

УДК 624.131.53.001.5.

**РАСЧЕТ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ДАВЛЕНИЯ  
ГРУНТА НА ПОЛОГИЕ СТЕНКИ НА ОСНОВЕ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ.**

*Яковлев П.И., Супцарел В.В. (Одесса); Ходько Н.П.  
(Новороссийск); Карнюк В.М., Петросян В.Н. (Одесса).*

Классическая теория Кулона имеет множество недостатков и во многих случаях дает погрешности, значительно превышающие 100%. Поэтому целесообразно в практических расчетах использовать разработанную профессором П.И. Яковлевым более строгую техническую теорию предельного напряженного состояния (ТТПНС) [1-13]. Методы расчета, основанные на этой теории, являются наиболее общими, позволяющими решать задачи практически при любых граничных условиях, при минимальном количестве допущений. Решение основано на формулах, которые позволяют вычислить безразмерные коэффициенты активного и пассивного давления от грунта  $\xi_y$  и от нагрузки  $\xi_z$  на засыпке.

П.И. Яковлевым на основе ТТПНС алгоритм расчета разработан для случая сейсмических воздействий. Отсутствие сейсмических воздействий рассматривается как частный случай полученного решения.

Ранее для пологих стенок были составлены таблицы [2] и графики [3] при отсутствии сейсмичности и при сейсмичности 7, 8 и 9 баллов. В настоящей статье предлагаются таблицы, в которых сейсмичность отсутствует, однако для этого случая объем их значительно расширен, в сравнении с ранее опубликованными [2], и охватывают все встречающиеся в инженерной практике случаи расчета пологих стенок.

Недостаточно исследованным остается вопрос о критериях пологости стенок. Мнения исследователей в этом вопросе расходятся.

По теории предельного напряженного состояния [14; 15] критерием служит значение угла  $\Theta_1$ : при угле наклона стенки к вертикали  $\alpha > \Theta_1$  стенка считается полой:

$$\theta_1 = \left[ \arccos \frac{\sin(\omega + \beta)}{\sin \varphi} - \varphi + \beta - \omega \right], \quad (1)$$

где  $\beta$  - угол наклона поверхности засыпки к горизонтали.

Здесь критерий В.В. Соколовского-С.С. Голушкевича распространен П.И. Яковлевым на случай сейсмических воздействий. В частном случае при отсутствии сейсмичности в формулу подставляется  $\omega = 0$ .

Надежные опытные данные по проверке приведенного теоретического критерия отсутствуют.

По Г.К. Клейну [16] в случае горизонтальной поверхности засыпки к пологим относятся подпорные стены, у которых задняя грань составляет с вертикалью угол

$$\alpha > \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} - \frac{\delta}{2}, \quad (2)$$

где  $\delta$  - угол трения засыпки по подпорной стене.

И.П. Прокофьевым [17] предложен критерий, по которому стенки считаются пологими при  $\alpha > \Theta_1$ :

$$\theta_1 = \arctg \frac{\cos \varphi \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos \beta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta} - \cos \varphi \cdot \cos(\varphi - \beta)} \quad (3)$$

Такой критерий предлагался также Г.А. Дуброва и некоторыми другими исследователями. Так, П.Л. Иванов отмечал [18], что известная формула для определения бокового давления на стенку в общем случае на основе теории о плоской поверхности скольжения [ $\xi_y = f(\varphi, \alpha, \beta, \delta)$ ] неприменима "для стен с очень полой задней гранью (при  $\alpha > 70 - 65^\circ$ ).

В стенках с очень полой гранью смещение грунта происходит не по поверхности контакта стены с грунтом, а по поверхности скольжения, проходящей внутри массива грунта, а оставшаяся часть грунта перемещается вместе со стенкой". Теоретическое обоснование всех этих критериев отсутствует; недостаточно подтверждены они и опытами.

Используя полученный алгоритм [1-3] разработана новая программа вычисления  $\Theta_1$ ,  $\eta$ ,  $\xi_y$  и  $\xi_q$  и составлены предлагаемые таблицы этих углов и коэффициентов активного давления и пассивного сопротивления грунта. В таблицах  $\eta$  - угол отклонения направления полного давления на стенку от

нормали к стенке (при положительном знаке этот угол откладывается против часовой стрелки от нормали, проведенной в сторону засыпки; при отрицательном – по часовой стрелке).

