

УДК 624.131.2

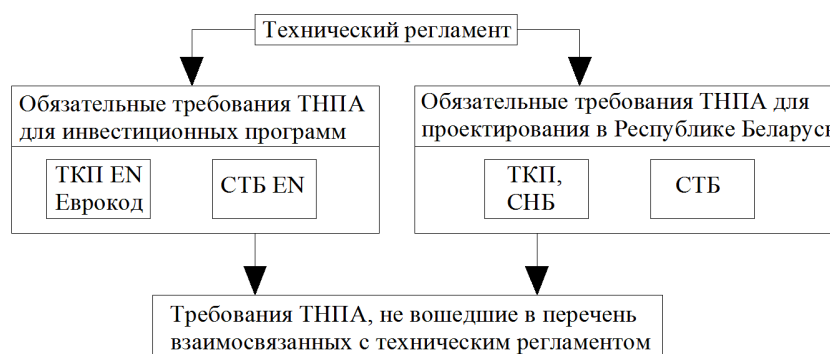
ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЕВРОКОДА 7 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ ФУНДАМЕНТОВ ПО ЕВРОПЕЙСКИМ И НАЦИОНАЛЬНЫМ НОРМАМ

канд. техн. наук, доц. **В.Н. КРАВЦОВ**
(Институт БелНИИС, Минск)

Освещены вопросы, связанные с введением в действие европейских норм в Республике Беларусь. Рассматриваются их взаимосвязи с национальными нормами. Приведены основные результаты выполненных в РУП «Институт БелНИИС» геотехнических исследований и верификации европейских методов расчета оснований фундаментов в грунтовых условиях белорусского региона с целью уточнения параметров национальных приложений Еврокода 7. Даны комментарии к принципам проектирования по европейским нормам и их анализ. Установлено, что расхождение между результатами расчетов оснований как плитных, так и свайных фундаментов аналитическим методом с использованием физико-механических характеристик грунтов по двум базам национальных норм (ТНПА) Республики Беларусь при достижении предельного состояния составляет 10...50% в зависимости от применяемого проектного подхода – ПП1...ПП3 (Design Approaches – DA1...DA3). Проектные подходы, дающие наименьшее расхождение между базами ТНПА Республики Беларусь, рекомендованы для их закрепления в национальных приложениях Еврокода 7 в качестве основных.

Ключевые слова: нормы европейские и национальные, геотехническое проектирование, плитные и свайные фундаменты, грунтовое основание, несущая способность, проектные принципы расчета.

Введение. Современный национальный комплекс технических нормативно-правовых актов в области архитектуры и строительства (ТНПА) последнего поколения Республики Беларусь с 01.01.2010 г. представлен, кроме блока национальных (белорусских ТКП РБ, СТБ РБ), еще большим блоком европейских (ТКП EN, СТБ EN) норм, схематично отображенных на рисунке.



**Схема нормирования и строительства в Республике Беларусь
с введением Европейских норм по данным РУП «Стройтехнорм» с 2010 по 2015 год**

В сжатые сроки Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь были подготовлены и утверждены 58 Технических кодексов установившейся практики по проектированию, испытанию конструкций, идентичных Еврокодам EN (33-ти из них с национальными приложениями); свыше 668 стандартов (СТБ EN, СТБ ISO) с целью получения конкурентных преимуществ на рынке строительных услуг и возможности получения белорусскими предприятиями CE-маркировки строительных товаров для поставки их в европейские страны.

Сложившееся положение (наличие параллельных баз по проектированию) полностью соответствует европейской практике принятия Еврокодов. Согласно директивам и мандатам ЕС «регулирующие» органы по строительству каждой страны-участницы ЕС в течение, как правило, 3 лет должны обеспечить использование Еврокодов в качестве приоритетной альтернативы ранее существовавшим национальным нормам и правилам проектирования строительных конструкций с последующей отменой последних после проведения соответствующих мероприятий по их актуализации применительно к местным условиям внедряющих стран (верификация методов, разработка национальных приложений, переподготовка специалистов и др.). Однако изучение опыта государств-членов ЕС показывает, что все они до настоящего времени имеют независимую национальную систему нормирования, гармонизированную с Еврокодами только по отдельным направлениям. Учитывая это обстоятельство, РУП «Институт БелНИИС» по зада-

нию Минстройархитектуры Республики Беларусь провел комплекс исследований данной проблемы с целью оценки достоверности методических принципов проектирования Еврокода 7 для грунтовых условий белорусского региона и повышения их эффективного использования в проектной практике строительных организаций. В данной работе приводятся отдельные результаты выполненного исследования по их применению на текущий момент.

Характеристика объекта и методика исследований. Разработка Еврокодов (EN) инициирована Комиссией европейских сообществ (СЕС) в 1975 году в рамках программы по строительству в соответствии со статьей 95 Римского договора. Целью программы являлось формирование системы **единых** гармонизированных технических правил по проектированию строительных конструкций с последующей заменой, в конечном итоге, различных норм стран Евросоюза (ЕС).

