

УДК 624.154:006.05

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАСЧЁТНЫХ МЕТОДОВ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПО
ЕВРОКОДУ 7 И СОПОСТАВЛЕНИЕ ИХ С НОРМАМИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Руководитель направления **А.Г. Ерзинкян**

(Группа управления рисками в проектах

АО «РАСУ»; ГК «Росатом»),

научный сотрудник **Н.М. Розанова**,

заместитель технического директора **Н.Ю. Новак**

(ООО «Мастерская Мостов»)

Конт. информация: ench44@yandex.ru;

nmrozanova@bk.ru;

novaknyu@bk.ru

При разработке концепций обновления отечественных строительных правил 2000-х годов одним из направлений движения было принято сближение с нормами Европейского союза. И хотя в последние годы интерес к гармонизации с Еврокодом несколько снизился, в научной среде не утихают споры о возможности внедрения лучших европейских практик в систему российской нормативной документации. Как и российские, европейские методы проектирования опираются на положения теории предельных состояний, получившей развитие в период строительного бума после окончания Второй мировой войны. Несмотря на наличие общего базиса, существующие на сегодняшний день методы расчётов и подходы к проектированию строительных конструкций имеют серьёзные различия. Прослеживается это не только в разнице между Российской и Европейской нормативной документацией, но и в подходах, принятых в различных странах ЕС.

В рамках работы по государственному контракту на разработку ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила проектирования опор и фундаментов» выполнены работы по сбору и анализу отечественных и зарубежных нормативных документов, а также действующих методических документов, касающихся проектирования и расчетов фундаментов. Проведен расчетный анализ подходов к сбору нагрузок, систем коэффициентов и применяемых методик оценки несущей способности, выявлены сходства и различия теоретической базы РФ и ЕС.

Целью данной статьи является сравнение результатов, полученных в ходе расчетов согласно трём приведённым в седьмом томе Еврокода (EN 7) подходам к проектированию и расчёту по СП 24.13330.2011. Вышеописанные особенности рассмотрены на примере расчёта несущей способности буронабивной сваи в песчано-глинистых грунтах. Кроме того, даны комментарии к приведенным расчётам и представлены выводы по результатам проведённого анализа о перспективах гармонизации и пути развития отечественной практики проектирования.

Ключевые слова: *Еврокод, нормативная документация, несущая способность, свайные фундаменты, подходы к проектированию, методы расчёта.*

ВВЕДЕНИЕ

К разработке Еврокода 7 «Геотехническое проектирование» [1, 2] приступили в 1981 г., организовав специальную рабочую группу. Изначально Еврокод 7 должен был состоять из трёх частей: 1. Общие правила. 2. Проектирование при помощи лабораторных испытаний. 3. Проектирование при помощи полевых испытаний. Впоследствии их содержание претерпело некоторые изменения относительно изначального замысла, а вторая и третья часть объединены в документ под названием «Геотехническое проектирование. Часть 2. Исследования и испытания грунта». Официальное принятие Европейских норм состоялось лишь в мае 1997 г. и было связано с рядом трудностей. По словам председателя комитета по разработке Еврокод 7, профессора Роджера Франка, *положительному решению вопроса способствовало признание CEN/TC 250¹ того, что геотехническое проектирование – уникальная отрасль, которая отличается от всех остальных видов проектирования, используемых в строительной практике. Методы, обычно применяемые в разных странах, различаются, поэтому их трудно объединить, хотя бы из-за различия инженерно-геологических условий и местных традиций. «CEN/TC 250 признает, что ENV 1997-1² посвящается фундаментальным принципам геотехнического проектирования с учетом национальных стандартов.*

Одной из областей проектирования, в которых вопрос интеграции с западными расчётными методиками стоит особенно остро, является проектирование мостовых сооружений. Отмечаемые при этом необходимость расчёта массивных и сложных свайных фундаментов, а также широкое распространение зарубежных расчётных комплексов

¹«Технический комитет 250», ответственный за разработку Еврокодов.

²Предварительная версия стандарта, выпущенная в 1993 г.

подтверждают актуальности исследуемой темы. В то же время существующие серьёзные различия в терминологии, исследуемых физико-механических характеристиках грунта и подходах к проектированию, нередко вызывают путаницу в терминах даже в среде высококвалифицированных специалистов.

Вопросы определения оптимальных параметров свайного фундамента и понимания реальной механики процессов, происходящих в толще грунта, до сих пор является важной областью научных изысканий. Недостаток теоретического знания компенсируется знанием эмпирическим, полученным в результате анализа больших массивов статистических данных. Однако даже в рамках Евросоюза отличия между собранными статистическими показателями могут быть значительными. Это обусловило развитие различных подходов и методик проектирования.

Что касается европейских норм геотехнического проектирования – норм – Еврокод 7, ими предусматриваются следующие подходы к проектированию свайных фундаментов, а именно подходы:

- основанные на результатах испытаний статической нагрузкой, при условии подтверждения расчётами или иным способом;
- основанные на эмпирических или аналитических расчётных методах, надёжность которых подтверждена результатами испытаний статической нагрузкой в схожих условиях;
- основанные на результатах испытаний динамической нагрузкой, надёжность которых подтверждена результатами испытаний статической нагрузкой в схожих условиях и для того же типа свай;
- основанные на наблюдении за поведением сравнимого свайного фундамента в схожих инженерно-геологических условиях, при подтверждении инженерно-геологических условий результатами лабораторных и полевых испытаний.

Исходя из приведённого перечня, можно сделать вывод о том, что методы проектирования, основанные на результатах испытаний статической нагрузкой, являются, по мнению разработчиков EN 7, наиболее предпочтительными.

Особенности расчёта по EN7

Прежде чем приступить к детальному рассмотрению некоторых вопросов важно также обратить внимание на наличие некоторых значимых различий в терминологии. Так, в приведенной ниже таблице из приложения Е ГОСТ 25100 [4] (рис. 1), приведены данные сопоставления размеров гранулометрических фракций, определяемых по ГОСТ [4], ISO 14688-2 [5] и ASTM D 2487 [6].

