

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 25.02.2022 14:32:40
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра промышленного и гражданского строительства



Проектирование подпорных стен

Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов
направлений подготовки 08.03.01 «Строительство»,
08.04.01 «Строительство»

Курск 2021

УДК 624.011.1

Составитель: К.О. Дубракова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Масалов*

Проектирование подпорных стен: методические рекомендации к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. К.О. Дубракова, Курск, 2021.- 18 с. - Библиогр.: с. 17-18.

Методические указания соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту по направлениям подготовки (специальности) 08.03.01, 08.04.01.

Содержат сведения по вопросам проектирования массивных и уголковых подпорных стен по I и II группам предельных состояний.

Предназначены для студентов направлений подготовки 08.03.01, 08.04.01 дневной и заочной форм обучения.

Текст напечатается в авторской редакции.

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
Типы подпорных стен	5
Проектирование подпорных стен.....	9
Расчет устойчивости положения стены против сдвига.....	9
Расчет прочности грунтового основания.	10
Расчет оснований по деформациям.	13
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	17

ВВЕДЕНИЕ

При проведении практических занятий решаются следующие основные задачи:

- изучение требований нормативных документов к подпорным массивным и угловым подпорным стенам;
- определение активного и пассивного давления на подпорную стену;
- выполнение расчета устойчивости положение стены против сдвига;
- выполнение расчета прочности грунтового основания;
- выполнение расчета основания по деформациям;
- разработка конструктивного решения подпорной стены.

Типы подпорных стен

Подпорные стены по конструктивному решению подразделяются на массивные и тонкостенные.

В массивных подпорных стенах их устойчивость на сдвиг при воздействии горизонтального давления грунта обеспечивается в основном собственным весом стены. В тонкостенных подпорных стенах их устойчивость обеспечивается собственным весом стены и весом грунта, вовлекаемого конструкцией стены в работу.

Как правило, массивные подпорные стены более материалоемки и более трудоемки в возведении, чем тонкостенные, и могут применяться при соответствующем технико-экономическом обосновании (например, при возведении их из местных материалов, отсутствии сборного железобетона и т.д.).

Массивные стены могут возводиться из монолитного бетона, сборных бетонных блоков, бутобетона и каменной кладки.

По форме поперечного сечения массивные стены могут быть:

с двумя вертикальными гранями (рис.2, а);

с вертикальной лицевой и наклонной тыльной гранью (рис.2, б),

с наклонной лицевой и вертикальной тыльной гранью (рис.2, в),

с двумя наклонными в сторону засыпки гранями (рис.2, г),

со ступенчатой тыльной гранью (рис.1, д),

с ломаной тыльной гранью (рис.2, е).

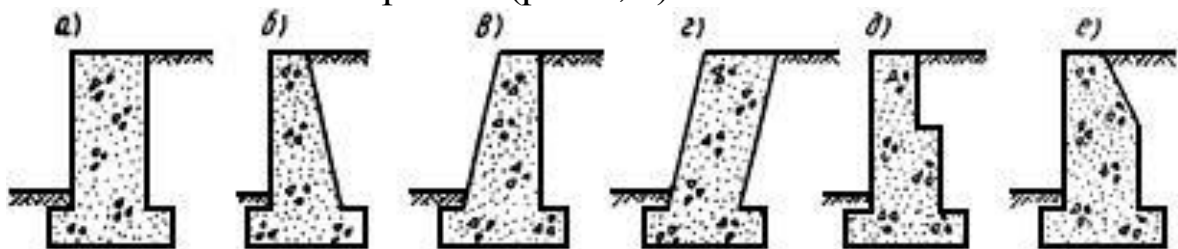


Рис.2. Массивные подпорные стены:
 а - с двумя вертикальными гранями; б - с вертикальной лицевой и наклонной тыльной гранью; в - с наклонной лицевой и вертикальной тыльной гранью; г - с двумя наклонными в сторону засыпки гранями; д - со ступенчатой тыльной гранью; е - с ломаной тыльной гранью

Стены с наклонными гранями (переменного сечения, утончающиеся кверху) менее материалоемки, чем стены с двумя параллельными гранями. При наличии наклонной в сторону от засыпки тыльной грани в работу подпорной стены включается масса грунта, расположенного над этой гранью. В стенах с двумя наклонными в сторону засыпки гранями интенсивность горизонтального давления грунта уменьшается, но возведение стен такого сечения является более сложным.