Первое поколение Еврокодов, в течение 15 лет разработанное Руководящей комиссией СЕС, состоящей из членом-государств ЕС, опубликовано в конце 1980-х годов и в 1989 году передано для дальнейшей реализации (утверждения, издания) Европейскому комитету по стандартизации (СЕН), что обеспечило им статус стандартов (EN) европейского сообщества ЕС.

Рабочие группы подкомитетов Технического комитета СЕН/Т С250, состоящих из 19 делегатов 19 стран Евросоюза, в 2010 году предложили Программу Еврокодов из 10 стандартов: EN 1990: Еврокод 0, EN 1991: Еврокод 1, EN 1991: Еврокод 9 – и всех их частей (58 стандартов). Еврокоды включают общие правила строительного проектирования традиционных и инновационных конструкций с обязательным привлечением экспертов в последнем случае. Страны-участницы ЕС определяют Еврокоды как рекомендательные документы (альтернативные) для обеспечения единых требований в области гражданского строительства. В них предусмотрена возможность уточнения отдельных параметров и процедур, если они оставлены в Еврокодах (допускаются) для определения на национальном уровне (NDP) каждой страны ЕС. Это, как правило, относится к географическим, климатическим сведениям (например, ветровые, снеговые нагрузки) и справочным материалам, а в Еврокоде 7, дополнительно – к выбору подхода проектирования (ПП / DA) и др. Национальные приложения каждой отдельной страны не распространяются на другие страны ЕС. Официальные редакции Европейских стандартов: немецкий, английский, французский языки. Европейский стандарт по геотехническому проектированию (Еврокод 7) и остальные стандарты из Программы Еврокодов переведены в Республике Беларусь на русский и подготовлены к изданию РУП «Стройтехнорм» в соответствии с требованиями и мандатами СЕН, поэтому соответствуют статусу национальных Европейских стандартов в Республике Беларусь и его официальной английской редакции. Еврокод 7 введен в действие (как и другие стандарты) Минстройархитектуры Республики Беларусь в 2010 году в качестве Кодекса установившейся практики – ТКП EN 1997-1-2009: Еврокод 7 [1; 2] (далее – ТКП EN, или Еврокод 7). Он является версией перевода с английского официальной редакции немецких норм DIN EN 1997-1:2005-10.

Еврокод 7 состоит из двух частей: ТКП EN 1997-1 «Геотехническое проектирование. Часть 1. Основные правила»; EN 1997-2 «Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунтов» [2]. В данной работе рассматривается только часть 1, которая согласно [1] должна применяться совместно с EN 1990 «Еврокод 0: Основы строительного проектирования» (СЕН, 2002) [3] и EN 1991: Еврокод 1 «Воздействия на сооружения» [4].

Часть 1 Еврокода 7 является общим документом, регламентирующим принципы геотехнического проектирования на базе 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. Рекомендуются детальные сведения проектирования (расчетные схемы и принципы, точные формулы, графики и др.) приводятся в «информативных» (рекомендуемых) приложениях и одном нормативном (обязательном) приложении А, где указаны частные множители и **корреляционные коэффициенты** для критических предельных состояний по прочности, деформациям и рекомендованные их значения (могут уточняться в национальных приложениях).

Расчет оснований фундаментов по ТКП EN [1; 2] производится для проверки предельных состояний (*STR* и *GEO*) – по разрушению (несущей способности) и чрезмерным деформациям конструкции фундамента, в том числе его элементов и их основания (грунтов) с учетом требований Еврокодов (0 и 1) [3; 4]. Проверяется условие (здесь и далее номера формул и др. даются по Еврокоду 7 [1]):

$$E_d \leq R_d, \text{ или } V_d \leq R_d, \text{ – при проектировании фундаментов,} \quad (2.5) \text{ или } (6.1)$$

с использованием частных коэффициентов γ , которые применяются или к репрезентативным воздействиям F_{rep} и к результатам этих воздействий V (формулы (6.2а) и (6.2б)), или к характеристическим параметрам грунта X_k и к сопротивлениям R (формулы (6.3а), (6.3б)).

Для проверки предельных состояний по (2.6) и (2.7) на разрушение или предельные деформации при действии вертикальной вдавливающей нагрузки для традиционных фундаментов используются

частные коэффициенты из обязательного приложения А Еврокода 7, собранные в сочетания исходя из 3-х принципов (подходов) проектирования (ПП1...ПП3 / DA1...DA3).

$$E_d(V_d) = E(V) \{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.6a)$$

$$E_d(V_d) = \gamma_E E(V) \{ F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.6b)$$

$$R_d = R \{ \gamma_F F_{rep}; X_k / \gamma_M; \alpha_d \}, \quad (2.7a)$$

$$R_d = R \{ \gamma_F F_{rep}; X_k; \alpha_d \} / \gamma_R. \quad (2.7b)$$

В проектном **принципе 1 (ПП 1 / DA 1)** используются 2-а сочетания из наборов частных коэффициентов γ :

- сочетание 1: **A1 «+» M1 «+» R1**;
- сочетание 2: **A2 «+» M2 «+» R1** или **A2 «+» (M1 или M2) «+» R4** – для свай и анкеров, где здесь и далее «+» означает «в сочетании с...».