Размер частиц, мм	800	630	400	300	200	100	76,2	63	60	40	20	19	10	6,3	4,75	4	2
ГОСТ 25100	Валуны (глыбы)				Галька (щебень)							Гравий (дресва)					
	крупные	средние	мелкие	крупная	средняя	мелкая			крупный	мелкий							
ISO 14688-2	Boulders		Cobbles				Gravel						Sand				
							coarse			fine		coarse					
ASTM D 2487	Large boulders		Boulders		Cobbles		Coarse gravel		Medium gravel		Fine gravel						
Продолжение блок-схемы																	
Размер частиц, мм	1	0,63	0,5	0,425	0,25	0,2	0,1	0,075	0,063	0,05	0,02	0,0063	0,005	0,002	<0,002		
ГОСТ 25100	Песчаные частицы							Пылеватые частицы				Глинистые частицы					
	крупные		средние		мелкие		тонкие		крупные	мелкие							
ISO 14688-2	Sand						Silt						Clay				
	Medium			fine													
ASTM D 2487	Sand						Silt						Clay				
	coarse		medium		fine		coarse		medium		fine						

Рис. 1. Блок-схема:
сопоставление размеров гранулометрических фракций, определяемых по [4], [5], [6]

Кроме того, важно отметить и наличие в Еврокоде таких понятий, как «характеристические» и «проектные» значения параметров вместо принятых в отечественных нормах «нормативных» и «расчётных» значений.

Проектное значение вычисляется из характеристического посредством применения к последнему частных коэффициентов надёжности, что в целом соответствует расчётным из российских норм.

Характеристическое значение показателя грунта при использовании статистического подхода определяется как величина с доверительной вероятностью 95 %. В большинстве практических случаев статистический подход не может быть использован из-за недостатка экспериментальных данных. В этих случаях EN7 определяется характеристическое значение как «осторожная оценка параметра».

В зависимости от метода определения и объёма исходных данных для проектирования, Еврокод 7 предлагает две процедуры расчёта и три проектных подхода с использованием сочетаний частных коэффициентов надёжности (A, M, R). Подходы и их описания представлены в **табл. 1**. Данные о применяемости этих подходов в разных странах Европы отражены на **рис. 2**.

Поправочные коэффициенты ξ (упоминаемые в **табл. 1**) для наглядности представлены в **табл. 2**.

При этом коэффициенты группы A применяются к нагрузкам (**табл. 3**), коэффициенты группы M – к параметрам грунтов основания (**табл. 4**), а коэффициенты группы R – к показателям сопротивления свай (**табл. 5**). Таблицы для определения описываемых коэффициентов приведены ниже.

Таблица 1

Схема проведения расчётов согласно Еврокод 7

Процедура модельной сваи			Альтернативная процедура			Подход 3 (DA-3)
По данной процедуре значения испытаний грунта на каждом отдельном испытываемом профиле используются для расчета сопротивления условной модели. Процедура предусматривает применение коэффициентов ζ к рассчитанному сопротивлению для учета изменчивости сопротивления сваи и получения значения сопротивления сжатию. Испытания могут выполняться или в лаборатории, или на месте выполнения работ.			По данной процедуре параметры грунта, взятые из всех испытываемых точек, вначале сводятся вместе перед расчетом значений сопротивления основания и трения по боковой поверхности сваи в разных слоях, полученных при оценке результатов испытания без применения коэффициентов ζ . К результатам расчётов может быть применён коэффициент модели величиной >1 , являющийся калибровочным коэффициентом и задаваемый национальными приложениями стран к Еврокоду.			Поскольку в подходе к проектированию 3 используются частные коэффициенты, применяемые к значениям параметров грунта, то ни процедура «модельной сваи, ни «альтернативная» процедура не могут использоваться, потому что в обеих процедурах предусмотрены коэффициенты, применяемые к значениям сопротивлений.
Подход 1 (DA-1) Сочетание 1	Подход 1 (DA-1) Сочетание 2	Подход 2 (DA-2)	Подход 1 (DA-1) Сочетание 1	Подход 1 (DA-1) Сочетание 2	Подход 2 (DA-2)	
A1+M1+R1	A2+M1 ³ +R4	A1+M1+R2	A1+M1+R1	A2+M1 ³ +R4	A1+M1+R2	A1 ⁴ +M2+R3

³Здесь для негативных воздействий геотехнического характера применяется коэффициент надёжности M2.

⁴Здесь для негативных воздействий геотехнического характера применяется коэффициент надёжности A2.

Исходя из описания приведённых подходов можно заключить, что расчётные методы определения несущей способности свай из СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [3] ближе всего к альтернативной процедуре.

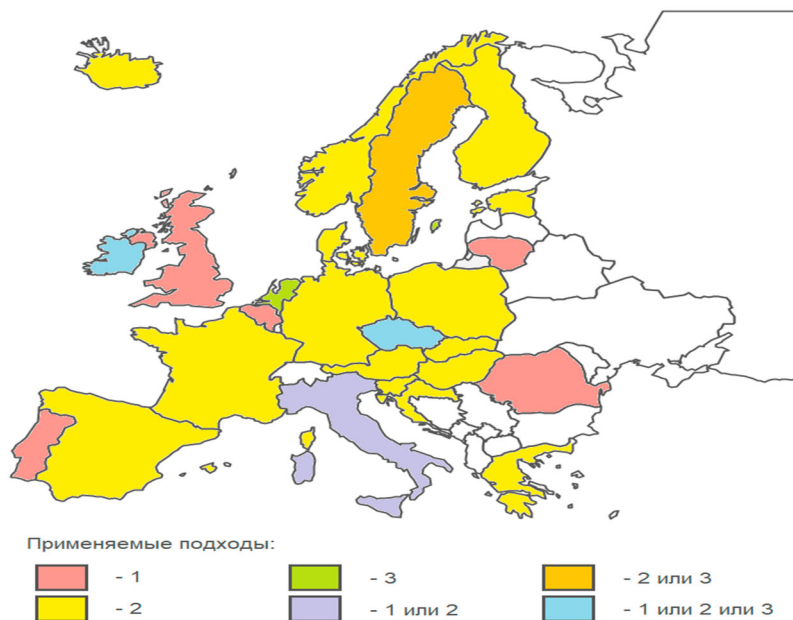


Рис. 2. Подходы к проектированию свайных фундаментов, принятые в разных странах ЕС