Стены со ступенчатой тыльной гранью применяют главным образом при возведении массивных стен из сборных бетонных блоков.

В промышленном и гражданском строительстве, как правило, применяются тонкостенные подпорные стены уголкового типа:

- консольные (рис.3, а),
- с анкерными тягами (рис.3, б),
- контрфорсные (рис.3, в).

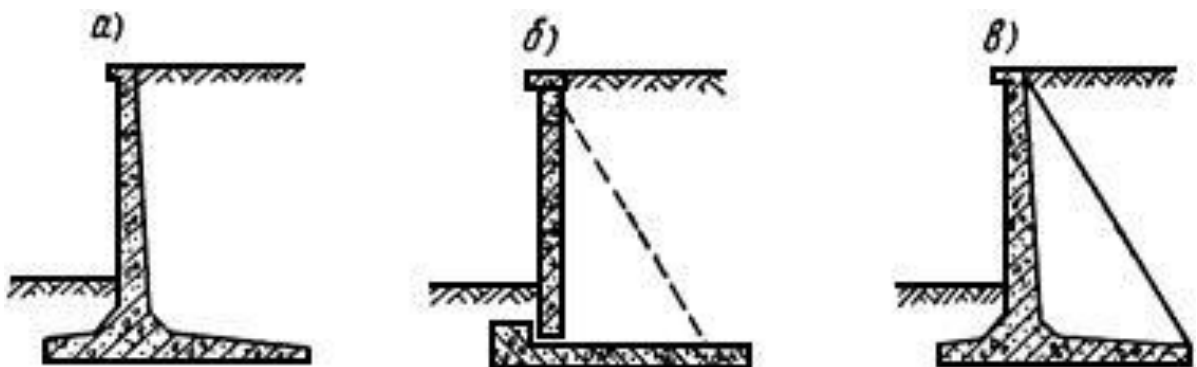


Рис.3. Тонкостенные подпорные стены уголкового типа
а - консольные; б - с анкерными тягами; в - контрфорсные

Существует большое количество типов подпорных стен: ячеистые, шпунтовые, из оболочек и др.)

По способу изготовления тонкостенные подпорные стены могут быть монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Тонкостенные консольные стены уголкового типа состоят из лицевых и фундаментных плит, жестко связанных между собой. В сборных стенах лицевые и фундаментные плиты выполняются из готовых элементов. В сборно-монолитных - лицевая плита сборная, а фундаментная - монолитная. В монолитных подпорных стенах

жесткость узлового сопряжения лицевых и фундаментных плит обеспечивается соответствующим расположением арматуры.

В сборных и сборно-монолитных подпорных стенах жесткость сопряжения обеспечивается устройством щелевого паза (рис.3, а) или петлевого (рис.4, б) стыка.

