

Анализ различий в проектировании опор и фундаментов мостовых сооружений по Еврокоду EN 1997 «Геотехническое проектирование» и нормам Российской Федерации



Зам. глав. инженера
ЗАО «Институт Стройпроект»
Петухов В.Ю.

EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design.

Part 1: General rules

Part 2 : Ground investigation and testing

СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы»

СП 35.13330.2011

СНиП 2.02.01 - 83* "Основания зданий и сооружений".

СП 22.13330.2011

СНиП 2.02.03 - 85 "Свайные фундаменты".

СП 24.13330.2011 и др.

ГОСТ 25100-2012 «Грунты. Классификация».

ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» и др.

Европейские Нормы для геотехнического проектирования и их аналоги в Российских нормах

2.8 Geotechnical Design Report

(1)P The assumptions, data, methods of calculation and results of the verification of safety and serviceability shall be recorded in the Geotechnical Design Report.

(3) The Geotechnical Design Report should normally include the following items,

- geotechnical design calculations and drawings;
- foundation design recommendations;
- a note of items to be checked during construction or requiring maintenance or monitoring.

2.8 Отчет о геотехническом проекте

(1)P Допущения, данные, методы расчета и результаты верификации надежности и функциональности должны быть отражены в отчете о геотехническом проекте.

(3) Отчет о геотехническом проекте должен, как правило, включать следующие пункты

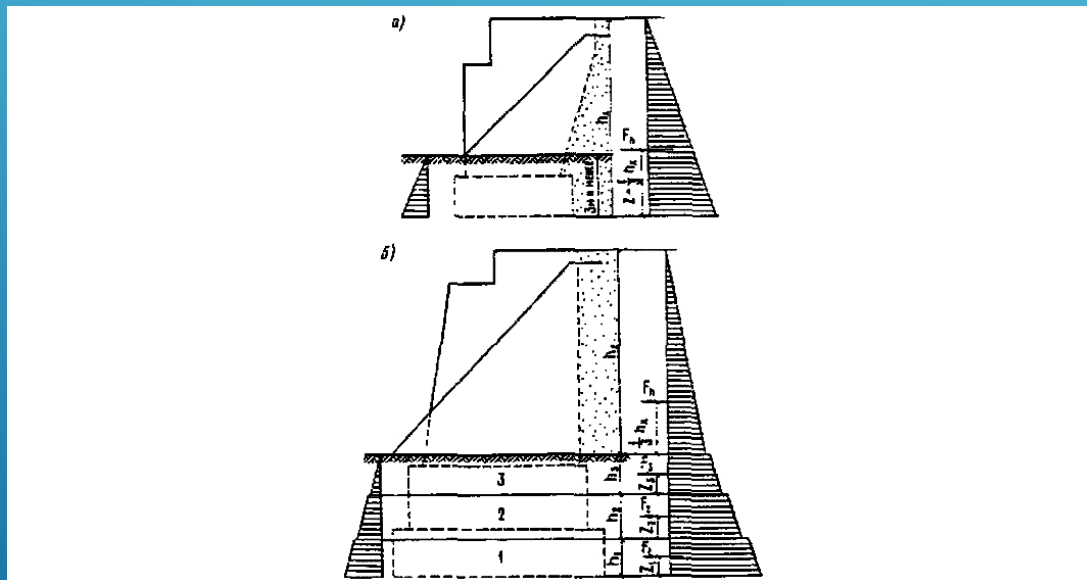
- проектные геотехнические расчеты и чертежи;
- рекомендации по проекту фундаментов;
- перечень позиций, требующих проверки в период строительства или выполнения технического обслуживания или мониторинга.

Требования к геотехническому проекту

НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ
к ГОСТ Р EN 1991-2-2011
Еврокод 1: Воздействия на сооружения –
Часть 2: Транспортные нагрузки на мосты
National Annex
to GOST R EN 1991-2-2011
Eurocode 1: ACTIONS ON STRUCTURES –
Part 2: Traffic loads on bridges

Пункт EN 1991-2	Наименование раздела, пункта и (или) таблицы, содержание статьи	Пункт Национального приложения
1.1(3)	Дополнительные правила для подпорных стен, подземных конструкций и тоннелей	НП 1.1(3)
4.1(1) примечание 2	Временные нагрузки от автомобильного транспорта при длине загрузки более 200м	НП 4.1(1) примечание 2
4.2.1(1), примечание 2	Определение дополнительных моделей нагрузок	НП 4.2.1(1), примечание 2
4.9.1(1) примечание 1	Определение моделей нагрузок на устои	НП 4.9.1(1) примечание 1

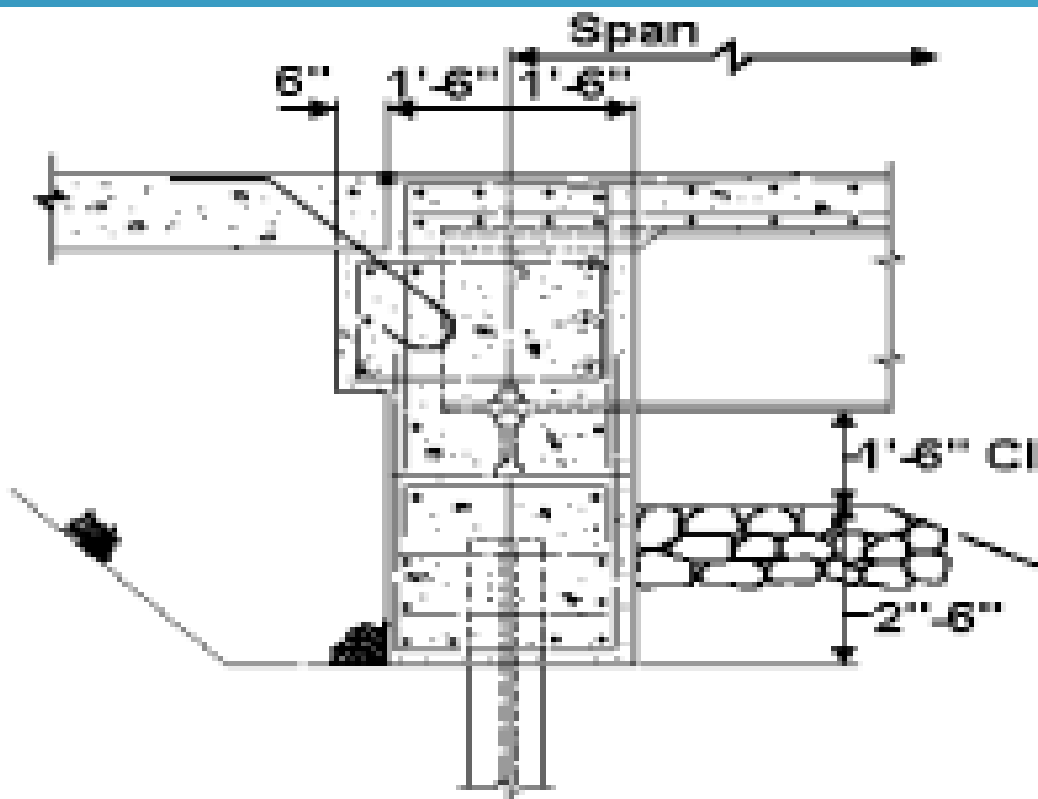
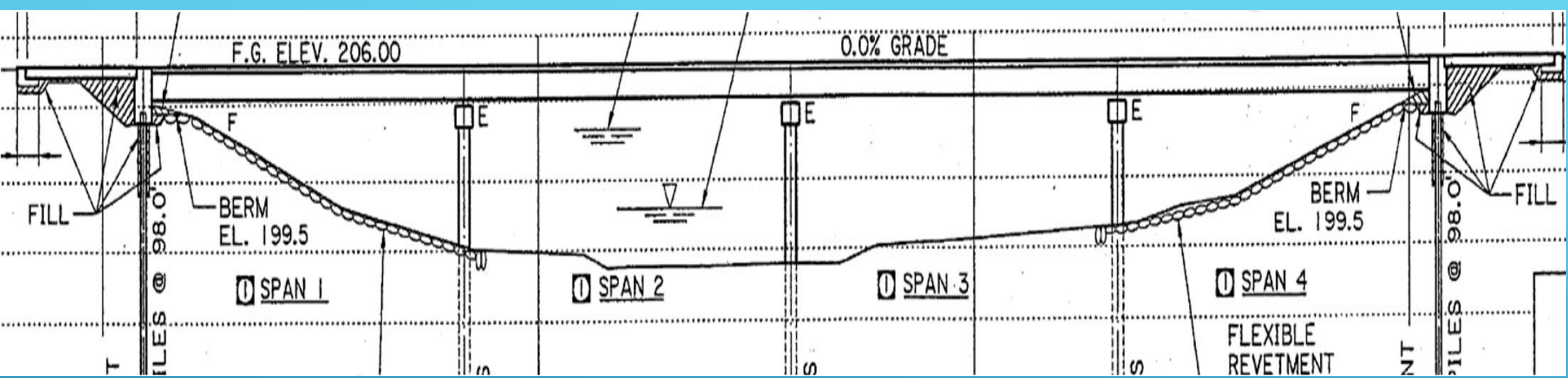
▶ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ
НОРМАТИВНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО (БОКОВОГО)
ДАВЛЕНИЯ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА ГРУНТА НА
ОПОРЫ МОСТОВ