Таблица 2

Поправочные коэффициенты ξ для получения характеристических значений по результатам испытаний грунта

ξ для $n =$	1	2	3	4	5	7	10
ξ_1	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ_2	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

Примечание: n – число вертикальных разрезов грунта

Таблица 3

Частные коэффициенты для воздействий или результатов воздействий

<i>Воздействие</i>		<i>Группа</i>	
		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Постоянное	благоприятное	1,0	1,0
	неблагоприятное	1,35	1,0
Кратковременное	благоприятное	0	0
	неблагоприятное	1,5	1,3

Таблица 4

Частные коэффициенты для параметров грунта

<i>Параметры грунта</i>	<i>Группа</i>	
	<i>M1</i>	<i>M2</i>
Угол сопротивления сдвигу ⁵ (внутреннего трения)	1,0	1,25
Эффективная связность грунта	1,0	1,25
Предел прочности на сдвиг без дренажа	1,0	1,4
Прочность при вдавливании без возможности бокового расширения	1,0	1,4
Объемный вес	1,0	1,0

⁵Данный множитель применяется к $\text{tg}\phi$.

Частные коэффициенты сопротивления для буронабивных свай

<i>Сопротивление</i>	<i>Группа</i>			
	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>R4</i>
Основание сваи	1,25	1,1	1,0	1,6
Боковая поверхность сваи (вдавливание)	1,0	1,1	1,0	1,3
Полное /комбинированное (сжатие)	1,15	1,1	1,0	1,5
Боковая поверхности сваи (выдергивание)	1,25	1,15	1,1	1,6

Определение несущей способности свай

Для наглядности проведём расчёт буронабивной сваи (БНС) длиной 12 м и диаметром 1 м на действие постоянной и временной нагрузок 1200 кН и 300 кН соответственно. За основу геологических характеристик были использованы данные реальных инженерно-геологических изысканий, проведённых для проектирования опоры автодорожной эстакады на юго-западе Москвы, полученные на основе результатов бурения двух скважин. Из-за большого расстояния до других скважин и достаточно значительной изменчивости отметок выявленных инженерно-геологических элементов (ИГЭ), данные по другим скважинам в расчёт не были приняты.

В Еврокод 7 не приводится чёткого алгоритма расчёта, что даёт достаточно большую свободу в плане выбора расчётных методик. Несмотря на то, что различные методики не всегда позволяют получить достаточно близкие результаты, разработчиками Еврокод 7 допускается проведение расчёта в соответствии с принятыми в каждой отдельной стране традиционными методиками проектирования. При этом целесообразно привести извлечение из Еврокода 7: «Необходимо учитывать, что объем сведений о состоянии грунта зависит от качества и масштаба геотехнических исследований. Обычно эти знания, а также контроль качества выполняемых работ более значимы для выполнения

фундаментальных требований, нежели точность расчетных моделей и частных коэффициентов».

Можно предположить, что именно этой ключевой позицией в первую очередь и объясняются допущения в Еврокоде в части расчетных методик и применения национальных коэффициентов. Отсюда же исходит введение поправочного коэффициента ξ , зависящего от выполненного объема исследований грунта⁶.

В табл. 6 перечислено несколько расчетных методик для определения несущей способности сваи по результатам исследования характеристик грунтов.

Таблица 6

Методы расчета несущей способности сваи

<i>Связные виды грунтов</i>		<i>Несвязные виды грунтов</i>	
Сопrotивление основания сваи	Сопrotивление (трение) по боковой поверхности сваи	Сопrotивление основания	Сопrotивление (трение) по боковой поверхности сваи
<ul style="list-style-type: none"> • α-Tomlinson's method (Tomlinson, 1971/1995 [8]) • β method (Reese, 1982 [9]; AASHTO, 1996/2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • α-Tomlinson's method (Tomlinson, 1971/1995 [8]) • α-API method (Reese, 1984 [9]) • β method (Reese, 1982 [9]; AASHTO, 1996/2000) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vesic's method [10] (1977) • Coyle & Castello's method [11] (1981) 	<ul style="list-style-type: none"> • β method (Bowles, 1996 [12]) • Coyle & Castello's method [11] (1981)

⁶ Следует отметить, что ГОСТ 20522 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» [7] также предполагает учёт объёма выполненных изысканий при определении расчетных характеристик грунтов. Однако разница между расчетными и нормативными величинами параметров по ГОСТ не является в той же степени определяющей для окончательного результата.

Приведём основные характеристики выявленных ИГЭ для расчёта по «процедуре модельной сваи» EN7 в **табл. 7**.

Таблица 7

Характеристические значения параметров грунта

<i>ИГЭ</i>	<i>Описание грунта</i>	<i>h, м</i>	<i>γ_1, г/см³</i>	<i>γ_2, г/см³</i>	<i>ϕ_1, град.</i>	<i>ϕ_2, град.</i>	<i>c_{u1}, кПа</i>	<i>c_{u2}, кПа</i>
<i>1</i>	Суглинок мягкопластичный	2,00	-	-	-	-	30,0	28,5
<i>2</i>	Суглинок тугопластичный	3,00	-	-	-	-	50,0	55,0
<i>3</i>	Песок мелкий, средней плотности	1,00	1,94	1,97	30,50	30,60	-	-
<i>4</i>	Песок мелкий, плотный	6,00	2,02	2,03	33,90	33,90	-	-

h – толщина слоя грунта вдоль оси сваи, м;

γ_1 – удельный вес грунта по данным первой скважины, г/см³;

γ_2 – удельный вес грунта по данным второй скважины, г/см³;

ϕ_1 – угол внутреннего трения грунта по данным первой скважины, град.;

ϕ_2 – угол внутреннего трения грунта по данным второй скважины, град.;

c_{u1} – усреднённое послойное сопротивление недренированному сдвигу по данным первой скважины, кПа;

c_{u2} – усреднённое послойное сопротивление недренированному сдвигу по данным второй скважины, кПа.