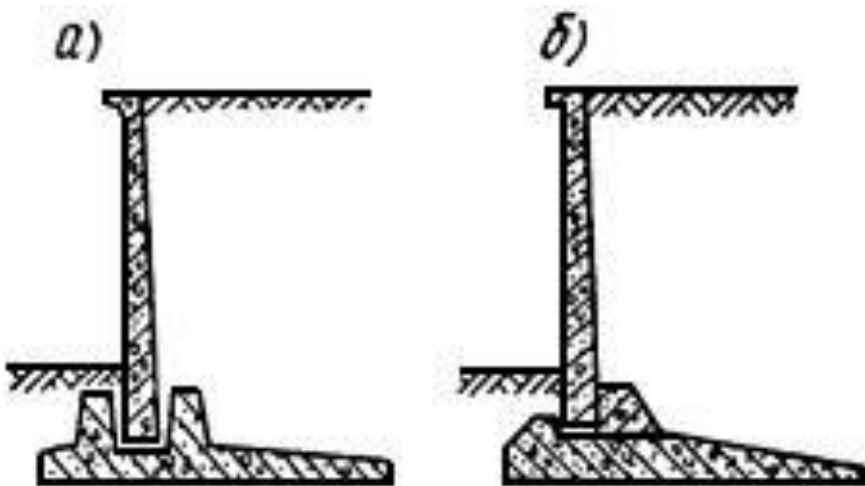


Рис.4. Сопряжение лицевых и фундаментных плит: а - с помощью щелевого паза; б - с помощью петлевого стыка

В сборно-монолитных тонкостенных подпорных стенах лицевая плита выполняется сборной, а фундаментная плита (не требующая подмостей и сложной опалубки) - монолитной. Сборно-монолитные подпорные стены выполняются в том случае, когда размеры сборной фундаментной плиты недостаточны, и к ней присоединяется дополнительная монолитная анкерная плита (рис.5).



Рис.5. Сборная конструкция подпорной стены с дополнительной монолитной анкерной плитой

Тонкостенные подпорные стены с анкерными тягами состоят из лицевых и фундаментных плит, соединенных гибкими стальными анкерными тягами (связями), которые создают в плитах дополнительные опоры, облегчающие их работу. Сопряжение лицевых и фундаментных плит может быть шарнирным или жестким. Тонкостенные контрфорсные подпорные стены состоят из трех элементов: лицевой плиты, жесткого контрфорса и фундаментной плиты. При этом нагрузка от лицевой плиты частично или полностью передается на контрфорс.

Проектирование подпорных стен и стен подвалов должно осуществляться на основании:

чертежей генерального плана (горизонтальная и вертикальная планировка);

отчета об инженерно-геологических изысканиях;

технологического задания, содержащего данные о нагрузках и при необходимости особые требования к проектируемой конструкции, например, требования по ограничению деформаций и др.

Проектирование подпорных стен

Расчет устойчивости положения стены против сдвига по формуле (1):

$$F_{sa} \leq \gamma_c F_{sr} / \gamma_n, \quad (1)$$

где F_{sa} - сдвигающая сила, равная сумме проекции всех сдвигающих сил на горизонтальную плоскость; F_{sr} - удерживающая сила, равная сумме проекций всех удерживающих сил на горизонтальную плоскость; γ_c - коэффициент условий работы грунта основания: для песков, кроме пылеватых - 1; для пылеватых песков, а также пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии - 0,9; для пылевато-глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии - 0,85; для скальных, неветрелых и слабыветрелых грунтов - 1; ветрелых - 0,9; сильноветрелых - 0,8; γ_n - коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2, 1,15 и 1,1 соответственно для зданий и сооружений I, II и III класса, назначаемых следующим образом:

Класс I. Основные здания и сооружения объектов, имеющих особо важное народнохозяйственное и (или) социальное значение, такие, как: главные корпуса ТЭС, АЭС, центральные узлы доменных печей, дымовые трубы высотой более 200 м, телевизионные башни, сооружения магистральной первичной сети ЕАСС, резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью более 10 тыс.м³, крытые спортивные сооружения с трибунами, здания театров, кинотеатров, цирков, крытых рынков, учебных заведений, детских дошкольных учреждений, больниц, родильных домов, музеев, государственных архивов и т.п.