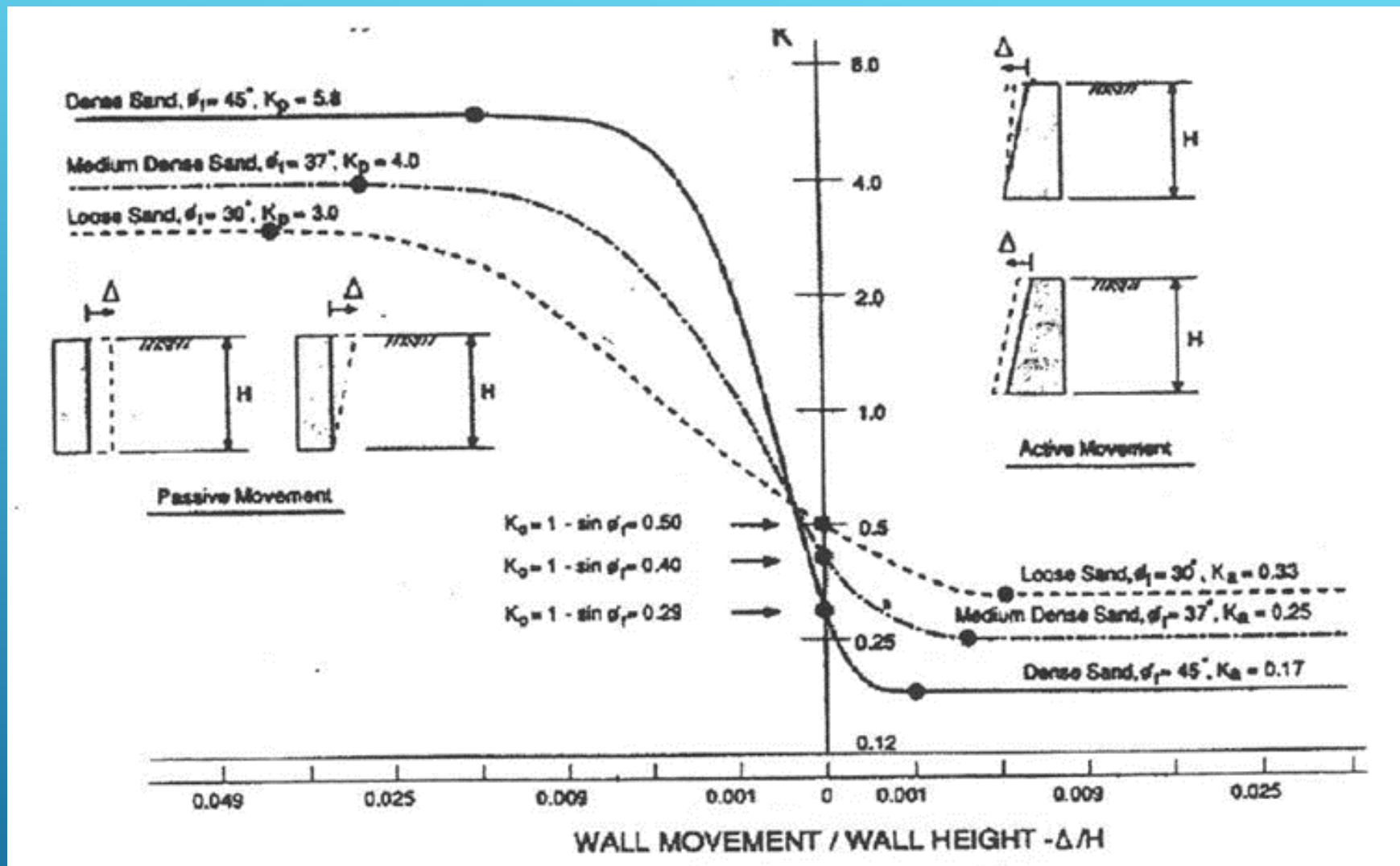


$$F_i = \frac{1}{2} \gamma_i h_i \tau_i (h_i + 2h_{0i}) b_i$$

$$\tau_i = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right);$$

$$\lambda_{ph} = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$





КОЭФФИЦИЕНТЫ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМАЛИЗОВАННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ

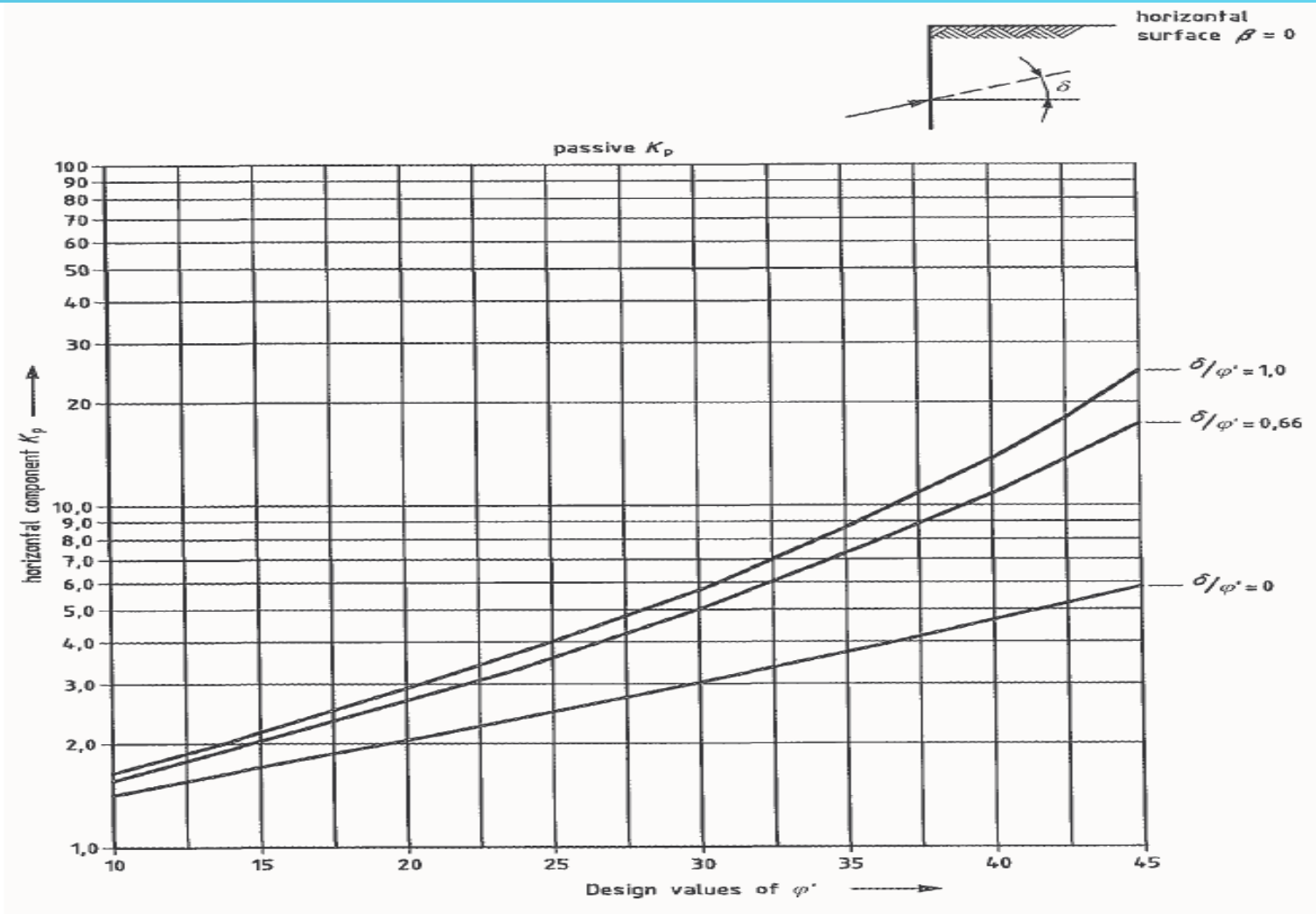


Figure C.2.1 — Coefficients K_p of passive earth pressure: with horizontal retained surface ($\beta = 0$)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА

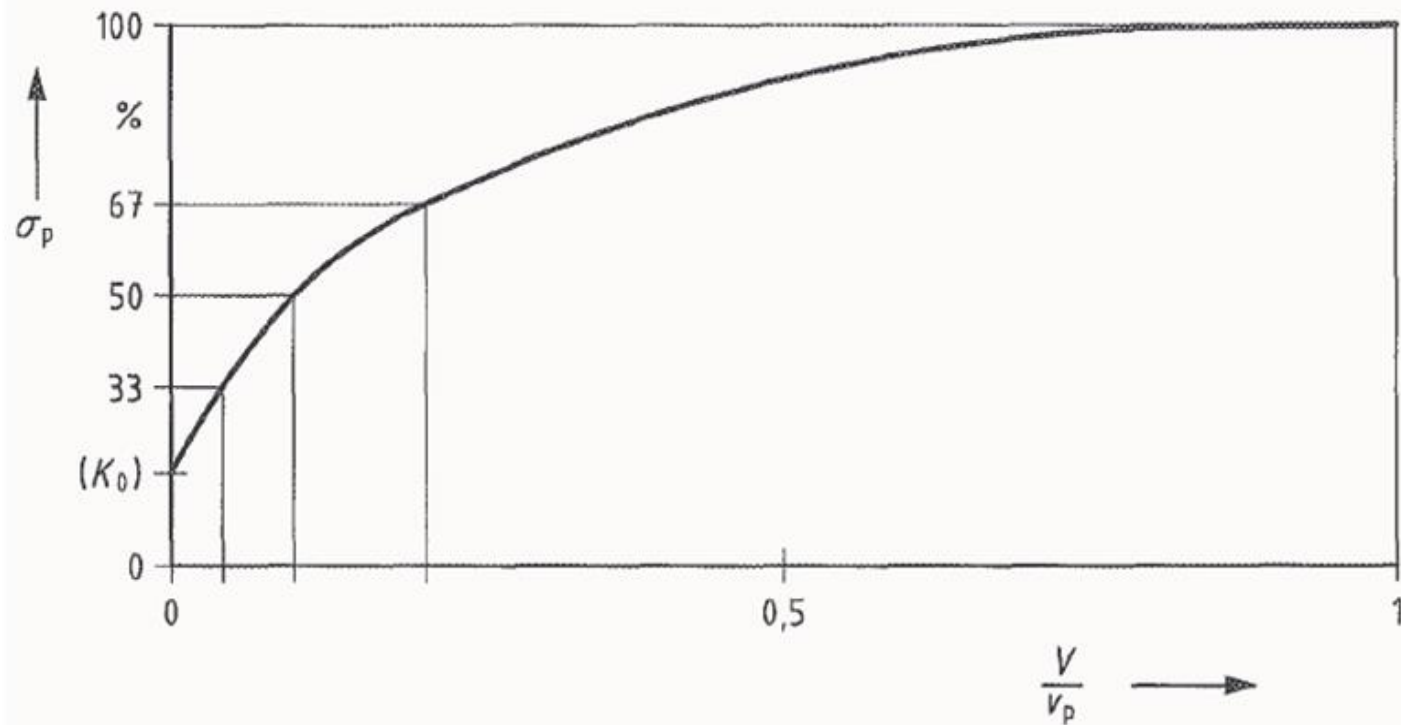
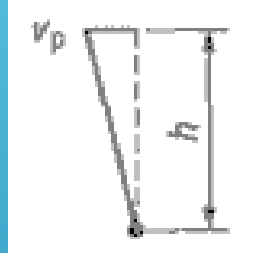
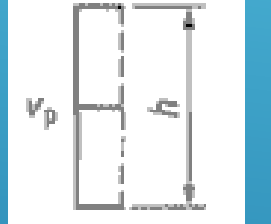
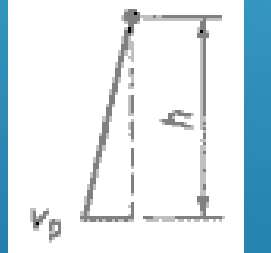


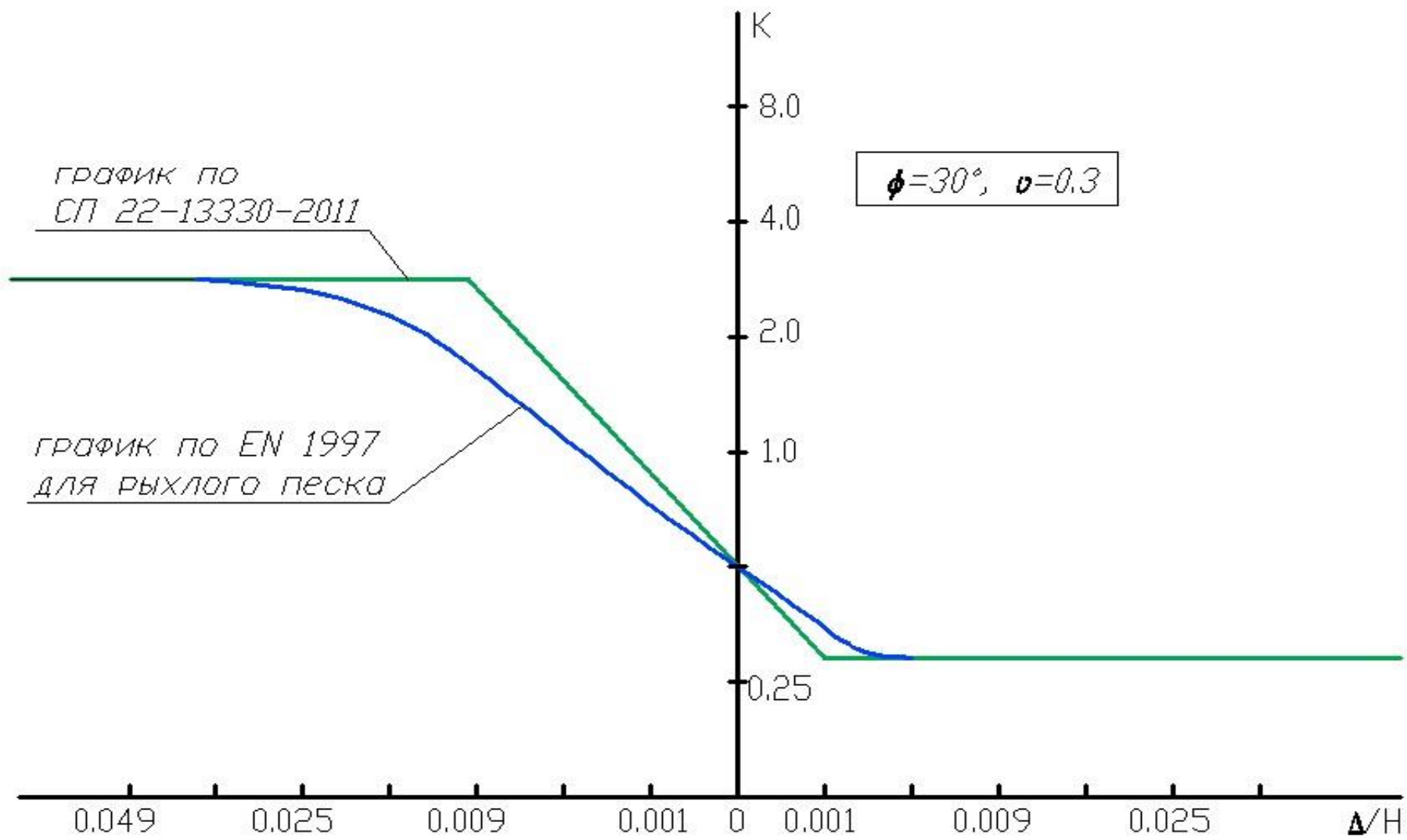
Figure C.3 — Mobilisation of passive earth pressure of non-cohesive soil versus normalised wall displacement v/v_p
 (v_p : displacement for the full mobilisation of passive earth pressure)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ
 ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
 ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