Примечание: Грунт является водонасыщенным вдоль всего ствола сваи. В расчёте принято допущение о равенстве порового давления грунта гидростатическому.

Имея представление о типах грунтов, в которых располагается проектируемая свая, можно определить применяемые расчётные методы. В рамках данного расчёта были выбраны следующие методы:

- Сопротивление по боковой поверхности сваи в связных грунтах – α –Tomlinson’s method (Tomlinson, 1971/1995 [8]):

$$R_s = \pi \cdot D \cdot h \cdot \alpha \cdot c_u \quad (1)$$

где

D – диаметр рассчитываемой сваи, м;
 h – толщина слоя грунта, м;
 α – коэффициент адгезии (см. график 16-14, Foundation Analysis and Design, Bowles [12]);
 c_u – сопротивление недренированному сдвигу⁷, кПа.

- Сопротивление по боковой поверхности сваи в несвязных грунтах – β method (Bowles, 1996 [12]):

$$R_s = \pi \cdot D \cdot h \cdot K_s \cdot \tan \delta \cdot \sigma_v' , \quad (2)$$

где

D – диаметр рассчитываемой сваи, м;
 h – толщина слоя грунта, м;
 K_s – коэффициент бокового давления грунта (см. главу 16-9.3, Foundation Analysis and Design, Bowles [12]);
 δ – угол трения на боковой поверхности сваи (принят равным $0,75\phi$ для ж/б свай в несвязных грунтах, NAVFAC DM 7.2 [15] и Bowles [12]), град.;
 σ_v' – эффективное напряжение d в рассматриваемом слое грунта, кПа (равно разнице между полным напряжением и поровым давлением грунта).

- Сопротивление основания сваи в несвязных грунтах – Vesic's method [10]:

$$R_b = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \sigma_{vb}' \cdot N_q \quad (3)$$

где

D – диаметр рассчитываемой сваи, м;
 σ_{vb}' – эффективное напряжение грунта в основании сваи, кПа (равно разнице между полным напряжением и поровым давлением грунта);
 N_q – коэффициент несущей способности (см. табл. 3, Design of Pile Foundations, Vesic [10]).

⁷ В лабораторных условиях значения c_u определяют по результатам неконсолидированно-недренированных трехосных испытаний (ГОСТ 12248 [13]). В полевых условиях значение c_u может быть определено методом вращательного среза (крыльчатка) в скважинах или в массиве (ГОСТ 20276 [14]).

Процедура модельной сваи

При применении процедуры модельной сваи, для первого (DA-1) и второго (DA-2) подходов к проектированию, Еврокод предусматривает определение характеристического значения осевого сопротивления сваи R_k с помощью соответствующих средних и минимальных значений (R_{mean} , R_{min}) по формуле модельной сваи:

$$R_k = \min\{R_{mean}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4\} . \quad (4)$$

При числе исследованных профилей грунта $n = 2$, ξ_3 и ξ_4 будут равны 1,35 и 1,27 соответственно. Значения R_{mean} и R_{min} получаем путём расчёта значений осевого сопротивления сваи R_c для каждой скважины по вышеприведённым методам. Получаем R_{c1} и R_{c2} величиной 3342 кН и 3376 кН соответственно. Таким образом:

$$R_{mean} = \frac{3342 + 3376}{2} = 3359 \text{ кН} ;$$
$$R_{min} = 3342 \text{ кН}$$

Следовательно:

$$R_k = \min\{3359/1,35 ; 3342/1,27\} = \min\{2488 ; 2631\} = 2488 \text{ кН}.$$

Минимальное значение R_k достигается при усреднённых значениях характеристик грунта и коэффициенте ξ_3 в размере 1,35. Соответственно, используя средние значения характеристик и коэффициент ξ_3 , можно определить характеристические значения сопротивлений сваи по боковой поверхности и основанию:

$$R_{s,k} = \frac{1886}{1,35} = 1397 \text{ кН} ;$$
$$R_{b,k} = \frac{1473}{1,35} = 1091 \text{ кН} .$$

Далее применим к полученным показателям и заданным значениям нагрузки частные коэффициенты надёжности А, М и R (табл. 2-5 или приложение А к Еврокод 7. Часть 1. Общие правила [1]). Результаты дальнейших расчётов с применением сочетаний частных коэффициентов надёжности представлены в табличной форме (табл. 8).

Результаты расчета по «процедуре модельной сваи»

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, кН</i>	<i>$R_{c,d}$, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2209	8,8
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1712	9,8
DA-2	A1+M1+R2	2030	2262	11,4

Примечание: DA – подход к проектированию; $F_{c,d}$ – проектное значение нагрузки на сваю, кН; $R_{c,d}$ – проектное значение несущей способности сваи, кН; DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

Альтернативная процедура

При применении альтернативной процедуры для DA-1 и DA-2 вместо получения значений осевого сопротивления сваи R_k по формуле модельной сваи допускается использование выбранных расчётных методов с использованием характеристических значений параметров грунта.

Для расчёта по альтернативной процедуре были приняты характеристические значения параметров грунта, указанные в **табл. 9**.

В данной процедуре не применяются коэффициенты корреляции ξ , а также возможно применение калибровочного коэффициента модели >1 . Коэффициент модели может быть задан национальным приложением и применяется при вычислении характеристических значений сопротивления сваи, путём деления полученных результатов на значение коэффициента. Результаты представлены в **табл. 10**.