Класс II. Здания и сооружения объектов, имеющих важное народнохозяйственное и (или) социальное значение (объекты промышленного, сельскохозяйственного, жилищно-гражданского назначения и объекты связи, не вошедшие в I и III классы),

Класс III. Здания и сооружения объектов, имеющих ограниченное народнохозяйственное и (или) социальное значение, такие, как: склады без процессов сортировки и упаковки для

хранения сельскохозяйственных продуктов, удобрений, химикатов, угля, торфа и др., теплицы, парники, одноэтажные жилые дома, опоры проводной связи, опоры освещения населенных пунктов, ограды, временные здания и сооружения.

Расчет прочности грунтового основания. Расчет прочности основания производится для всех скальных грунтов и нескальных при $\text{tg}\delta_I < \sin \varphi_I$ из условия:

$$F_v \leq \gamma_c N_u / \gamma_n. \quad (2)$$

Тангенс угла наклона к вертикали равнодействующей внешней нагрузки на основании определяется из условия:

$$\text{tg}\delta_I = F_{sd} / F_v. \quad (3)$$

Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания N_u , сложенного нескальными грунтами в стабилизированном состоянии, определяется по формуле:

$$N_u = b' (N_\gamma b' \gamma_I + N_q \gamma' d + N_c c_I). \quad (4)$$

где N_γ , N_q , N_c - безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таб. 5 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта φ_I и угла наклона к вертикали d_I равнодействующей внешней нагрузки на основание в уровне подошвы стены: d - глубина заложения подошвы от нижней планировочной отметки, м; b' - прицеленная ширина подошвы, определяемая по формуле:

$$b' = h - 2e. \quad (5)$$

где e - эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы стены, величина которого определяется по формуле (6) и не должна превышать $e \leq b/3$:

$$e = M_0 / F_v, \quad (6)$$

где M_0 - сумма моментов всех вертикальных и горизонтальных сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы.

Таблица 5

Угол внутреннего	Коэффициент	Коэффициенты несущей способности N_γ , N_q и N_c при угле
------------------	-------------	--

трения грунта φ град		наклона к вертикали равнодействующей внешней нагрузки δ , град., равном						
		0	5	10	15	20	25	30
0	N_γ	0	-	-	-	-	-	-
	N_q	1	-	-	-	-	-	-
	N_c	5,14	-	-	-	-	-	-
5	N_γ	0,2	0,05	-	-	-	-	-
	N_q	1,57	1,26	-	-	-	-	-
	N_c	6,49	2,93	-	-	-	-	-
10	N_γ	0,6	0,42	0,12	-	-	-	-
	N_q	2,47	2,16	1,6	-	-	-	-
	N_c	8,34	6,57	3,38	-	-	-	-
15	N_γ	1,35	1,02	0,61	0,21	-	-	-
	N_q	3,94	3,45	2,84	2,06	-	-	-
	N_c	10,98	9,13	6,88	3,94	-	-	-
16	N_γ	1,66	1,25	0,78	0,33	0,07	-	-
	N_q	4,43	3,87	3,2	2,38	0,54	-	-
	N_c	11,75	9,81	7,51	4,61	0,93	-	-
17	N_γ	1,96	1,48	0,95	0,45	0,14	-	-
	N_q	4,92	4,29	3,56	2,69	1,08	-	-
	N_c	12,52	10,49	8,14	5,27	1,86	-	-
18	N_γ	2,27	1,72	1,13	0,58	0,22	-	-
	N_q	5,42	4,72	3,92	3,01	1,61	-	-
	N_c	13,3	11,17	8,76	5,93	2,79	-	-
19	N_γ	2,57	1,95	1,3	0,7	0,29	-	-
	N_q	5,91	5,14	4,28	3,32	2,15	-	-
	N_c	14,07	11,85	9,39	6,6	3,72	-	-
20	N_γ	2,88	2,18	1,47	0,82	0,36	-	-
	N_q	6,4	5,56	4,64	3,64	2,69	-	-
	N_c	14,84	12,53	10,02	7,26	4,65	-	-
21	N_γ	3,48	2,64	1,81	1,06	0,5	0,12	-
	N_q	7,25	6,28	5,24	4,14	3,07	0,72	-
	N_c	16,02	13,53	10,87	8,01	5,26	1,12	-
22	N_γ	4,08	3,11	2,15	1,29	0,64	0,23	-