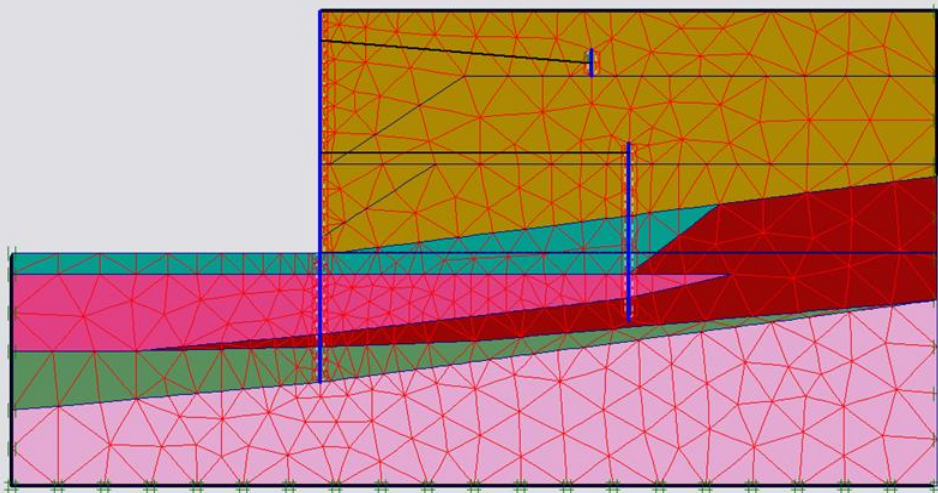
Таблица С.2 — Соотношения v_p/h

Вид перемещения стены	v_p/h для рыхлого грунта, %	v_p/h для плотного грунта, %
а) 	От 7 (1,5) до 25 (4,0)	От 5 (1,1) до 10 (2,0)
б) 	От 5 (0,9) до 10 (1,5)	От 3 (0,5) до 6 (1,0)
в) 	От 6 (1,0) до 15 (1,5)	От 5 (0,5) до 6 (1,3)
где v_p — перемещение стены для мобилизации пассивного давления грунта; h — высота стены.		

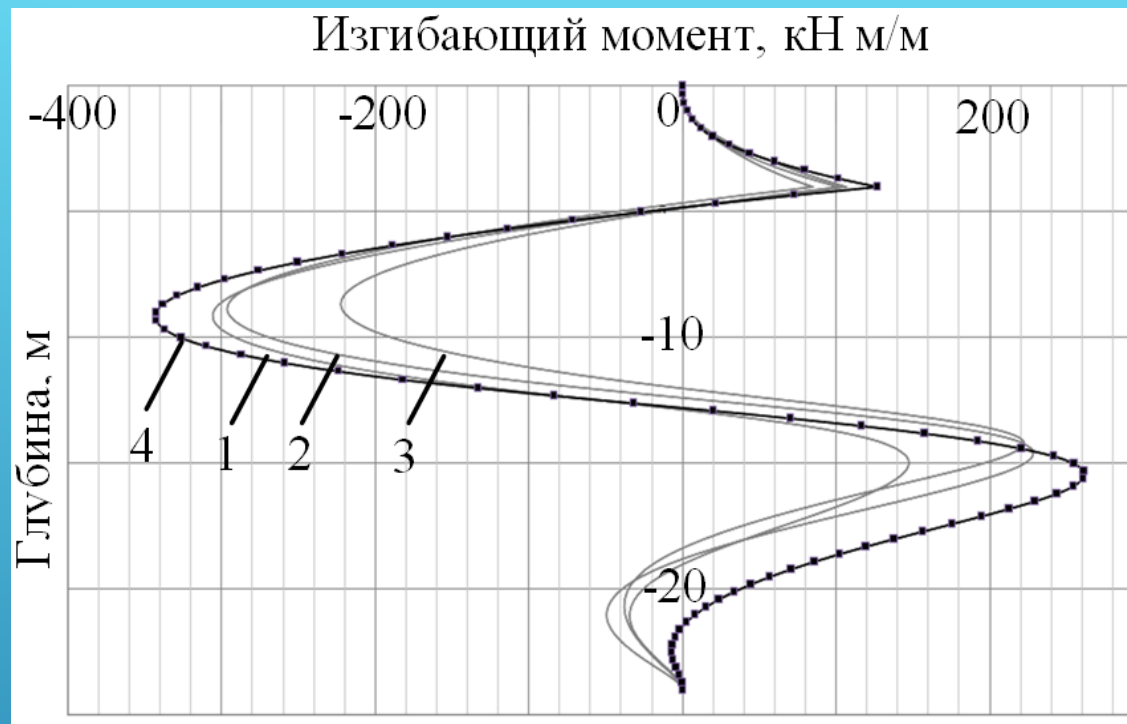
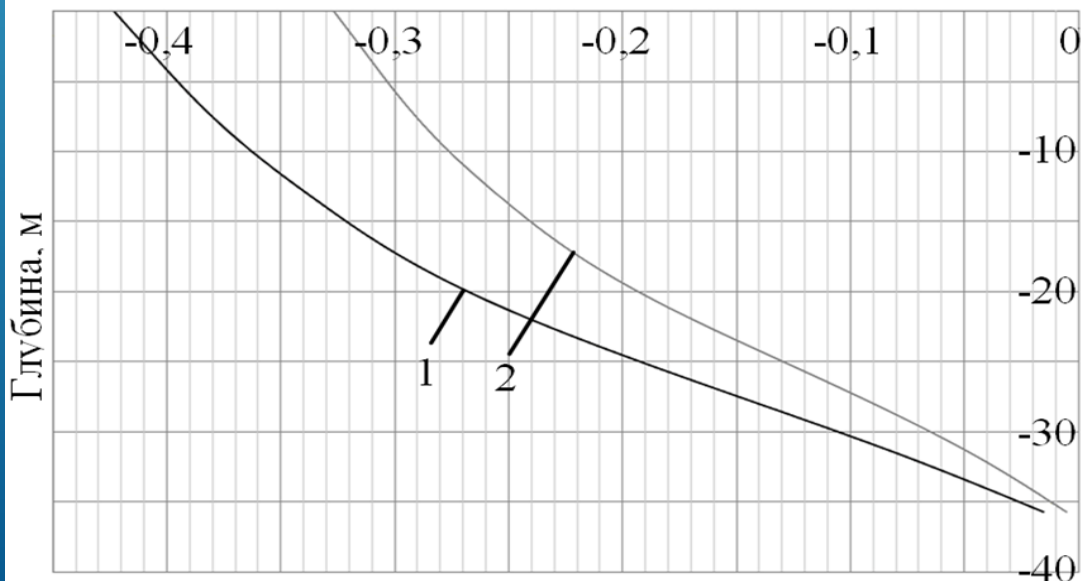
ВЕЛИЧИНА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СТЕНКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ



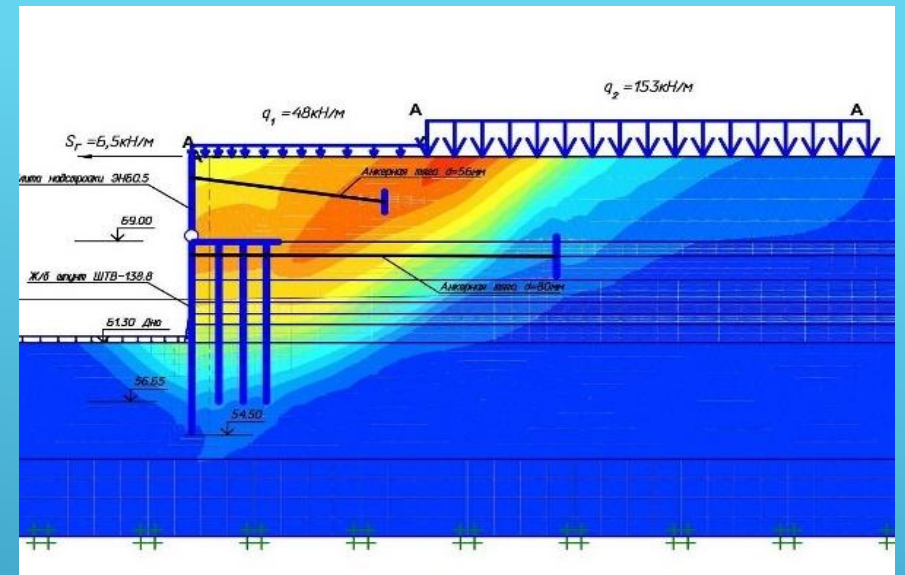
КОЭФФИЦИЕНТЫ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА ПО EN 1997
И СП 22.13330.2011



Горизонтальные перемещения, м



БЕЗУСЛОВНОЕ ПРЕДПОЧТЕНИЕ
 МАКСИМАЛЬНО КАЧЕСТВЕННОМУ
 ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК
 ГРУНТА, ПРИЧЕМ ДЛЯ
 ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
 НУЖНЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
 ИЗЫСКАНИЯ.



EN 1997-1

2.4 Geotechnical design by calculation

(2) It should be considered that knowledge of the ground conditions depends on the extent and quality of the geotechnical investigations. Such knowledge and the control of workmanship are usually more significant to fulfilling the fundamental requirements than is precision in the calculation models and partial factors.

EN 1997-1

Пункт 2.4. Геотехническое проектирование на основе расчетов

(2) Следует учитывать, что знания грунтовых условий зависят от объема и качества геотехнических изысканий. Такие знания и контроль производства работ обычно более важны для выполнения фундаментальных требований, чем точность расчетных моделей и частных коэффициентов.



Строительство по базовому проекту



Мониторинг при строительстве



Внесение изменений в проект



Более экономичное и безопасное сооружение

ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА НАБЛЮДЕНИЯ

Eurocode 7

Ultimate Limit States (ULS)

- **EQU** : loss of equilibrium
- **STR** : failure of the structure
- **GEO** : failure of the ground
- **UPL** : failure by uplift
- **HYD** : hydraulic heave

Serviceability Limit States (SLS)

- **Excessive deflection**
- **Vibration**
- **Local deformation**

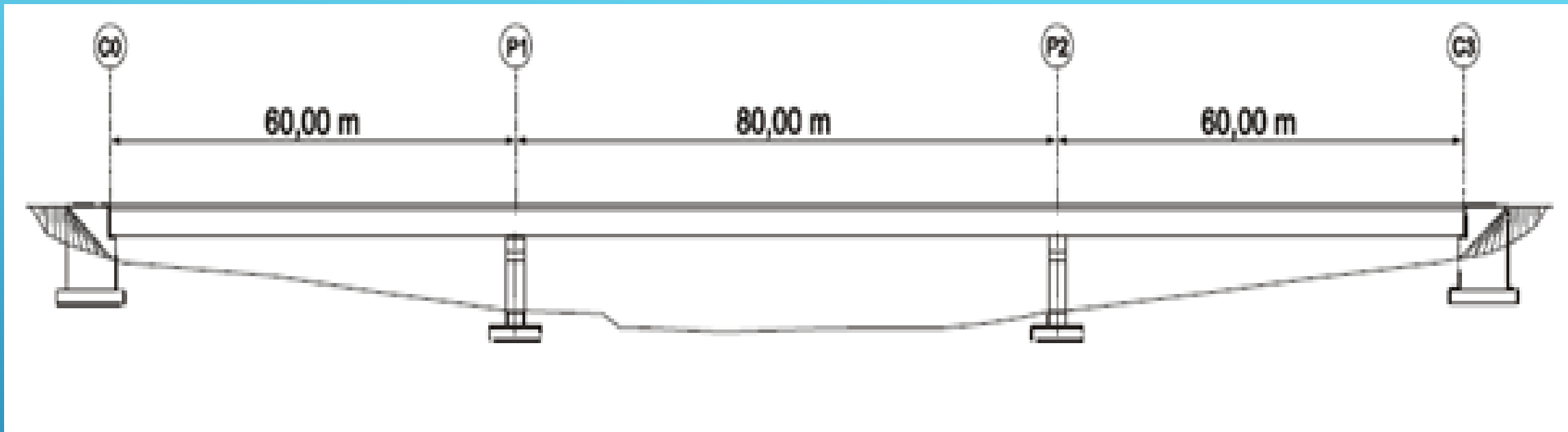
Первая предельное состояние - потеря несущей способности или непригодность к эксплуатации

- общую потерю устойчивости формы;
- потерю устойчивости положения;
- разрушения (вязкое, хрупкое, усталостное и др.);
- разрушения из-за совместных воздействий силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды; качественное изменение конфигурации;
- резонансные колебания, которые приводят к нарушению эксплуатации;

Второе предельное состояние - непригодность к нормальной эксплуатации

- недопустимые перемещения (прогибы, осадки, углы поворота), колебания, трещины и т. п.

РАСЧЕТ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ.



Пример композитного сталежелезобетонного моста с двумя главными балками

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ НА
ЕСТЕСТВЕННОМ ОСНОВАНИИ.