Вычисленные значения коэффициентов и углов  $\xi_y$ ,  $\xi_q$ ,  $\eta$  и  $\Theta_1$  помещены в табл. 1-3. Все таблицы соответствуют случаю пологих стенок при  $\omega = 0$ .

По аналогии с ранее составленными таблицами для сейсмичности 7, 8 и 9 баллов [2], используя полученный алгоритм [1-3] без каких-либо затруднений можно составить подробные таблицы для пологих стенок и для сейсмичности 7, 8 и 9 баллов.

Наличие таблиц позволяет сразу же, используя ранее полученные формулы [1-3], с достаточной точностью вычислить равнодействующие  $E_G$ ,  $E_p$  и  $E$  и построить эпюры давления на стенку:

$$\left. \begin{aligned} E = E_G + E_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 \xi_\gamma + q h \xi_q; \quad a_z = \gamma z \xi_\gamma + q \xi_q; \\ a_{z, \text{гор}} = \gamma z \xi_\gamma \cos(\alpha + \eta) + q \xi_q \cos(\alpha + \eta), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $a_z$  - полное давление на глубине  $z$  от верха стенки, отнесенное к вертикальной проекции стенки  $h$ ;

$a_{z, \text{гор}}$  - горизонтальная составляющая полного давления на глубине  $z$  от верха стенки, отнесенная к вертикальной проекции  $h$ .

Заметим, что ранее были выполнены обширные лабораторные исследования давления грунта на стенку, имеющую наклон  $45^\circ$  [13]. Опыты показали, что взаимодействие модели сооружения с засыпкой в рассмотренном случае (ранее были выполнены аналогичные опыты со стенкой, наклоненной под углом  $11^\circ 10'$ ,  $22^\circ 20'$ , и  $33^\circ 30'$ ) соответствует схеме, которую принято называть полой стенкой. Однако в настоящей статье задача о сопоставлении полученных экспериментальных данных с расчетными не ставилась.

Давление засыпки на стенки с наклонной задней гранью на основе теории Кулона определяется без каких либо ограничений. При этом для стенки любого наклона считается, что задняя грань ее является поверхностью скольжения. Теория предельного напряженного состояния указывает на то, что при некоторых условиях в засыпке возникает внутренняя поверхность скольжения и грунт, находящийся между стенкой и этой поверхностью, находится в допредельном состоянии. Игнорирование этого обстоятельства теорией Кулона приводит к тому, что при больших углах наклона можно получить абсурдные величины давлений грунта на стенки.

В последние годы начинают широко применять подпорные стенки и причальные сооружения уголкового конструктива. При расчете уголкового стенки приводят обычно к пологим.

Хотя в литературе и приводятся некоторые довольно расплывчатые указания о границах применимости теории Кулона, однако мы этим заниматься не будем, полагая, что в пологих стенках целесообразно вообще отказаться от применения метода Кулона и воспользоваться более строгими

методами как в обычных случаях, так и при наличии сейсмических воздействий, где погрешности, даваемые методом Кулона, могут возрасти. Для решения поставленной задачи воспользуемся технической теорией предельного напряженного состояния.

Таблица 1. - Коэффициенты активного давления и значение угла  $\eta$  при отсутствии сейсмичности для пологих стенок.

$\varphi$	$\alpha, ^\circ$	$\beta$								
		$30^\circ$			$25^\circ$			$20^\circ$		
		$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$
$25^\circ$	60							3,58	2,20	7,7
	55							2,86	1,88	10,5
	50							2,34	1,63	13,2
	45							1,96	1,44	15,8
	40							1,66	1,27	18,3
	35							1,42	1,13	20,4
	30							1,23	1,02	22,3
	25							1,06	0,91	23,8
	20							0,93	0,82	24,7
$30^\circ$	60				4,07	2,26	9,0	3,36	2,06	12,1
	55				3,20	1,92	12,3	2,65	1,75	15,2
	50				2,59	1,67	15,4	2,15	1,50	18,2
	45				2,14	1,46	18,4	1,78	1,31	21,0
	40				1,79	1,29	21,2	1,49	1,14	23,6
	35				1,51	1,14	23,7	1,26	1,00	25,9
	30				1,29	1,01	26,0	1,07	0,88	27,8
	25				1,10	0,90	27,9	0,91	0,78	29,2
	20				0,94	0,80	29,3	0,78	0,68	30,0
$35^\circ$	60	4,60	2,30	10,6	3,78	2,09	13,5	3,21	1,97	15,6
	55	3,57	1,96	14,2	2,95	1,77	17,0	2,52	1,66	18,9
	50	2,85	1,69	17,6	2,36	1,52	20,3	2,03	1,42	22,2
	45	2,33	1,48	20,9	1,93	1,32	23,5	1,67	1,22	25,3
	40	1,92	1,30	24,1	1,60	1,15	26,5	1,38	1,06	28,1
	35	1,60	1,14	27,0	1,33	1,00	29,2	1,15	0,92	30,7
	30	1,34	1,01	29,7	1,11	0,88	31,6	0,97	0,80	32,8
	25	1,13	0,89	32,0	0,93	0,77	33,5	0,81	0,69	34,3
	20	0,95	0,78	33,8	0,78	0,67	34,7	0,68	0,60	35,0