Таблица 9

Характеристические значения параметров грунта

<i>ИГЭ</i>	<i>Описание грунта</i>	<i>h, м</i>	<i>γ, г/см³</i>	<i>ϕ, град.</i>	<i>c_u, кПа</i>
1	Суглинок мягко-пластичный	2,00	-	-	28,6
2	Суглинок тугопластичный	3,00	-	-	50,3
3	Песок мелкий, средней плотности	1,00	1,94	30,50	-
4	Песок мелкий, плотный	6,00	2,02	33,90	-

h – толщина слоя грунта вдоль оси сваи, м;

γ – удельный вес грунта, г/см³;

ϕ – угол внутреннего трения грунта, град.;

c_u – усреднённое послойное сопротивление недренированному сдвигу, кПа.

Примечание: В русскоязычном издании Руководства для проектировщиков к Еврокоду 7: Геотехническое проектирование – Общие правила, термины «характеристический» и «проектный» периодически оба переводятся как «расчётный». В частности, это наблюдается в описании альтернативной процедуры, что может создать некоторую путаницу.

Таблица 10

*Результаты расчета по «альтернативной процедуре»
(без применения коэффициента модели)*

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, кН</i>	<i>$R_{c,d}$, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	3006	48,1
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	2331	49,5
DA-2	A1+M1+R2	2030	3076	51,5

Примечание: DA – подход к проектированию; $F_{c,d}$ – проектное значение нагрузки на сваю, кН; $R_{c,d}$ – проектное значение несущей способности сваи, кН; DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

В рамках данного расчёта было задано значение коэффициента модели величиной 1,4 (аналогично Британскому национальному приложению к Еврокод 7. Часть 1. Общие правила). Результаты представлены в табл. 11.

Таблица 11

*Результаты расчета по «альтернативной процедуре»
(с применением коэффициентом модели 1,4)*

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, кН</i>	<i>$R_{c,d}$, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2147	5,8
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1665	6,8
DA-2	A1+M1+R2	2030	2197	8,2

DA – подход к проектированию;

$F_{c,d}$ – проектное значение нагрузки на сваю, кН;

$R_{c,d}$ – проектное значение несущей способности сваи, кН;

DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

***Примечание:** Как видно из данного примера, применение коэффициента модели оказывает кардинальное влияние на показатели несущей способности сваи. Чрезвычайно важным является вопрос увязки применения данного коэффициента между различными странами ЕС.*

Подход к проектированию 3 (DA-3)

При применении DA-3 коэффициенты надёжности применяются не к показателям сопротивления сваи по боковой поверхности и основанию, а непосредственно к характеристическим значениям параметров грунта (табл.12).

Таблица 12

Характеристические значения параметров грунта

<i>ИГЭ</i>	<i>Описание грунта</i>	<i>h, м</i>	<i>γ, г/см³</i>	<i>ϕ, град.</i>	<i>c_u, кПа</i>
<i>1</i>	Суглинок мягко-пластичный	2,00	-	-	20,5
<i>2</i>	Суглинок туго-пластичный	3,00	-	-	35,9
<i>3</i>	Песок мелкий, средней плотности	1,00	1,94	25,23	-
<i>4</i>	Песок мелкий, плотный	6,00	2,02	28,26	-

h – толщина слоя грунта вдоль оси сваи, м;

γ – удельный вес грунта, г/см³;

ϕ – угол внутреннего трения грунта, град.;

c_u – усредненное послойное сопротивление недренированному сдвигу, т/м².

Примечание: Коэффициент M2 применяется не к самому показателю ϕ , а к значению его тангенса. Результаты представлены в табл. 13.

Таблица 13

Результаты расчета согласно подходу к проектированию 3 (DA-3)

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, кН</i>	<i>$R_{c,d}$, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-3	A1+M2+R3	2030	3007	48,1

DA – подход к проектированию;

$F_{c,d}$ – проектное значение нагрузки на сваю, кН;

$R_{c,d}$ – проектное значение несущей способности сваи, кН;

DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

При этом следует отметить значительную разницу в показателе оптимизации по сравнению с результатами других подходов. Такое

отличие в первую очередь связано с более высоким значением сопротивления вдавливанию по основанию сваи и обусловлено следующим:

1. В данном сочетании Еврокод 7, при опирании сваи в несвязные песчаные грунты, отсутствует возможность применения коэффициента надёжности к параметрам, влияющим на значение сопротивления по основанию сваи.
2. Заметная разница по сравнению с другими проектными подходами отмечается при значении коэффициентов R_3 , равном 1, возникает. При расчёте БНС данная разница заметна в большей степени, так как средние значения коэффициентов R для БНС выше в сравнении с аналогичными коэффициентами для забивных свай;
3. Неприменимости коэффициента модели к DA3.

Важно отметить, что при расчёте свай, опирающихся в связные глинистые грунты, подобная разница между результатами проектных подходов отсутствует. Тем не менее, с целью выполнения верификации результатов, полученных по каждому из подходов, был выполнен дополнительный расчёт с использованием программного комплекса GEO5, рассмотренный ниже.

Расчёт в программном комплексе GEO5

При опирании сваи в несвязные грунты и выборе Еврокода в качестве регулирующего норматива, при помощи GEO5 выполнен расчёт по методике, изложенной в NAVFAC DM 7.2 (Naval Facilities Engineering Command, Foundations & Earth Structures Design Manual, 1986 [15]). В GEO5 недоступно применение процедуры модельной сваи, а для каждого из подходов к проектированию выполняется отдельный расчёт. В итоге получены результаты, представленные в табл. 14.

Таблица 14

Расчёт в программном комплексе GEO5

<i>Без применения коэффициента модели</i>				
<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, кН</i>	<i>$R_{c,d}$, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2933	48,1

<i>Без применения коэффициента модели</i>				
<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>F_{c,d}, кН</i>	<i>R_{c,d}, кН</i>	<i>DO, %</i>
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	2274	45,9
DA-2	A1+M1+R2	2030	3018	48,6
DA-3	A1+M2+R3	2030	3011	48,3
<i>С применением коэффициента модели 1,4</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2095	3,2
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1625	4,2
DA-2	A1+M1+R2	2030	2155	6,2
DA-3	A1+M2+R3	2030	3011	48,3

DA – подход к проектированию;

F_{c,d} – проектное значение нагрузки на сваю, кН;

R_{c,d} – проектное значение несущей способности сваи, кН;

DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

Примечание 1: в GEO5 отсутствует возможность программного введения коэффициента модели. Коэффициент применён к результатам расчёта вручную.