Характеристики грунтов оснований и засыпки за устоем моста

моста

Normally fractured calcareous marl (at 2,5 m depth and 3 m depth):

- $c'_{kg} = 0$
- $\varphi'_{kg} = 30^\circ$
- $\gamma_{kg} = 20 \text{ kN/m}^3$

From ground level to base of foundation: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Water level is assumed to be one metre below the foundation level in both cases

Fill material : $c'_{kf} = 0$; $\varphi'_{kf} = 30^\circ$; $\gamma_{kf} = 20 \text{ kN/m}^3$

Трещиноватый известковый мергель, принят к расчету как дресвяный грунт из обломков продукта выветривания (на глубинах 2,5 и 3 м)

- $c'_{kg} = 0$
- $\varphi'_{kg} = 30^\circ$
- $\gamma_{kg} = 20 \text{ kN/m}^3$

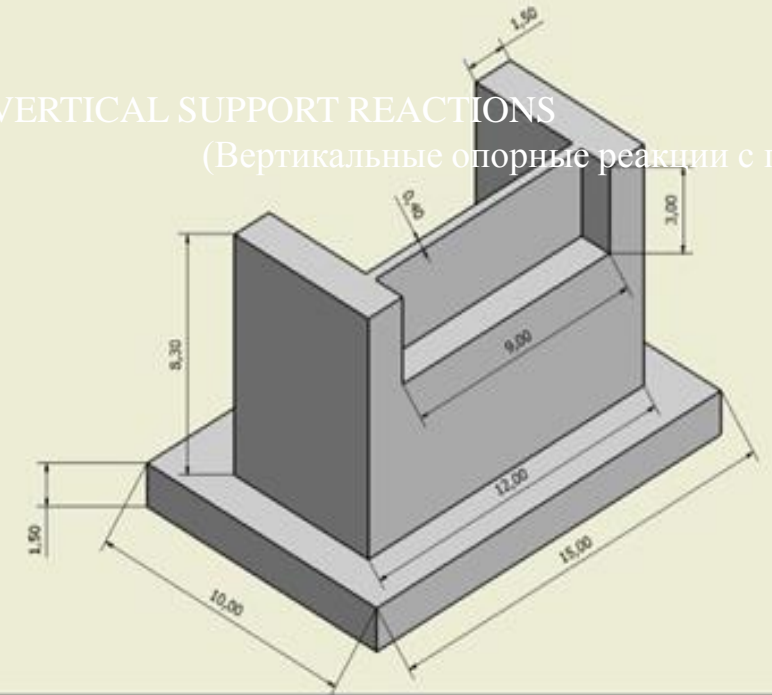
От уровня поверхности грунта до подошвы фундамента $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Уровень грунтовых вод 1 метр ниже подошвы фундамента в обоих случаях

Материал засыпки за устоем: $c'_{kf} = 0$; $\varphi'_{kf} = 30^\circ$; $\gamma_{kf} = 20 \text{ kN/m}^3$

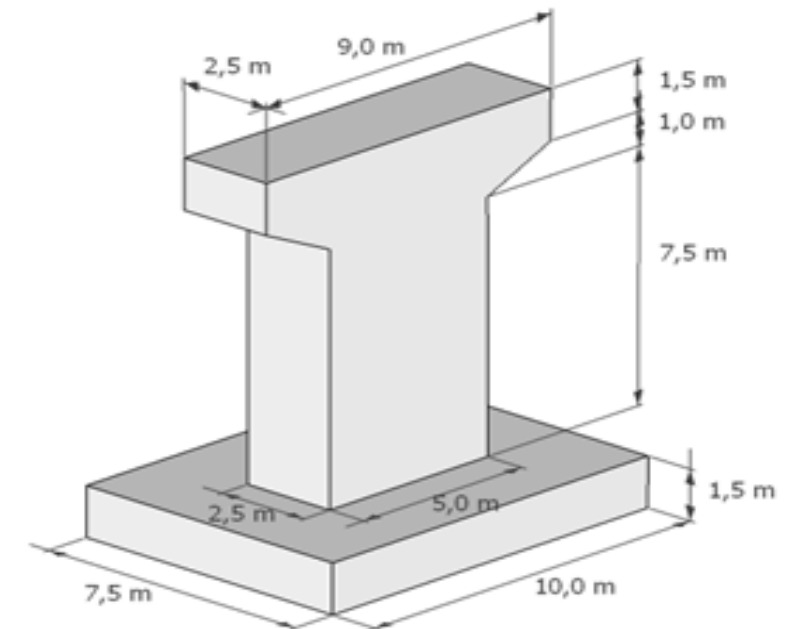
VERTICAL SUPPORT REACTIONS

(Вертикальные опорные реакции с пролетом)



Характеристики грунтов оснований и засыпки за устоем моста

Геометрические данные опор



Vertical support reactions				Вертикальные опорные реакции			
Load cases	Designation	C0 (MN)	P1 (MN)	Нагрузки	Обозначение	C0 (MN)	P1 (MN)
Self weight (structural + concrete)	Gk1	1.1683	5.2867	Собственный вес (сталь и бетон)	Gk1	1.1683	5.2867
	Gk2	0.39769	1.4665	Нормативный вес не несущих элементов (проезжая часть, барьер, карниз и т.д.)	Gk2	0.39769	1.4665
				3 см просадка опоры P1	Sk	0.060	-0.137
Nominal non structural equipments	Sk	0.060	-0.137	Подвижная временная равномерно распределенная нагрузка	UDL	0.97612/ -0.21869	2.693 /- 0.15637
3 cm settlement on support P1	UDL	0.97612/ -0.21869	2.693 /- 0.15637				
Traffic UDL Qvk,1 max/min	TS	0.92718 /-0.117418	0.9445 /- 0.1057	Подвижная временная нагрузка от тележки Qvk,2 max/min	TS	0.92718 /-0.11741	0.94458 /-0.1057
Traffic TS Qvk,2 max/min							

Вертикальные опорные реакции

Воздействие		Обозначение	Группа	
			A1	A2
Постоянное	Неблагоприятное	γ_G	1,35	1,0
	благоприятное		1,0	1,0
Кратковременное	неблагоприятное	γ_Q	1,5	1,3
	Благоприятное		0	0

Частные коэффициенты для воздействий γ_F
или результатов воздействий γ_E

Параметры грунта	Обозначение	Группа	
		М1	М2
Угол сопротивления сдвигу ^{а)}	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Эффективная связность грунта	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Предел прочности на сдвиг без дренажа	γ_{cu}	1,0	1,4
Прочность при вдавливании без возможности бокового расширения	γ_{qu}	1,0	1,4
Объемный вес	γ_{γ}	1,0	1,0
а) Данный коэффициент применяется к $\text{tg}\phi'$.			

**ЧАСТНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ
ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА γ_M**

Сопротивление	Обозначение	Группа		
		R1	R2	R3
Сжатию	$\gamma_{R;v}$	1,0	1,4	1,0
Сдвигу	$\gamma_{R;h}$	1,0	1,1	1,0

**ЧАСТНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ γ_R ДЛЯ
ФУНДАМЕНТОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ
ОСНОВАНИИ**