В проектном **принципе 2 (ПП 2 / DA 2)** используется одно сочетание из наборов частных коэффициентов γ – сочетание **A1 «+» M1 «+» R2**.

В проектном **принципе 3 (ПП 3 / DA 3)** также используется одно сочетание из наборов частных коэффициентов как для плитных, так и свайных фундаментов и анкеров – сочетание (**A1* или A2†**) «+» **M2 «+» R3**, где * – для воздействий от сооружений; † – для геотехнических воздействий; **A, M, R** – обозначения наборов частных коэффициентов для формул (2.6) и (2.7) в сочетаниях (ПП / DA); **A** – набор частных коэффициентов по приложению А Еврокода 7, применяемых к репрезентативным воздействиям F_{rep} или их результатам; **M** – то же, но применяемых к характеристическим параметрам грунта X_k ; **R** – то же, но применяемых к сопротивлениям.

Три проектных подхода приняты в EN: Еврокод 7 в связи с тем, что среди его разработчиков возникли существенные разногласия по формату проверки предельных состояний STR и GEO. Одни настаивали на двойной проверке (неопределенности внешней нагрузки и устойчивости грунта), другие предпочитали использование только одного формата сочетаний наборов частных коэффициентов [5]. Согласно [1] выбор одного из ПП / DA должен происходить на национальном уровне для каждой страны ЕС после соответствующей их верификации и выполнения процедур и регламентов, предусмотренных директивами CEN.

Исходя из этого, для оценки степени достоверности геотехнических методов расчетов Еврокода 7, выбора проектных принципов и параметров для национального приложения ТКП EN в РУП «Институт БелНИИС» по заданию Минстройархитектуры Республики Беларусь с 2014 по 2016 год проводились исследования, включающие сравнительные геотехнические расчеты, по двум базам норм (ТНПА): *национальным* (ТКП РБ, СТБ РБ) и *европейским* (ТКП EN, СТБ ISO) [1–4]; обобщение, анализ их результатов с выводами и рекомендациями. Для этого использовалась также вспомогательная литература по практическому применению Еврокода 7 в ЕС 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) [5; 8; 9 и др.] с комментариями и примерами по проектированию реальных объектов.

Расчет деформации и несущей способности основания плитного фундамента по методам Eurocode 7 производился из условия (6.1), где проектные значения нагрузки V_d назначались согласно Еврокоду 0, а сопротивление фундамента R_d и осадки – на основе рекомендуемых в приложениях D и E Eurocode 7 аппроксимированных уравнений теории упругости с использованием следующих предпосылок и исходных факторов:

- прочность грунта определяется расчетными значениями его свойств c_u , c' и ϕ' ;
- рассматриваются самые распространенные в Республике Беларусь конструкции фундамента, со схемами приложения нагрузок по [1] (с учетом эксцентриситета e , наклона нагрузки i , подошвы фундамента α , ее формы s , глубины ее заложения D и др.);
- инженерно-геологические условия строительства соответствуют наиболее характерным для белорусского региона случаям (состав грунтов основания и их расположение по глубине, простираанию и др.), согласно приложению А в [6].

Расчеты выполнены для плитных, ленточных, столбчатых (квадратных, прямоугольных при $b/1 = 1:2$) фундаментов с шириной подошвы от 0,5 до 3 м и глубиной ее заложения от 0,5 до 2,5 м; стандартных забивных свай с поперечным сечением от 200×200 до 400×400 мм; буронабивных – диаметром от 200 до 1000 мм, погруженных в основание до 12 м. В качестве оснований фундаментов рассмотрены наиболее распространенные в Республике Беларусь четвертичные отложения: пески ($c_{II} = 0$, γ_{II} от 16 до 18 кН/м³, ϕ_{II} от 20° до 36°); глинистые грунты (c_{II} от 10 до 50 кПа; γ_{II} от 18 до 22 кН/м³; ϕ_{II} от 20 до 28°).

Результаты исследований, применения и верификации Еврокода 7. Анализ практики применения Еврокода 7 и других введенных в Республике Беларусь стандартов EN свидетельствует о том, что эти стандарты на текущий момент фактически не действуют в требуемом объеме. В результате ускоренной процедуры внедрения Еврокодов ряд ссылочных стандартов (СТБ EN) не актуализирован в части их перевода и утверждения; не организовано в достаточной мере системное обучение в учреждениях высшего и среднего специального образования и переподготовки технического персонала строительных и проектных организаций.