Примечание 2: в GEO5 применяется параметр критической глубины сваи (основан на теории о том, что после определённой глубины сопротивление по боковой поверхности сваи перестает нарастать). Значение критической глубины необходимо ввести вручную.

Вывод: результаты, полученные при помощи GEO5, подтверждают значения ранее выполненных вручную расчётов.

Расчёт по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»

Для сравнения в табл. 15 приведены результаты расчёта рассматриваемой сваи по методике для свай трения из п 7.2 СП «Свайные фундаменты» [3], коэффициенты надёжности к заданным нагрузкам приняты

из СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [16]. Показатель текучести для ИГЭ 1 и 2 – 0,6 и 0,36 соответственно.

Таблица 15

Расчёт по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»

<i>$F_{c,d}$, т</i>	<i>$R_{c,d}$, т</i>	<i>DO, %</i>
1648	2065	25,3

Примечание: $F_{c,d}$ – проектное значение нагрузки на сваю, т; $R_{c,d}$ – проектное значение несущей способности сваи, т; DO – показатель оптимизации (отображает процент запаса несущей способности), %.

Таблица 16

Сводные результаты проведенных расчетов

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>$F_{c,d}$, т</i>	<i>$R_{c,d}$, т</i>	<i>DO, %</i>
<i>Процедура модельной сваи</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2209	8,8
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1712	9,8
DA-2	A1+M1+R2	2030	2262	11,4
<i>Альтернативная процедура (без применения коэффициента модели)</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	3006	48,1
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	2331	49,5
DA-2	A1+M1+R2	2030	3076	51,5
<i>Альтернативная процедура (с применением коэффициента модели 1,4)</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2147	5,8
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1665	6,8

<i>Подход</i>	<i>Сочетание</i>	<i>F_{c,d}, т</i>	<i>R_{c,d}, т</i>	<i>DO, %</i>
DA-2	A1+M1+R2	2030	2197	8,2
<i>Подход к проектированию 3 (DA-3)</i>				
DA-3	A1+M2+R3	2030	3007	48,1
<i>Расчёт в GEO5 (без применения коэффициента модели)</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2933	48,1
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	2274	45,9
DA-2	A1+M1+R2	2030	3018	48,6
DA-3	A1+M2+R3	2030	3011	48,3
<i>Расчёт в GEO5 (с применением коэффициента модели 1,4)</i>				
DA-1 Сочетание 1	A1+M1+R1	2030	2095	3,2
DA-1 Сочетание 2	A2+M1+R4	1559	1625	4,2
DA-2	A1+M1+R2	2030	2155	6,2
DA-3	A1+M2+R3	2030	3011	48,3
<i>Расчёт по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»</i>				
F _{c,d} , т		R _{c,d} , т		DO, %
1648		2065		25,3

Различные подходы к проектированию, предлагаемые Еврокодом 7, имеют достаточно приемлемую сходимость между собой. Исключением в определённых условиях может быть третий подход к проектированию (DA3), что было отмечено выше. Сопоставление проектных подходов при применении коэффициента модели также показывает близкие результаты, а уменьшение коэффициентов ζ при увеличенном объёме изысканий не окажет принципиального влияния на итоговые результаты (согласно выполненной проверке, разница по DO при максимальных и минимальных значениях ζ находится в пределах 15 процентных пунктов).

Согласно полученным результатам (табл. 16), подходы к проектированию от первого к третьему идут в порядке убывания консервативности, т.е. DA-1 обеспечивает наименьший запас несущей способности. Важно подчеркнуть, что полученные результаты справедливы только для заданных свай и параметров грунтов. Так, например, при проектировании в полностью связных грунтах, результаты подобного сравнения нередко оказываются диаметрально противоположными.

Что же касается результатов расчёта по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [3], полученные абсолютные значения несущей способности свай в большей степени соответствуют результатам DA-1. Сравнение по показателю оптимизации DO даёт менее однозначные результаты, из-за привязки к коэффициентам надёжности по нагрузке, что может существенно отличаться в различных отраслевых СП. Так, если при применении стандартных коэффициентов из СП «Нагрузки и воздействия» [16] показатель DO в данном случае занимает промежуточное положение между DA-3 и другими подходами, то при сборе нагрузок и применении коэффициентов надёжности по СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» [17] прослеживается определённая корреляция с показателем оптимизации по DA-2.

Кроме того, следует отметить, что по имеющимся публикациям и работам, касающихся анализа Еврокода 7, а также сравнения его с отечественными подходами, некоторыми специалистами были сделаны излишне категорические и прямолинейные выводы как о степени консервативности различных расчётных подходов, согласно Еврокоду, так и о степени сходимости их результатов с расчётными методами, изложенными в СП.

Еврокод 7 не является идеальной нормативной системой, обладая как преимуществами, так и недостатками. При этом не следует забывать, что работа в этом направлении активно продолжается, и появление второго поколения европейских EN уже сейчас может позволить решить многие имеющиеся проблемы.

Несомненно, из-за значительной разницы в подходах к вопросам геотехнического проектирования между различными странами сама задача унификации геотехнических норм свелась скорее к созданию некоего общего глоссария. Однако обеспеченные комплексной проработкой системы возможности будущей унификации и интерес, проявленный к Еврокодам большим количеством стран, даже не входящих в состав ЕС, свидетельствуют о значительных перспективах развития данной системы.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЕВРОКОДА, ПЕРСПЕКТИВЫ ГАРМОНИЗАЦИИ

Основные недостатки	Основные преимущества
– Отсутствие чётко прописанных расчётных методик может приводить к значимым расхождениям в оценке одного и того же сооружения разными специалистами.	– Отсутствие чётко прописанных расчётных методик позволяет проектировщикам применять более творческие подходы и искать нестандартные решения.
– Практика показала, что несмотря на общую сходимость, в отдельных случаях результаты расчётов по различным проектным подходам могут существенно отличаться.	– Еврокод представляет собой логичную и взаимоувязанную систему нормативных требований, что обеспечивает их понимание техническими специалистами из разных стран.
– Еврокодом 7 не охватываются многие важные разделы, такие как правила проектирования тоннелей, фундаментов в специфических грунтах и т.д.	– Еврокод является более универсальным в части применения многих коэффициентов и проектных подходов.