	N_q	8,11	7,01	5,84	4,64	3,45	1,44	-
	N_c	17,19	14,53	11,72	8,75	5,86	2,23	-
23	N_γ	4,67	3,57	2,5	1,53	0,77	0,35	-
	N_q	8,96	7,73	6,45	5,13	3,83	2,16	-
	N_c	18,37	15,53	12,56	9,5	6,47	3,35	-
24	N_γ	5,27	4,04	2,84	1,77	0,91	0,46	-
	N_q	9,81	8,45	7,05	5,63	4,2	2,88	-
	N_c	19,54	16,53	13,41	10,24	7,07	4,46	-
25	N_γ	5,87	4,5	3,18	2	1,05	0,58	-
	N_q	10,66	9,17	7,65	6,13	4,58	3,6	-
	N_c	20,72	17,53	14,26	10,99	7,68	5,58	-
26	N_γ	7,17	5,49	3,89	2,49	1,37	0,72	0,19
	N_q	12,21	10,46	8,71	6,98	5,26	4,01	0,99
	N_c	22,61	19,09	15,54	12,04	8,55	6,08	1,37
27	N_γ	8,48	6,47	4,59	2,98	1,68	0,86	0,38
	N_q	13,76	11,75	9,77	7,83	5,93	4,43	1,98
	N_c	24,49	20,65	16,83	13,09	9,43	6,58	2,74
28	N_γ	9,78	7,46	5,3	3,46	2	1,01	0,57
	N_q	15,3	13,05	10,82	8,67	6,61	4,84	2,97
	N_c	26,37	22,22	18,11	14,13	10,3	7,09	4,11
29	N_γ	11,09	8,44	6	3,95	2,31	1,15	0,76
	N_q	16,85	14,34	11,88	9,52	7,28	5,26	3,96
	N_c	28,26	23,78	19,4	15,18	11,18	7,59	5,48
30	N_γ	12,39	9,43	6,71	4,44	2,63	1,3	0,95
	N_q	18,4	15,63	12,94	10,37	7,96	5,67	4,95
	N_c	30,14	25,34	20,68	16,23	12,05	8,09	6,85

Сумма моментов M_0 определяется по формулам:

а) для массивных подпорных стен:

$$M_0 = F_{sa}[h^* - \operatorname{tg}(\varepsilon + \delta)(b/2 - h^* \operatorname{tg} \varepsilon)] + \Sigma M_i, \quad (7)$$

где ΣM_i - сумма моментов от собственного веса стены и грунта на ее обрезах относительно центра тяжести подошвы стены.

б) для уголковых стен (при $\varepsilon \leq \theta_0$)

$$M_0 = F_{sa} [h^* - \operatorname{tg} (\varepsilon + \varphi') (b/2 - h^* \operatorname{tg} \varepsilon)] + \gamma' \gamma_f (b - t) \times [h(b - 4t) + 6td]/12. \quad (8)$$

где h^* - расстояние от равнодействующей сдвигающей силы до низа подошвы стены; γ_f - коэффициент надежности по нагрузке, принимается, равным 1,2;

$$h^* = [F_{sa, \gamma} h/3 + F_{sa, q}(h - y_a - y_b/2)]/F_{sa}. \quad (9)$$

Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания N_u , сложенного скальным грунтом, определяется по формуле:

$$N_u = R_c b'. \quad (10)$$

где R_c - расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта.