В частности, эффективность применения Еврокода 7, ТКП EN 1997-1-2009. Ч. 1 низка по следующим причинам:

- отсутствие методических Пособий (рекомендаций), разъясняющих на практических примерах принципы, положения их применения и интерпретацию исходя из условий Республики Беларусь, которые согласно директивам СЕН должны разрабатываться и издаваться перед внедрением Еврокодов в каждой отдельной стране;

- отсутствие достоверных (обоснованных) национальных приложений с уточненными частными коэффициентами, расчетными параметрами, рекомендованными проектными принципами ПП / ДА, которые каждая страна, применяющая Еврокоды, должна после проведения соответствующих исследований закреплять их в качестве основных.

В то же время результаты выполненных исследований показывают, что основные подходы к геотехническому проектированию в Европейских [1; 2], национальных [6; 7 и др.] нормах схожи, например:

- требования к составу проекта, объему изысканий, методам проектирования, (2-а предельных состояния), а также способам их контроля в зависимости от ответственности объекта, сложности его проектирования, инженерно-геологических условий, нагрузки и т.д.;

- проектирование фундаментов как в [1], так и в [6; 7] основывается на проверке предельных состояний;

- уровень надежности (недопущения предельных состояний) устанавливается путем использования частных коэффициентов и др.

Несмотря на одинаковые подходы в [1] и [6; 7] к обеспечению прочности, устойчивости и непревышению деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений в них, однако, имеются существенные отличия: в терминологии; стилистике; оформлении; изложении и подаче технического текста; в выборе теоретических формул и параметров для количественной оценки грунтов; проч., которые обусловлены исторически сложившимися традициями в научных исследованиях и проектировании, что вызывает значительные трудности при освоении Еврокодов у персонала строительных организаций и приводит к ошибкам в расчетах по нормам Еврокодов даже у специалистов высшей категории [10; 11 и др.].

Рассмотрим обозначенную проблему на примере. Для этого ниже приводится *дублирующий геотехнический расчет* по исходным данным в работе [11]: «...выполнены теоретические определения величин несущей способности грунтового основания, представленного суглинком тугопластичным с расчетными характеристиками: $\varphi_n = 20^\circ$; $c_n = 25$ кПа; $\gamma = 19$ кН/м³; $G_k = 300$ кН; $Q_k = 136$ кН. Из расчета по деформациям определены размеры подошвы фундамента 1,5×1,5 м».

Заметим, что приведенные в [11] исходные данные, в том числе обозначения и др., недостаточно информативны и недостаточно корректны для полноценных расчетов по [1] и [7], поэтому представим их в следующем виде.

Дано: рассчитать плитный столбчатый фундамент для каркасного здания без подвала в городе Бресте с соотношением длины к высоте $L/H = 1,5$ с проектными размерами подошвы (в скобках, здесь и далее даются обозначения по Еврокоду 7): $b \times l (B' \times L') = 1,5 \times 1,5$ м ($A' = 2,25$ м²), расположенный в однородном слое суглинка тугопластичного с нормативными (характеристическими) свойствами по результатам изысканий: $\gamma_{II} (\gamma_k) = 19$ кН/м³; $\gamma_{II \text{засыпка}} = 19 \cdot 0,95 = 18,05$ кН/м³; $\varphi_{II} (\varphi') = 20^\circ$; $c_{II} (c_u) = 25$ кПа (для недренированного сдвига); $c' = 8,5$ кПа (для дренированного сдвига при эффективном напряжении).

Нормативная (репрезентативная) нагрузка на плитный центрально нагруженный фундамент составляет: постоянная $N_G^n (V_{G,rep}) = 300$ кН; временная $N_Q^n (V_{Q,rep}) = 136$ кН; общая $N^n (V_{rep}) = 436$ кН (процентное отношение временной и постоянной нагрузок к их общей величине соответственно 31 / 69).

Так как глубина заложения подошвы плитного фундамента в исходных данных [11] не приводится, за основу принимаем: глубину промерзания глинистых грунтов в Брестской области – $d(D) = 1$ м; уровень подземных вод – ниже активной зоны фундамента.

Расчеты выполняются по Еврокоду 7 [1] для условий: **А** – без дренирования; **Б** – с дренированием основания; по нормам Республики Беларусь [7]: **В** – необводненный грунт, что соответствует условию **Б** по методике Еврокода 7 [1].

А. Расчет для **недренированного** основания производится по формуле (D1) в [1] и по всем проектным принципам ПП1...ПП3 / DA1...DA3, так как преимущественный метод не оговорен в [1] (здесь и далее нумерация формул соответствует Еврокоду 7 [1]):

$$R_d / A' = (\pi + 2)c_u \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q = (\pi + 2)c_u \cdot s_c + q, \quad (D1)$$

где обозначения см. выше в тексте и в приложении D [1] ($s_c = 1,2$ – для квадратной формы подошвы, $b_c, i_c = 1$).