Что касается возможной гармонизации между EN и СП, то это длительный и сложный процесс.

Для продвижения в этом направлении имеет важное значение не только унификация отдельных расчётных положений, но и унификация комплекса увязанных с рассматриваемым стандартом нормативных документов. Необходимым является внедрение соответствующих методов исследований и испытаний грунтов, так как в сложившейся российской изыскательной практике не входит определение ряда параметров, проектирование без которых по EN невозможно (сопротивление недренированному сдвигу, поровое давление грунта и т.д.).

ВЫВОДЫ

1. В целом расчёты по различным проектным подходам Еврокод 7 показывают высокую сходимость. Тем не менее, при определённых условиях, по некоторым из подходов могут возникать

значительные отклонения. Выводы, приведенные выше, справедливы только для рассмотренного расчётного примера.

2. Согласно Еврокод 7, объем сведений о состоянии грунта зависит от качества и масштаба геотехнических исследований. Обычно эти данные, а также контроль качества выполняемых работ более значимы для выполнения фундаментальных требований, чем точность расчетных моделей и частных коэффициентов.
3. Фактически как таковой методики расчёта свай по Еврокод 7 не существует. Еврокод предлагает на выбор несколько различных подходов со своими особенностями и коэффициентами надёжности, но никак не регламентирует саму методику расчёта, что потенциально приводит к большим расхождениям при оценке одного и того же сооружения.
4. Можно было бы отметить излишнюю детализацию и строгость установленных СП методик, как недостаток, однако, не так все однозначно в том, что касается контроля достоверности и возможностей для статистического анализа больших массивов данных.
5. Уровень имеющихся знаний и понимания реальной механики работы грунтов (особенно неоднородных наслоений) недостаточно высокий. При попытке компенсировать отсутствие глубокого понимания теории эмпирическим опытом, получают большое количество различных методик и такой же разброс коэффициентов надёжности, не всегда обеспечивающих сходимость полученных результатов.
6. Исходя из анализа сводного массива результатов расчётов следует отметить, что в рамках конкретного примера свайный фундамент, запроектированный по Еврокоду, не является более экономичным по сравнению с рассчитанным по СП, и обладает большими запасами в несущей способности свай.
7. Несмотря на схожесть общей теоретической базы, между российскими нормативными документами и Еврокод 7 имеются существенные отличия, начиная с этапа проведения инженерных изысканий и заканчивая применяемыми коэффициентами надёжности. Общий накопительный эффект от данных различий, вместе с большой разобщённостью российских нормативов, препятствует достоверному сравнению итоговых расчётных значений. Для обоснования сходимости результатов необходимо проведение анализа крупного массива данных, с делением по различным видам свай и различным геологическим условиям.

8. Еврокод 7 не является законченным документом и обладает большим потенциалом развития при условии поэтапной унификации подходов к геотехническому проектированию внутри ЕС. В настоящее время Еврокод обеспечивает взаимопонимание технических специалистов из разных стран ЕС, при сохранении традиций проектирования каждой страны.
9. В значительном ускорении процесса гармонизации или замещения российских нормативов европейскими нормами EN в ближайшей перспективе нет необходимости. Еврокод 7 не охватывает собой многие важнейшие для России вопросы. Сама же гармонизация потребует значительного объёма работ по унификации массива взаимоувязанных нормативных документов и ликвидации отраслевой разобщённости норм.
10. При проектировании по западным методикам российские инженеры нередко сталкиваются с проблемами интерпретации принятой за рубежом терминологии и физико-механических характеристик грунта. В то же время в России всё более активно начинают применяться геотехнические расчётные комплексы, ориентированные на зарубежные нормы (Plaxis, Midas GTS NX и т.д.). Возникающие при этом сложности и проблемы моделирования сооружений могут приводить к получению ошибочных результатов расчётов, что делает вопрос внесения ясности в данной области всё более актуальным для российского инженерного сообщества.

ЛИТЕРАТУРА

1. CEN (2004) Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules, EN 1997-1:2004 (E), (F) and (G), November 2004, European Committee for Standardization: Brussels.
2. CEN (2005a) Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. Final draft, 3rd editing stage 49, doc. Nr CEN/TC 250/SC 7/N 400, European Committee for Standardization: Brussels.
3. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с изменениями № 1, № 2, № 3). – М.: Минрегион России, 2011. – 112 с.
4. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 38 с.
5. ГОСТ Р ИСО 14688-2-2017. Геотехнические исследования и испытания. Идентификация и классификация грунтов - Часть 2. Принципы классификации. (ISO 14688-2:2017 Geotechnical investigation and