Расчет оснований по деформациям. При отсутствии специальных технологических требований расчет деформации основания считается удовлетворительным, если среднее давление на грунт под подошвой фундамента от нормативной нагрузки не превышает расчетного сопротивления грунта основания R , а краевые - $1,2R$:

$$\left. \begin{array}{l} p \leq R, \\ p_{\max} \leq 1,2 \cdot R \end{array} \right\} \quad (11)$$

При этом эпюру напряжений допускается принимать трапециевидной или треугольной. Площадь сжатой зоны при треугольной эпюре должна быть не менее 75 % общей площади фундамента подпорной стены ($e \leq b/4$) (рис. 6).

Краевые давления на грунт под подошвой стены, при эксцентриситете приложения равнодействующей всех вертикальных сил относительно центра тяжести подошвы $e \leq b/6$ определяются по формуле (12), а при $e > b/6$ - по формуле (13):

$$p_{\min}^{\max} = F_v \cdot (1 \pm 6 \cdot e/b)/b, \quad (12)$$

$$p_{\max} = 2F_v/3c_0, \quad (13)$$

где F_v - сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость; e - эксцентриситет приложения равнодействующей всех сил относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы стены; $3c_0$ - длина эпюры по подошве фундамента:

$$c_0 = 0,5b - e. \quad (14)$$

Расчетное сопротивление грунта основания R , кПа (тс/м²), определяется по формуле:

$$R = (\gamma_{c1}\gamma_{c2}/k) (M_\gamma b\gamma_{II} + M_q d\gamma'_{II} + M_c c_{II}). \quad (15)$$

где γ_{c1} и γ_{c2} - коэффициенты условий работы, принимаемые по табл. 7; k - коэффициент, принимаемый: $k=1$, если прочностные характеристики грунта φ и c определены непосредственными испытаниями, и $k=1,1$, если они приняты по таблицам нормативных документов; M_γ , M_q , M_c - коэффициенты, принимаемые по табл. 7; b - ширина подошвы фундамента; d - глубина заложения подошвы фундамента от нижней планировочной отметки.

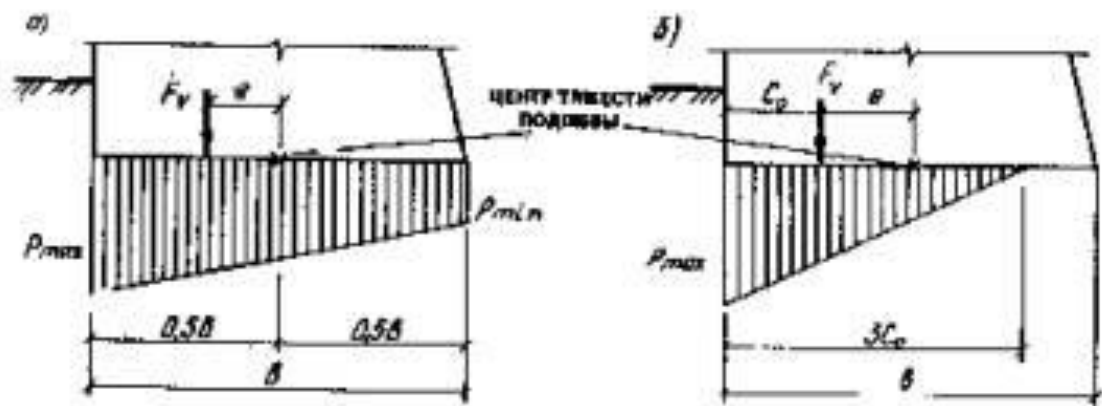


Рис. 6. Схема для определения давлений под подошвой стены

a - при малых эксцентриситетах $e \leq b/6$; *б* - при больших эксцентриситетах $e > b/6$

Таблица 6

Грунты	Коэффициент γ_{c1}	Коэффициент γ_{c2} для сооружений с жесткой конструктивной схемой при отношении длины сооружения или
--------	---------------------------	---