Расчет по ПП1 для сочетаний 1 и 2

В **сочетании 1 (A1+M1+R1)** частные коэффициенты γ не равны 1 только в наборе A1: $\gamma_G = 1,5$; $\gamma_Q = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$ (см. приложение A [1]). Тогда

$$V_d / A' = \gamma_E \cdot V_{d,rep} / A' = \frac{(\gamma_G \cdot V_{G,rep} + \gamma_Q \cdot V_{Q,rep})}{A'} = \frac{(1,35 \cdot 300 + 1,5 \cdot 136)}{2,25} = 270,67 \text{ кПа.}$$

$$R_d / A' = 5,14 \cdot 25 \cdot 1,2 + 1 \cdot 1,9 = 173,2 \text{ кПа} < V_d / A' = 270,67 \text{ кПа.}$$

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

В **сочетании 2 (A2+M2+R1)** частные коэффициенты не равны 1 в наборах A2 ($\gamma_Q = 1,3$) и M2 ($\gamma_{cu} = 1,4$) ($\gamma_{qu} = 1,4$). Тогда

$$V_d / A' = \gamma_E \cdot V_d / A' = \frac{1 \cdot 300 + 1,3 \cdot 136}{2,25} = 211,91 \text{ кПа;}$$

$$R_d / A' = (\pi + 2) \cdot c_u / \gamma_{cu} \cdot s_c + q / \gamma_{qu} = 5,14 \cdot (25 / 1,4) \cdot 1,2 + (19 \cdot 1) / 1,4 = 123,71 \text{ кПа.}$$

Это меньше давления под подошвой фундамента от нагрузки $V_d / A' = 211,91$ кПа.

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Расчет по ПП2 (сочетание A1+M1+R2)

В наборе A1: $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$ в наборе R2: $\gamma_{R,V} = 1,4$ (для сопротивления сжатию).

Тогда $V_d / A' = 270,67$ кПа (см. выше сочетание 1 в ПП1).

$$R_d / A' = 5,14 \cdot 25 \cdot 1,2 + 1 \cdot \frac{1 \cdot 19}{1,4} = 167,77 \text{ кПа} < 270,67 \text{ кПа.}$$

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Расчет по ПП3 (сочетание A1+M2+R3)

В наборе A1: $\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$; в наборе M2: $\gamma_{cu} = 1,4$, $\gamma_{qu} = 1,4$.

Тогда $V_d / A' = 270,67$ кПа $\leq R_d / A' = 5,14 \cdot (25 / 1,4) \cdot 1,2 + (1 \cdot 19) / 1,4 = 123,71$ кПа.

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

Таким образом, при использовании ПП1...ПП3 (DA...DA3) для расчета недренированного основания плитного квадратного фундамента его краткосрочная предельная проектная несущая способность по исходным данным настоящего примера не обеспечена ($V_d \leq R_d$). Следовательно, требуется увеличить ширину фундамента или глубину заложения его подошвы.

Б. Расчет для дренированного основания производится по рекомендуемой формуле (D2) в [1]:

$$R / A' = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma, \quad (D2)$$

где b_c, b_q, b_γ – коэффициенты наклона подошвы и нагрузки, равные 1;

N_c, N_q, N_γ – коэффициенты несущей способности, которые являются функциями проектного угла внутреннего трения φ' , определяются с учетом частных коэффициентов и назначаются согласно проектным принципам ПП1...ПП3 (DA1...DA3) по [1].

Для **ПП1 сочетание 1** ($\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$; $\gamma_{cu} = \gamma_\varphi = \gamma_\gamma = 1$), получим:

$$N_Q = e^{\pi \cdot \text{tg} \varphi' / \gamma_\varphi} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi' / \gamma_\varphi}{2} \right) = e^{3,14 \cdot \text{tg} 20^\circ / 1} \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{20^\circ / 1}{2} \right) = 6,40,$$

где $N_c = (N_q - 1) \cdot \text{ctg} \varphi' / \gamma_\varphi = (6,40 - 1) \cdot \text{ctg} 20^\circ / 1 = 14,84$; $N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \varphi' / \gamma_\varphi = 2 \cdot (6,40 - 1) \cdot \text{tg} 20^\circ / 1 = 3,93$;

$b_c = b_q = b_\gamma = 1$; $i_c = i_q = i_\gamma = 1$; $q' = \gamma' \cdot D = (19/1) \cdot 1 = 19$ кПа; $s_q = 1 + (B'/L') \cdot \sin \varphi' = 1 + (1,5/1,5) \cdot \sin 20^\circ / 1 = 1,34$;
 $s_\gamma = 0,7$; $s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) = (1,342 \cdot 6,40 - 1) / (6,40 - 1) = 1,41$. $V_d / A' = 270,67$ кПа (см. расчеты по А);
 $R / A' = (8,5 / 1) \cdot 14,84 \cdot 1 \cdot 1,41 \cdot 1 + 19 \cdot 6,40 \cdot 1 \cdot 1,34 \cdot 1 + 0,5 \cdot (19 / 1) \cdot 1,5 \cdot 3,93 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 380,25$ кН $> 270,67$ кН.