► Метод расчета 1

► Комбинация 1

$$A1 + M1 + R1$$

► Комбинация 2

$$A2 + M2 + R1$$

► Метод расчета 2

► Комбинация

$$A1 + M1 + R2$$

► Метод расчета 3

► Комбинация (A*1 или A**2) + M2 + R3

► *- на нагрузки и воздействия кроме геотехнических

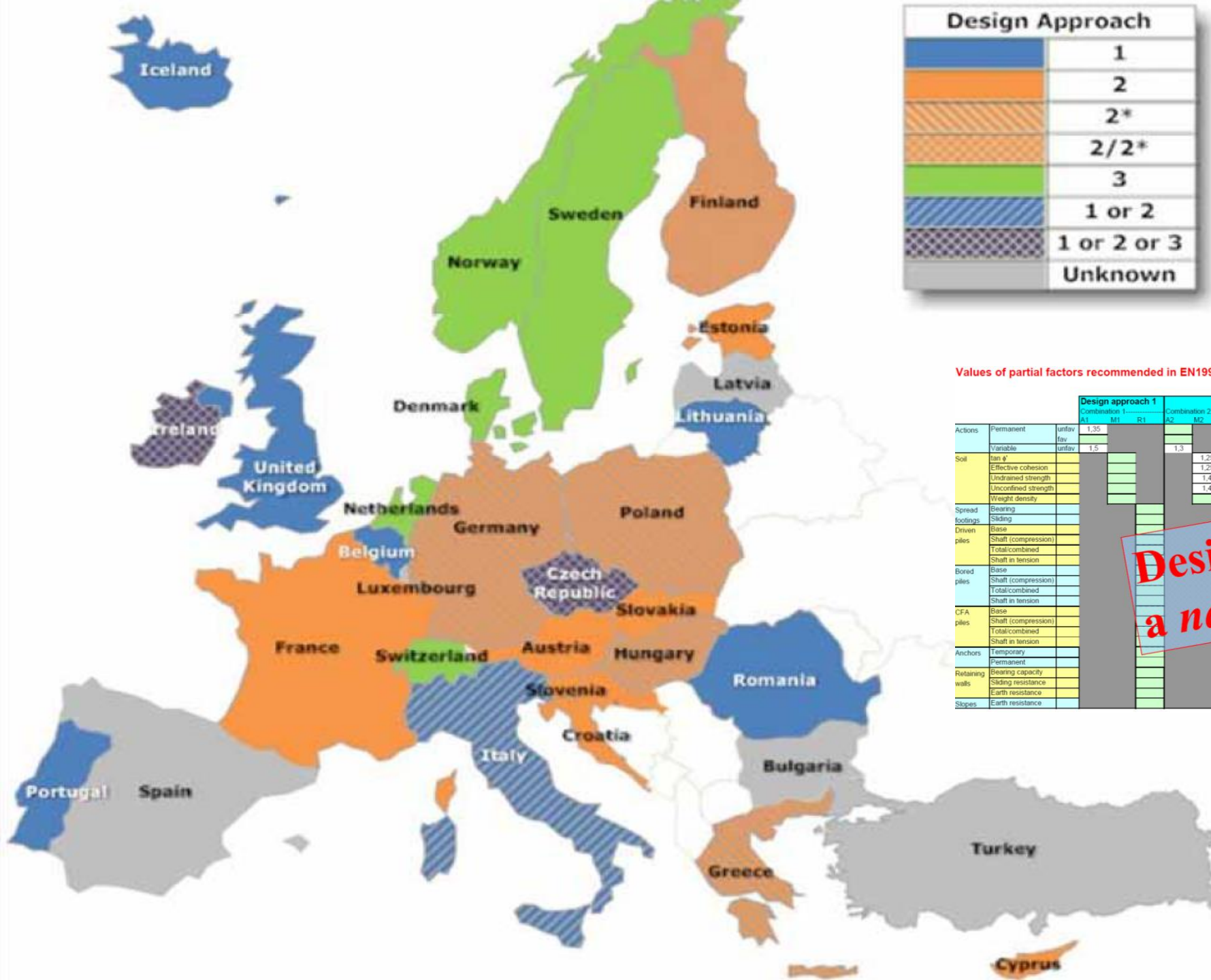
► **- на геотехнические воздействия

3 МЕТОДА РАСЧЕТА

Values of partial factors recommended in EN1997-1 Annex A

			Design approach 1			Design approach 2			Design approach 3									
			Combination 1			Combination 2			Combination 2 - piles & anchors			DA2 - Slopes			DA3			
			A1	M1	R1	A2	M2	R1	A2	M1 or M2	R4	A1 - M1	R2	A1 - M=R2	A1	A2	M2	R3
Actions	Permanent	unfav	1,35								1,35			1,35				
	Permanent	fav																
Soil	tan φ'	unfav	1,5			1,3			1,3		1,5			1,5				
	tan φ'	fav					1,25			1,25							1,25	
Soil	Effective cohesion						1,25			1,25							1,25	
	Undrained strength						1,4			1,4							1,4	
	Unconfined strength						1,4			1,4							1,4	
	Weight density																	
Spread footings	Bearing												1,4					
	Sliding												1,1					
Driven piles	Base												1,1					
	Shaft (compression)										1,3		1,1					
	Total/combined										1,3		1,1					
	Shaft in tension										1,6		1,15				1,1	
Bored piles	Base												1,6					
	Shaft (compression)										1,3		1,1					
	Total/combined										1,3		1,1					
	Shaft in tension										1,6		1,15				1,1	
CFA piles	Base												1,45					
	Shaft (compression)										1,3		1,1					
	Total/combined										1,3		1,1					
	Shaft in tension										1,6		1,15				1,1	
Anchors	Temporary												1,1					
	Permanent												1,1					
Retaining walls	Bearing capacity												1,1					
	Sliding resistance												1,4					
	Earth resistance												1,1					
	Earth resistance												1,4					
Slopes	Earth resistance												1,1					

Design approach is a national choice



Design Approach	
	1
	2
	2*
	2/2*
	3
	1 or 2
	1 or 2 or 3
	Unknown

ВЫБОР МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПО СТРАНАМ

Values of partial factors recommended in EN1997-1 Annex A

Actions		Design approach 1				Design approach 2				Design approach 3			
		Combination 1		Combination 2		Combination 2 - piles & anchors		DA2 - Slopes		DA3			
		A1	M1, R1	A2	M2, R1	A2	M1 or M2, R4	A1	M-R2	A1	A2	M2, R3	
Soil	Permanent	1.35						1.35			1.35		
	Variable		1.5		1.3		1.3		1.5		1.5		1.3
Soil	tan φ			1.25			1.25					1.25	
	Effective cohesion			1.4			1.4					1.4	
	Undrained strength			1.4			1.4					1.4	
	Weight density			1.4			1.4					1.4	
Spread footings	Bearing							1.35					
	Sliding							1.5					
Driven piles	Base							1.1					
	Shaft (compression)							1.1					
	Total/combined							1.1					
	Shaft in tension							1.6					1.1
Bored piles	Base							1.6					
	Shaft (compression)							1.1					
	Total/combined							1.1					
	Shaft in tension							1.6					1.1
CFA piles	Base							1.45					
	Shaft (compression)							1.1					
	Total/combined							1.1					
	Shaft in tension							1.4					1.1
Anchors	Temporary							1.1					
	Permanent							1.1					
Retaining walls	Bearing capacity							1.4					
	Sliding resistance							1.1					
	Earth resistance							1.4					
Slopes	Earth resistance								1.1				

Design approach is a national choice

РОССИЯ – МЕТОД РАСЧЕТА 2 ?

Нагрузки и воздействия	Коэффициенты надежности по нагрузке g_f	Нагрузка	Случай применения	Коэффициент надежности по нагрузке g_f
Все нагрузки и воздействия, кроме указанных ниже в данной таблице	1,1 (0,9)			
Вес мостового полотна с ездой на балласте под железную дорогу, а также пути метрополитена и трамвая	1,3 (0,9)	Тележка	При расчетах элементов проезжей части мостов	1,50
Вес балластного мостового полотна под трамвайные пути на бетонных и железобетонных плитах	1,2 (0,9)		При расчетах всех других элементов мостов	1,50 при $\lambda^* = 0$ 1,20 при $\lambda > 30$ м
Вес выравнивающего, изоляционного и защитного слоев автодорожных и городских мостов	1,3 (0,9)		При определении веса в расчетах на сейсмические воздействия	1,20
Вес покрытия ездового полотна и тротуаров автодорожных мостов	1,5 (0,9)			
То же, городских мостов	2,0 (0,9)	Равномерно распределенная	При всех расчетах конструкций мостов и звеньев труб на вертикальные и горизонтальные воздействия	1,20
Вес деревянных конструкций в мостах	1,2 (0,9)			
Горизонтальное давление грунта от веса насыпи:		Одиночная ось	При проверке элементов проезжей части мостов, проектируемых на нагрузку А8	1,20
на опоры мостов (включая устои)	1,4 (0,7)			
на звенья труб	1,3 (0,8)			
Воздействие усадки и ползучести бетона	1,1 (0,9)			
Воздействие осадки грунта	1,5 (0,5)			

$$P < R / G_N \text{ И } P_{\text{МАХ}} < R G_C / G_N$$

G_N - КОЭФФИЦИЕНТ НАДЕЖНОСТИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ СООРУЖЕНИЯ, ПРИНИМАЕМЫЙ РАВНЫМ 1,4;