		его отсека к высоте L/H , равный	
		4 и более	1,5 и менее
Крупнообломочные с песчаным заполнителем и песчаные, кроме мелких и пылеватых	1,4	1,2	1,4
Пески:			
мелкие пылеватые	1,3	1,1	1,3
в том числе:			
маловлажные и влажные	1,25	1	1,2
насыщенные водой	1,1	1	1,2
Пылевато-глинистые, крупно-обломочные с пылевато-глинистым заполнителем с показателем текучести грунта или заполнителя $I_L < 0,25$	1,25		1,1
То же, при $0,25 < I_L < 0,5$	1,2	1	1,1
То же, при $I_L > 0,5$	1,1	1	1

При гибкой конструктивной схеме значение коэффициента γ_{c2} принимается равным единице. При промежуточных значениях L/H коэффициент γ_{c2} определяется по интерполяции.

Таблица 7

Угол внутреннего трения j_{II} град.	Коэффициенты			Угол внутреннего трения φ_{II} град.	Коэффициенты		
	M_g	M_q	M_c		M_g	M_q	M_c
0	0	1	3,14	23	0,69	3,65	6,24
1	0,01	1,06	3,23	24	0,72	3,87	6,45
2	0,03	1,12	3,32	25	0,78	4,11	6,67
3	0,04	1,18	3,41	26	0,84	4,37	6,9
4	0,06	1,25	3,51	27	0,91	4,64	7,14
5	0,08	1,32	3,61	28	0,98	4,93	7,4
6	0,1	1,39	3,71	29	1,06	5,25	7,67

7	0,12	1,47	3,82	30	1,15	5,59	7,95
8	0,14	1,55	3,93	31	1,24	5,95	8,24
9	0,16	1,64	4,05	32	1,34	6,34	8,55
10	0,18	1,73	4,17	33	1,44	6,76	8,88
11	0,21	1,83	4,29	34	1,55	7,22	9,22
12	0,23	1,94	4,42	35	1,68	7,71	9,58
13	0,26	2,05	4,55	36	1,81	8,24	9,97
14	0,29	2,17	4,69	37	1,95	8,81	10,37
15	0,32	2,3	4,84	38	2,11	9,44	10,8
16	0,36	2,43	4,99	39	2,28	10,11	11,25
17	0,39	2,57	5,15	40	2,46	10,85	11,73
18	0,43	2,73	5,31	41	2,66	11,64	12,24
19	0,47	2,89	5,48	42	2,38	12,51	12,79
20	0,51	3,06	5,66	43	3,12	13,46	13,37
21	0,56	3,24	5,84	44	3,38	14,5	13,98
22	0,61	3,44	6,04	45	3,66	15,64	14,64

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам.
2. ГОСТ 2.113-75 Единая система конструкторской документации. Групповые и базовые конструкторские документы.
3. ГОСТ 2.306-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах.
4. ГОСТ Р 21.1101-2009. Система работаной документации для строительства. Основные требования к работаной и рабочей документации.
5. ГОСТ 21.110-95 Система работаной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.
6. ГОСТ 21.113-88 Система работаной документации для строительства. Обозначения характеристик точности.
7. ГОСТ 21.201-2011 Система работаной документации для строительства. Условные изображения элементов зданий, сооружений и конструкций.
8. ГОСТ 21.205-93 Система работаной документации для строительства. Условные обозначения элементов санитарно-технических систем.
9. ГОСТ 21.502-2007 Система работаной документации для строительства. Правила выполнения работаной и рабочей документации металлических конструкций.
10. ГОСТ 82-70 Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент.
11. ГОСТ 103-2006 Прокат сортовой горячекатаный полосовой. Сортамент.
- ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия
12. ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия

13. ГОСТ 8510-86 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент.
14. ГОСТ 13015-2003 Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
15. ГОСТ 14098-91 Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.
16. ГОСТ 21780-2006 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности.
17. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 "О составе разделов работаной документации и требованиях к их содержанию" (ред. от 12.11.2016, с изм. от 28.01.2017).