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП1 сочетание 2** ($\gamma_G = 1,3$; $\gamma_c = \gamma_\varphi = 1,25$, $\gamma_\gamma = 1,0$), с учетом $\varphi' / 1,25 = 16^\circ$, получим:

$$V_d / A' = (1 \cdot 300 + 1,3 \cdot 136) / 2,25 = 211,91 \text{ кПа,}$$

$N_q = 4,33$; $N_c = 11,60$; $N_\gamma = 1,91$; $s_q = 1,28$; $s_c = 1,36$; $s_\gamma = 0,7$; $q' = 1 \cdot (19/1) = 19$ кПа;

$R / A' = (8,5/1,25) \cdot 11,60 \cdot 1 \cdot 1,36 \cdot 1 + 19 \cdot 4,33 \cdot 1 \cdot 1,28 \cdot 1 + 0,5 \cdot 19/1 \cdot 1,5 \cdot 1,91 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 231,64$ кПа $> 211,91$ кПа.

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП2** ($\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$, $\gamma_{RV} = 1,4$) получим

$V_d / A' = 270,67$ кПа (см. А) $< R / A' = 333,44$ кПа (см. ПП1, сочетание 1, где $q' = (1 \cdot 19) / 1,4 = 13,57$).

Условие $V_d \leq R_d$ – удовлетворяется.

Для **ПП3** ($\gamma_G = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$, $\gamma_c = \gamma_\varphi = 1,25$), с учетом $\varphi' / 1,25 = 16^\circ$, получим:

$V_d / A' = 270,67$ кПа; $N_c = 11,60$; $N_q = 4,33$; $N_\gamma = 1,91$; $q = 19$ кПа; $s_q = 1,342$; $s_c = 1,41$; $s_\gamma = 0,7$;

$R_d / A' = 231,64$ кПа (см ПП1, сочетание 2) $< 270,67$ кПа (см. А).

Условие $V_d \leq R_d$ – не удовлетворяется.

В. Расчет по национальным нормам (ТНПА) ТКП 45-5.01-67-2007 [7]

Оценка несущей способности основания фундаментов производится согласно [7] с использованием нормативных нагрузок и характеристик грунтов (для II группы предельных состояний) исходя из выполнения следующих условий: $p_m < R$ (для центрально нагруженных фундаментов), где p_m – среднее давление под подошвой фундамента, кПа, от нормативной нагрузки N^m ; R – расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента, определяемое по формуле (5.16) в [7]:

$$R = \frac{\gamma_1 \cdot \gamma_2}{k} (M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d \cdot \gamma_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma_{II} + M_c + c_{II}). \quad (5.16)$$

Здесь, согласно [7], для суглинка тугопластичного при $\varphi_{II} = 20^\circ$: $\gamma_1 = 1,2$; $\gamma_2 = 1,1$; $M_\gamma = 0,51$; $M_q = 3,06$; $M_c = 5,66$; k и $k_z = 1$. Тогда

$$R = \frac{1,2 \cdot 1,1}{1} (0,51 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 19 + 3,06 \cdot 1 \cdot 18,05 + 5,66 \cdot 25) = 278,88 \text{ кПа} > p_m = 436/2,25 = 193,78 \text{ кПа.}$$

Условие $p_m < R$ **обеспечено**. Ширина фундамента подобрана с существенным запасом (разница между p_m плюс 31% более допускаемых 10% по [7]).

Итоговые результаты сравнительных расчетов, приведенных в [11], и дублирующего расчета (см. выше), выполненных по нормам [1] и [7], сведены в таблицу.

Из вышеперечисленных сравнительных расчетов следует, что в примере работы [11] некорректно приняты исходные данные для расчета по Еврокоду 7 и в формуле DA2, рекомендуемой в [1] для оценки несущей способности дренированных грунтов, использовалось значение сцепления $c_u = 25$ кПа (при **недренированном** сдвиге), а как сцепление c' (для **дренированного** грунта, при эффективном давлении), которое в несколько раз ниже. Очевидно, это привело к значительному завышению результатов расчета, о чем свидетельствуют данные, представленные в таблице.