- testing Identification and classification of soil - Part 2: Principles for a classification). – М.: Стандартинформ, 2017. – 14 с.
6. ASTM D 2487-2017. Стандартные методы классификации грунтов в инженерных целях. (ASTM D 2487-2017 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes).
 7. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М.: Стандартинформ, 2019. – 16 с.
 8. Tomlinson M. J. Some Effects of Pile Driving on Skin Friction. // *Proceedings of Conference on Behavior of Piles*, ICE, London, 1971. – PP. 107 – 114.
 9. Reese L.C. *Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods*. Report No. FHWA-IF-99-025. /L.C. Reese, M.W. O’neill. the USA: Federal Highway Administration, 1999. – 791 pp.
 10. Vesic A S. *Design of Pile Foundations*. // *NCHRP Synthesis of Practice Transportation Research Board*, Washington, D.C. – 1977. – No. 42. – PP. 12-16.
 11. Coyle N.M. *New Design Correlations for Piles in Sand*./N.M. Coyle, R.R. Castello // *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107(GT7). – 1981. – PP. 965 – 986.
 12. Bowles J.E. *Foundation Analysis and Design*. – Peoria: McGraw-Hill, 1996. – 1201 P.
 13. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2011. – 77 с.
 14. ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2013. – 46 с.
 15. *Department of the Navy Facilities Engineering Command. NAVFAC, DM-7.2 “Foundations and Earth Structures” Design Manual*, Alexandria, 1986.
 16. СП 20.13330.2016 *Нагрузки и воздействия Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минрегион России, 2017. – 95 с.
 17. СП 35.13330.2011 *Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с изменениями № 1, № 2, № 3)*. – М.: Минрегион России, 2011. – 347 с.

L I T E R A T U R A

1. CEN (2004) *Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules, EN 1997-1:2004 (E), (F) and (G)*, November 2004, European Committee for Standardization: Brussels.

2. CEN (2005a) Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. Final draft, 3rd editing stage 49, doc. Nr CEN/TC 250/SC 7/N 400, European Committee for Standardization: Brussels.
3. SP 24.13330.2011 Svajnye fundamenty. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.02.03-85 (s izmeneniyami № 1, № 2, № 3). – M.: Minregion Rossii, 2011. – 112 s.
4. GOST 25100-2020. Grunty. Klassifikaciya – M.: Standartinform, 2020. – 38 s.
5. GOST R ISO 14688-2-2017. Geotekhnicheskie issledovaniya i ispytaniya. Identifikaciya i klassifikaciya gruntov - Chast' 2. Principy klassifikacii. (ISO 14688-2:2017 Geotechnical investigation and testing Identification and classification of soil - Part 2: Principles for a classification). – M.: Standartinform, 2017. – 14 s.
6. ASTM D 2487-2017. Standartnye metody klassifikacii gruntov v inzhenernyh celyah. (ASTM D 2487-2017 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes).
7. GOST 20522-2012. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispytaniy. – M.: Standartinform, 2019. – 16 s.
8. Tomlinson M. J. Some Effects of Pile Driving on Skin Friction. // Proceedings of Conference on Behavior of Piles, ICE, London, 1971. – PP. 107 – 114.
9. Reese L.C. Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. Report No. FHWA-IF-99-025. / L.C. Reese, M.W. O'neill. the USA: Federal Highway Administration, 1999. –791 P.
10. Vesic A S. Design of Pile Foundations. // NCHRP Synthesis of Practice Transportation Research Board, Washington, D.C. – 1977. – No. 42. – PP. 12-16.
11. Coyle N.M. New Design Correlations for Piles in Sand./ N.M. Coyle, R.R. Castello // Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT7). – 1981. – PP. 965 – 986.
12. Bowles J.E. Foundation Analysis and Design. – Peoria: McGraw-Hill, 1996. – 1201 P.
13. GOST 12248-2010. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruемости. – M.: Standartinform, 2011. – 77 s.
14. GOST 20276-2012. Grunty. Metody polevogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruемости. – M.: Standartinform, 2013. – 46 s.
15. Department of the Navy Facilities Engineering Command. NAVFAC, DM-7.2 “Foundations and Earth Structures” Design Manual, Alexandria, 1986.
16. SP 20.13330.2016 Nagruzki i vozdejstviya Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.01.07-85. – M.: Minregion Rossii, 2017. – 95 s.
17. SP 35.13330.2011 Mosty i trubyy. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.05.03-84* (s izmeneniyami № 1, № 2, № 3). – M.: Minregion Rossii, 2011. – 347 s.

.....
**ANALYTICAL REVIEW OF CALCULATION METHODS FOR
DETERMINING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF PILES
ACCORDING TO THE EUROCODE 7 AND COMPARISON WITH
THE STANDARDS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*Head of the Department **A.G. Yerzinkyan**
(Project Risk Management Group
JSC «RASU»; GC «Rosatom»),
Researcher **N.M. Rozanova**,
Vice Technical Director **N.Y. Novak**
(LLC «Masterskaya Mostov»)
Contact information: ench44@yandex.ru;
nmrozanova@bk.ru;
novaknyu@bk.ru*

When developing the concepts of updating the domestic construction rules of the 2000s, one of the directions of the movement was the convergence with the norms of the European Union. And although the interest in harmonization with the Eurocode has faded in recent years, there are still disputes in the scientific community about the possibility of introducing the best European practices into the system of Russian regulatory documentation. Like Russian, European design methods are based on the provisions of the theory of limit states, which was developed during the construction boom after the end of the Second World War. Despite the presence of a common basis, the methods of calculations and approaches to the design of construction structures that exist today have serious differences. This can be traced not only in the difference between Russian and European regulatory documentation, but also in the approaches adopted in various EU countries.

As part of the work under the state contract for the development of GOST R «Automobile roads of general use. Bridge constructions. Rules for the design of bearings and foundations», work has been carried out on the collection and analysis of domestic and foreign regulatory documents, as well as current methodological documents related to the design and calculation of foundations. The design analysis of approaches to the collection of loads, coefficient systems and applied methods for assessing the load-bearing capacity was carried out, similarities and differences between the theoretical bases of the Russian Federation and the EU were revealed.

The purpose of this article is to compare the results obtained during the calculations, according to the three given in the seventh volume Eurocode (EN 7) approaches to design and calculations according to JV 24.13330.2011.

The above-described peculiarities are considered by the example of calculating the load-bearing capacity of a bored pile in sandy-clayey soils. The comments to the above calculations are also given, and the conclusions based on the results of the analysis on the prospects of harmonization and the development of domestic design practice are presented.

Key words: *Eurocode, regulatory documentation, load-bearing capacity, pile foundations, design approaches, calculation methods.*

Рецензент: канд. техн. наук Б.П. Кутько (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 09.07.2021 г.