / 1,4 = 149,46 \text{ кН};$$

$$R_{s,k} = (4 \cdot 0,3 \cdot 3,5 \cdot 0,4 \cdot 10,7 + 4 \cdot 0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,71) / 1,4 = 13,03 \text{ кН};$$

$$R_{c,k} = 149,46 + 13,03 = 162,49 \text{ кН}.$$

$$F_{c,d} = 1,41 \cdot 250 = \mathbf{352,50}$$
 кН > $R_{c,d} = 162,49 = \mathbf{162,49}$ кН

$$(i_{cal} = (-)52\%,$$

$i_m = (-) 52\%$ ($R_{c,d,m} = 364$ кН)). Условие $F_{c,d} \leq R_{c,d}$ – не удовлетворяется, т.е., согласно ППЗ/ДА3, сваю надо заглубить в основание еще на 1 метр.

2.3 Анализ результатов. Анализ обобщенных результатов проведенной в РУП "Институт БелНИИС" работы по всей октаве выполненных исследований (разные типы свай, грунтов и др., см. вышеприведенную методику) показал, что несмотря на одинаковые принципиальные подходы к расчету свай (по 2-м группам предельных состояний) методики проектирования, используемые в белорусских и европейских базах норм (ТНПА) в результате сложившихся исторических традиций в области применения расчетных (теоретических) моделей имеют существенные различия, в частности:

1 – при оценке несущей способности основания свай F_d , согласно ТКП EN [3] по данным статических **испытаний** грунтов сваями, основную роль играют:

– количество испытаний и разброс их результатов, т.к. в ТКП EN коэффициенты безопасности постоянные, а в ТКП РБ их величина зависит от количества испытанных свай, которые рассчитываются вероятностно-статистическим методом;

– размер поперечного сечения сваи (чем больше поперечное сечение сваи, тем больше расхождение в результатах расчетов по двум базам [3, 5 и 8] ТНПА), т.к. согласно ТКП EN, F_d назначается в зависимости от осадки, принимаемой равной 10% от доли диаметра или большей стороны сваи, а в ТКП РБ от доли средней (максимальной) осадки основания, допускаемой для проектируемого

сооружения. В результате значения F_d могут отличаться в 2 и более раз. Наибольшее совпадение результатов установлено для свай с диаметром или большей стороной (200-500) мм.

2 - при оценке несущей способности оснований свай F_d с использованием физико-механических характеристик (аналитический метод) по двум базам [1] и [3] ТНПА расхождения между их результатами (стадия предельного состояния) составляют 10-20% для ПП1/DA1, ПП2/DA2 и до 50% и более для ПП3/DA3. Исходя из того, что минимальные расхождения между базами ТНПА [8] и [3] наблюдается при использовании проектного принципа ПП2 (DA2) Еврокода 7- его рекомендуется закрепить в национальном приложении к Еврокоду 7 в качестве основного подхода при расчете свай.

Заключение

1. На основе разработанной методики исследований выполнены сравнительные геотехнические расчеты несущей способности оснований свай по национальной и европейской базам ТНПА и верификация европейских норм (Еврокод 7 [3]) применительно к условиям Республики Беларусь.

2. Сравнительные аналитические расчеты несущей способности грунтовых оснований свай белорусского региона по физико-механическим характеристикам грунтов с использованием методов национальной и европейской баз ТНПА, показали, что расхождение между их результатами в условиях Республики Беларусь, при достижении предельного состояния, составляет 10-20% для ПП1/DA1, ПП2/DA2 и до 50% и более для ПП3/DA3 (см. например, примеры 1-3). Минимальное расхождение между результатами сравниваемых методов расчета по [3] и [8] обеспечивает проектный принцип ПП2 (DA2), который рекомендуется закрепить в национальном приложении ТКП EN 1997-1-2009: к Еврокоду 7 часть 1, в качестве основного.