Анализ выполненных в РУП «Институт БелНИИС» исследований во всем диапазоне нагрузок, типов грунтов и фундаментов, их характеристик (см. приведенную выше методику) показал, что отклонения между результатами аналитических расчетов при использовании свойств грунтов по двум базам ТНПА Республики Беларусь как для плитных, так и свайных фундаментов не превышают $i = (10 \dots 50)\%$. Наименьшие расхождения ($i = 5 \dots 20\%$) имеют место при расчетах предельных состояний дренированных оснований фундаментов по сочетанию 2 ПП1 / DA1 и DA3 / DA3 в диапазоне углов внутреннего трения φ , составляющем $20 \dots 30^\circ$ (пески) и $20 \dots 28^\circ$ (глинистые грунты), при ширине подошвы плитных фундаментов $b = (0,5 \dots 2)$ м с глубиной ее заложения до 2 м.

Указанная закономерность относится также к сваям. При этом совпадение результатов между двумя базами ТНПА для них существенно зависит от диаметра или размера большей стороны сваи. Чем больше диаметр свай, тем выше процент отклонения в результатах расчетов по двум базам ТНПА Республики Беларусь. Расхождение может превышать 100% и более [12].

Итоговые результаты сравнительных расчетов для основания фундамента 1,5×1,5 м ($A = 2,25 \text{ м}^2$, $N^* = 436 \text{ кН}$)

| Вариант расчета | Давление под подошвой фундамента | | Предельное расчетное сопротивление грунта R согласно [7] и R_d/A' (числитель), кПа, и его отклонение от эталонного значения (знаменатель), %, по методам | | | | | Примечания |
|--|---|--|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | ТКП РБ [7]: p_m , кПа (нормативное) | ТКП EN [1]: V_d/A' , кПа (проектное) | ТКП EN: Еврокод 7 [1] для проектных принципов | | | ТКП РБ [7] (эталон) | | |
| | | | ПП1 | | ПП2 | | ПП3 | |
| | | сочетание 1 | сочетание 2 | | | | | |
| <i>1 Дублирующий:</i> | | | | | | | | |
| А – для недренированного основания | 193,78 | 270,67; 211,91 для сочетания 2 ПП1/DA1 | <u>173,2</u> (-38) | <u>123,71</u> (-56) | <u>167,77</u> (-40) | <u>123,71</u> (-56) | — | В ТКП РБ по варианту “А” расчет не предусмотрен. Эталон условно принят по варианту “Б” |
| Б – для дренированного основания | То же | <u>380,25</u> (+27) | <u>173,2</u> (-38) | <u>123,71</u> (-56) | <u>167,77</u> (-40) | <u>123,71</u> (-56) | — | |
| А – для недренированного основания | 193,78 | 270,67; 211,91 – для сочетания 2 ПП1/DA1 | <u>173,2</u> (-38) | <u>123,71</u> (-56) | <u>167,77</u> (-40) | <u>123,71</u> (-56) | — | |
| Б – для дренированного основания | То же | То же | <u>380,25</u> (+27) | <u>231,64</u> (-17) | <u>333,44</u> (+17) | <u>231,64</u> (-17) | <u>278,88</u> 0 | |
| <i>2 По статье [11]:</i> | | | | | | | | |
| А – для недренированного основания | 193,78 | — | — | — | — | — | — | В [11] по варианту “А” данных нет. Эталон условно принят по варианту 1 “Б” |
| Б – для дренированного основания | То же | См. вариант 1 | <u>758,18</u> (+63) | <u>476,62</u> (+41) | <u>541,56</u> (+48) | <u>476,44</u> (+41) | <u>599,02</u> (+53) | |
| Расхождения результатов между методами [1] и [7], %, указанные в работе [11] | То же | То же | 149 | 102 | 77,8 | 56,0 | 142,5 | Некорректные данные |

Выводы

1. Ускоренная процедура введения в Республике Беларусь европейских норм по геотехническому проектированию не позволила выполнить в необходимом объеме указания директив СЕН ЕС и национальной «Программы мероприятий по внедрению Еврокодов», связанные с изданием методической литературы, переподготовкой технического персонала организаций, оснащением лабораторий оборудованием по стандартам EN на испытания грунтов и др. В результате Еврокод 7 до настоящего времени не актуализирован.

2. Анализ Еврокода 7 [1] и национальных норм [6; 7], практика их применения показывают следующее: несмотря на одинаковые принципы и подходы, заложенные в этих нормах, к обеспечению прочности, устойчивости, недопущению предельных деформаций оснований и фундаментов, в них имеются существенные отличительные особенности, обусловленные исторически сложившимися традициями в области теории (применения расчетных моделей), проектирования, производства, технологии проведения работ, в том числе в терминологии, стилистике и форме изложения технического и нормативного материала, что затрудняет их восприятие и приводит к значительным ошибкам при расчетах даже среди специалистов высшей квалификации (см. дублирующий расчет к работе [11]). Для успешного завершения внедрения Еврокода 7 в практику проектирования оснований и фундаментов в Республике Беларусь необходимо скорректировать Программу по их внедрению, в частности: *завершить* сравнительные исследования по оптимизации расчетных принципов, положений и схем Еврокода 7 с учетом грунтовых условий Республики Беларусь, на основе которых актуализировать его национальные приложения и гармонизировать их с национальными ТНПА; *обеспечить* методическое сопровождение внедрения ТКП EN 1997-1-2009: Еврокод 7 в проектную практику строительных организаций посредством обучающих семинаров для их сотрудников, издания соответствующих методических документов (рекомендаций) с комментариями по применению частных и общих положений норм ЕС, примерами расчетов и др.