	Метод расчета 1-1	Метод расчета 1-2	Метод расчета 2	Метод расчета 3
Нагрузки и воздействия	ЕС7 DA1/1 ----- Нормы РФ	ЕС7 DA1/2 ----- Нормы РФ	ЕС7 DA2 ----- Нормы РФ	ЕС7 DA3 ----- Нормы РФ
Permanent unfavourable load Постоянное воздействие (Неблагоприятное)	1.35 1,1; 1,3; 1,4; 1,5	1.0 1,1; 1,3; 1,4; 1,5	1.35 1,1; 1,3; 1,4; 1,5	1.0/1.35 1,1; 1,3; 1,4; 1,5
Permanent favourable load Постоянное воздействие Благоприятное	1.0 0,7; 0,9	1.0 0,7; 0,9	1.0 0,7; 0,9	1.0 0,7; 0,9
	1.5 1,2; 1,4; 1,5	1.3 1,2; 1,4; 1,5	1.5 1,2; 1,4; 1,5	1.0/1.5 1,2; 1,4; 1,5
Параметры грунта	в нормах РФ коэффициент надежности определяется числом выполненных испытаний, коэффициентом вариации их результатов и желаемой доверительной вероятностью			
c'	1.0	1.25	1.0	1.25
tanφ'	1.0	1.25	1.0	1.25
cu	1.0	1.4	1.0	1.4
Resistance Несущая способность	1.0 1,4	1.0 1,4	1.1/1.4 1,4	1.0 1,4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ
ТАБЛИЦА
КОЭФФИЦИЕНТОВ

Расчет фундаментов устоя и промежуточной опоры по несущей способности грунта

Для расчета несущей способности основания применяется методика СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».

Вертикальную составляющую силы предельного сопротивления N_u основания, сложенного нескальными грунтами в стабилизированном состоянии, допускается определять по формуле (16):

$$N_u = b'l'(N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_I + N_q \xi_q \gamma'_I d + N_c \xi_c c_I),$$

где b' и l' - размеры фундамента b обозначена сторона стенки, в направлении которой предполагается потеря устойчивости основания;

N_γ, N_q, N_c - безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таблице в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта φ_I и угла наклона к вертикали δ равнодействующей внешней нагрузки на основание F в уровне подошвы фундамента;

γ_I и γ'_I - расчетные значения удельного веса грунтов, кН/м^3 (тс/м^3), находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы стенки (при наличии подземных вод определяются с учетом взвешивающего действия воды);

c_I - расчетное значение удельного сцепления грунта, кПа (тс/м^2);

d - глубина заложения фундамента, м;

ξ_γ, ξ_q, ξ_c - коэффициенты формы, определяемые по формулам:

$$\xi_\gamma = 1 - 0,25/\eta; \xi_q = 1 + 1,5/\eta; \xi_c = 1 + 0,3/\eta,$$

здесь $\eta = l/b$;

l и b - соответственно длина и ширина фундамента, м.

Для устоя:

$$\eta = 14,94/7,48=2$$

$$\xi_\gamma = 1 - 0,25/2=0,875;$$

$$\xi_q = 1 + 1,5/2= 1,75;$$

$$\xi_c = 1 + 0,3/2 = 1,15. \quad \text{Несущая способность основания будет равна:}$$

$$N_u = 7,48 \cdot 14,94 \cdot (7,804 \cdot 0,875 \cdot 7,48 \cdot 10 + 14,016 \cdot 1,75 \cdot 10 \cdot 2,5) = 125605,2 \text{ кН/м.}$$

$$0,9 \cdot 125,61/1,2 = 94,2 \text{ МН} > 37,6 \text{ МН} \quad \text{Условие выполняется.}$$

Для опоры:

$$\eta = 10/6,78=1,47$$

$$\xi_\gamma = 1 - 0,25/1,47=0,83;$$

$$\xi_q = 1 + 1,5/1,47 = 2,02;$$

$$\xi_c = 1 + 0,3/1,47 = 1,2.$$

Несущая способность основания будет равна:

$$N_u = 6,78 \cdot 10 \cdot (11,206 \cdot 0,83 \cdot 6,78 \cdot 10 + 17,292 \cdot 2,02 \cdot 10 \cdot 3) = 113802,4 \text{ кН/м.}$$

$$0,9 \cdot 113,80/1,2 = 85,53 \text{ МН} > 35 \text{ МН} \quad \text{Условие выполняется.}$$

Расчет фундамента на сдвиг

Расчет фундамента на сдвиг производится по СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений» исходя из условия (20):

$$\sum F_{s,a} \leq (\gamma_c \sum F_{s,r}) / \gamma_n$$

где $\sum F_{s,a}$ и $\sum F_{s,r}$ - суммы проекций на плоскость скольжения соответственно расчетных сдвигающих и удерживающих сил, определяемых с учетом активного и пассивного давлений грунта на боковые грани фундамента.

γ_c - коэффициент условий работы.

$$\gamma_c = 0,9.$$

γ_n - коэффициент надежности по назначению сооружения.

$$\gamma_n = 1,2.$$

$$\sum F_{s,a} = 3838 \cdot 1,4 + 906 \cdot 1,2 = 6460 \text{ кН}$$

$$\sum F_{s,r} = 32484 \cdot 0,364 = 11824 \text{ кН}$$

$$6460 \text{ кН} \leq \frac{0,9 \cdot 11824}{1,2} \text{ кН} \quad 6460 \text{ кН} \leq 8862 \text{ кН}. \quad \text{Условие выполняется.}$$

РАСЧЕТ НА
НЕСУЩУЮ
СПОСОБНОСТЬ
ОСНОВАНИЯ И
СДВИГ

Расчет осадки грунта основания промежуточной опоры

Осадка основания промежуточной опоры с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства определяется методом послойного суммирования по формуле 1 приложения 2 СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений»

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} h_i}{E_i}$$

где β - безразмерный коэффициент, равный 0.8;

$\sigma_{zp,i}$ – среднее значение дополнительного вертикального нормального напряжения в i -том слое грунта, равное полусумме указанных напряжений на верхней z_{i-1} и нижней z_i границах слоя по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента;

h_i и E_i – соответственно толщина и модуль деформации i -того слоя грунта;

n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Дополнительные вертикальные напряжения на глубине z от подошвы фундамента определяется по формуле:

$$\sigma_{zp} = \alpha p_0$$

α - табличный коэффициент, принимаемый в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения сторон прямоугольного фундамента и относительной глубины, равной:

$$\xi = 2z / b$$

p_0 – дополнительное вертикальное давление на основание, принимаемое по формуле:

$$p_0 = p - \sigma_{zg,0}$$

Для фундаментов шириной $b \geq 10$ м принимается $p_0 = p$.

p – среднее давление под подошвой фундамента;

$p = 180 - 60 = 120$ КПа.

При $z = 7$ м

$$\xi = 2 \cdot 7 / 10 = 1,4$$

$\alpha = 0,37$

$$\sigma_{zp} = 0,37 \cdot 120 = 44 \text{ КПа}$$

$\sigma_{zg,0}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы фундамента.

$$\sigma_{zg,0} = 20 \cdot 3 = 60 \text{ КПа}$$

$$S = 0,8 \cdot (120 + 44) / 2 / 23,7 = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм}$$

РАСЧЕТ ОСАДКИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОПРЫ

	Расчет по EN 1997	Расчет по СНиП 2.05.03-85* и СНиП 2.02.01-83*	Разница, %
Устой Со			
Расчет по несущей способности	Методы расчета		
	1.1 150,2 МН		
Расчетная несущая способность (вертикальная)	1.2 67,3 МН 2 107,3 МН 3 79,6 МН	94,2 МН	-12 %
Расчетная нагрузка (вертикальная)	Метод расчета 2 45,5 МН	37,6 МН	-17 %
Расчет по сдвигу	Метод расчета 2		
Расчетная несущая способность	9,42 МН	8,86 МН	-6 %
Расчетная нагрузка	7,61 МН	6,46 МН	-15 %
Промежуточная опора Р1			
Расчетная несущая способность (вертикальная)	Метод расчета 2 72,1 МН	85,5 МН	+18 %
Расчетная нагрузка (вертикальная)	40,1 МН	35,0 МН	-13 %
Расчет осадок	12 мм	19 мм	N/A

ТАБЛИЦА
РЕЗУЛЬТАТОВ
РАСЧЕТА