3. Для актуализации ТКП EN 1997-1-2009: Еврокода 7, с целью активного его использования в проектной практике Республики Беларусь, необходимо в полном объеме перевести с английского и ввести в действие СТБ EN на испытание грунтов и оснастить испытательные лаборатории соответствующим оборудованием.

4. Результаты обобщения сравнительных расчетов свайных фундаментов по двум группам предельных состояний служат также исходным материалом для разработки методических рекомендаций

(пособия), разъясняющих на практических примерах алгоритм эффективного применения принципов европейских норм в условиях Республики Беларусь для целей переподготовки и повышения квалификации различных категорий технических специалистов. Без указанных мероприятий (в т.ч. п.2 и п.3) эффективное использование Еврокода 7 – невозможно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Письмо министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь и Департамента контроля и надзора за строительством Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 3 марта 2010 года № 06-2-05/1345; от 4 марта 2010 года № 01-2/2/134 "О введении в действие европейских стандартов и норм в области проектирования и строительства". – Минск : МАиС РБ, 2010. – 2 с.

2. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ - Минск : МАиС РБ, 2009. – 27 с.

3. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила: ТКП EN 1997-1-2009. - Введ. 10.12.2009. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2010. - 121 с.

4. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследование и испытания грунта: ТКП EN 1997-2-2009. - Введ. 10.12.2009. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2010. - 140 с.

5. Еврокод 0. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011*. - Введ. 15.11.2011. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2015. - 86 с.

6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2...7. Общие воздействия: ТКП EN 1991-1-...7-2009. - Введ. 10 декабря 2009. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2010.

7. Frank, R. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design - General Rules / R. Frank [and oth.]. – London : Thomas Telford LTD, 2004. – 213 p.

8. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. - Введ. 05.01.2012. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2012. - 164 с.

9. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Сваи забивные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-256-2012. - Введ. 05.01.2012. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2013. - 137 с.

10. Проектирование и устройство буронабивных свай: ППЗ к СНБ 5.01.01-99. - Введ. 01.01.2002. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2002. - 43 с.

11. Фундаменты плитные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-67-2007. - Введ. 05.09.2007. - Минск : МАиС РБ : РУП «Стройтехнорм», 2008. - 36 с.

12. Bond, A Decoding Eurocode 7 / A. Bond, A. Harris. – London & New York : Taylor and Francis group, 2008. – 507 p/

13. Arnold, P. Modern Geotechnical Design codes of practice. Implementation, application, and development / P. Arnold [and oth.]. – Amsterdam : IOS press, 2013. – 331 p.

14. Trevor, L.L. Geotechnical Design to Eurocode 7 / L.L. Trevor, E.R. Farrel. – London : Springer, 1999. – 165 p.

15. Driscoll, R. EC7 – Implications for UK practice. Eurocode geotechnical design / R. Driscoll, P. Scott, J. Powell. – London : CIRIA, 2008. – 120 p.

16. Bond, A Eurocode 7: Geotechnical design. Worked examples / A. Bond [and oth.]. Italy: European union, 2013. – 160 p.

17. Orr, Trevor. Worked examples – design of piles foundations / Trevor Orr // Geotechnical design with worked examples, Dublin, 13-14 June 2013 / European commission. – Dublin, 2013. – 37 p.

18. Burland JB, Shaft friction of piles in clay-a simple fundamental approach, Ground Engineering, vol. 6-3, 1973, p. 30-42.

19. Kerisel J, Vertical and horizontal bearing capacity of deep foundation in clay, in Proc. Symp. on Bearing Capacity of Settlement of Foundations, 1965, p. 45-52. [20]

20. Dennis ND, Olsen RE, Axial capacity of steel pipe piles in clay, in Proc. Geotechnical Practice in Offshore Engineering. ASCE, 1983, p. 370-388.

21. Vijayvergiya VN, Focht JA, A new way to predict capacity of piles in clay, in Proc. Offshore technology Conf., 1972, p. 865-871.

22. Колпашников, Г.А. Инженерная геология : Учебное пособие / Г.А. Колпашников. - Минск : УП "Технопринт", 2004. – 134 с.