3. Выполненные в РУП «Институт БелНИИС» сравнительные исследования эффективности в условиях белорусского региона двух нормативных баз ТНПА Республики Беларусь (европейских, национальных) по геотехническому проектированию показали, что наибольшее совпадение между результата-

ми аналитических расчетов по ним оснований фундаментов с использованием физико-механических характеристик грунтов достигается при использовании проектных подходов Еврокода 7-ПП1 (сочетание 2) и ПП3 в диапазоне углов внутреннего трения грунта φ от 20 до 28° при ширине подошвы плитного фундамента (0,5...2) м с глубиной ее заложения до 2 м, которые рекомендованы для закрепления в национальных приложениях ТКП EN в качестве основных. Подобная закономерность прослеживается и для свай. При этом наилучшее совпадение результатов наблюдается для свай с диаметром или большей стороной (200...500) мм [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 1. Общие правила : ТКП EN 1997-1-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 121 с.
2. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Ч. 2. Исследование и испытания грунта : ТКП EN 1997-2-2009. – Введ. 10.12.2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 140 с.
3. Еврокод 0. Основы проектирования строительных конструкций : ТКП EN 1990-2011*. – Введ. 15.11.2011. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2015. – 86 с.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Ч. 1-2...7. Общие воздействия: ТКП EN 1991-1-...7-2009. – Введ. 10 дек. 2009. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2010.
5. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design – General Rules / R. Frank [and oth.]. – London : Thomas Telford LTD, 2004. – 213 p.
6. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-5.01-254-2012. – Введ. 05.01.2012. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2012. – 164 с.
7. Фундаменты плитные. Правила проектирования : ТКП 45-5.01-67-2007. – Введ. 05.09.2007. – Минск : МАиС Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 36 с.
8. Driscoll, R. EC7 – Implications for UK practice. Eurocode geotechnical design / R. Driscoll, P. Scott, J. Powell. – London : CIRIA, 2008. – 120 p.
9. Eurocode 7: Geotechnical design. Worked examples / A. Bond [and oth.]. – Italy: European union, 2013. – 160 p.
10. Никитенко, М.И. Отличия при расчете плитных фундаментов по Европейским и национальным нормам / М.И. Никитенко, С.В. Игнатюк // Строительная наука и техника. – 2011. – № 2(35). – С. 19–22.
11. Тур, В.В. Проектирование фундаментов на естественном основании (распределяющих) согласно Еврокоду 7 / В.В. Тур, А.Н. Тарасевич, В.Н. Дедюк // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XXI междунар. семинара / БрГТУ ; редкол.: Н.Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2018. – Ч. 1 – С. 379.
12. Krautsou, U. Comparative analysis of European and Belarusian standards for geotechnical design of pile foundations in the context of the Republic of Belarus [Electronic resource] / U. Krautsou // Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers. – Minsk : Institute BelNIIS. – 2018. – Vol. 10. – P. 28–50. – Режим доступа: <https://doi.org/10.23746/2018-10-03>.

Поступила 02.06.2019

PRACTICE IN THE APPLICATION OF EUROCODE 7 IN THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE COMPARISON RESULTS OF THE GEOTECHNICAL CALCULATION OF BASES FOUNDATION ACCORDING TO EUROPEAN AND NATIONAL STANDARDS

V. KRAVTSOV

In article the questions connected with enforcement of the European norms in Republic of Belarus and their interrelations with national standards are taken up. The main results of the geotechnical researches executed in RUP "Institute of BELNIIS" and verification of the European methods of calculation of foundations of the bases are given in soil conditions of the Belarusian region for the purpose of specification of parameters of national applications of Evrokod 7. Comments on the principles of design on European are given, to norms and their analysis. It is established that the divergence between calculation results of foundations of both the slabby, and pile bases, an analytical method with use of physicommechanical characteristics of soil on two bases of national standards (TNLA) of Republic of Belarus at achievement of a limit state, makes 10...50%, depending on the applied design approach – DA1...DA3 (ПП1...ПП3). Design approaches which give the smallest divergence between TNLA bases of Republic of Belarus are recommended for their fixing in national applications of Evrokod 7 as the main.

Keywords: European and national standards, geotechnical design, slab and pile foundations, base foundation, bearing capacity, design approaches of calculation.