	15	0,79	0,68	34,8						
40°	60	4,23	2,12	15,1	3,60	1,99	16,9	3,11	1,91	18,4
	55	3,25	1,79	18,8	2,79	1,67	20,6	2,43	1,60	22,1
	50	2,58	1,53	22,5	2,22	1,43	24,2	1,94	1,36	25,6
	45	2,08	1,32	26,0	1,80	1,23	27,7	1,58	1,16	29,0
	40	1,70	1,15	29,3	1,47	1,06	30,9	1,30	1,00	32,1
	35	1,40	1,00	32,4	1,21	0,92	33,9	1,08	0,86	34,9
	30	1,16	0,87	35,2	1,00	0,79	36,4	0,89	0,74	37,3
	25	0,95	0,75	37,5	0,83	0,68	38,5	0,74	0,63	39,1
	20	0,78	0,65	39,2	0,68	0,58	39,8	0,60	0,53	40,0
	15	0,63	0,55	40,0						
45°	60	4,00	2,00	18,4	3,47	1,92	19,8	3,03	1,86	20,9
	55	3,06	1,68	22,4	2,67	1,61	23,7	2,36	1,55	24,8
	50	2,41	1,43	26,3	2,12	1,36	27,5	1,88	1,31	28,6
	45	1,93	1,22	30,0	1,70	1,16	31,2	1,52	1,12	32,2
	40	1,56	1,05	33,6	1,39	1,00	34,7	1,25	0,96	35,6
	35	1,27	0,91	36,9	1,13	0,86	37,9	1,02	0,82	38,8
	30	1,04	0,78	39,9	0,93	0,73	40,8	0,84	0,69	41,5
	25	0,84	0,66	42,4	0,75	0,62	43,1	0,68	0,58	43,6
	20	0,68	0,56	44,3	0,60	0,52	44,7	0,55	0,49	44,9

Продолжение табл. 1

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$								
		15°			10°			5°		
		$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$
10°	60							2,29	1,99	5,0
	55							1,92	1,71	6,2
	50							1,65	1,50	7,4
	45							1,45	1,33	8,3
	40							1,29	1,20	9,1
	35							1,16	1,09	9,7
	30							1,05	1,00	10,0
15°	60				2,69	2,06	5,6	2,21	1,92	8,9

	55				2,22	1,77	7,5	1,84	1,63	10,5
	50				1,87	1,55	9,3	1,56	1,42	12,0
	45				1,61	1,37	10,9	1,35	1,24	13,2
	40				1,41	1,23	12,3	1,19	1,10	14,2
	35				1,24	1,11	13,5	1,05	0,99	14,8
	30				1,11	1,01	14,4			
	25				1,00	0,92	14,9			
20 <sup>0</sup>	60	3,12	2,14	6,5	2,57	1,97	9,8	2,15	1,87	12,2
	55	2,53	1,83	8,9	2,10	1,68	12,0	1,78	1,58	14,2
	50	2,10	1,59	11,2	1,75	1,45	14,1	1,50	1,36	16,1
	45	1,78	1,41	13,4	1,49	1,27	16,0	1,28	1,18	17,7
	40	1,53	1,25	15,3	1,28	1,12	17,6	1,11	1,03	18,9
	35	1,33	1,12	17,0	1,12	1,00	18,8	0,97	0,91	19,7
	30	1,17	1,01	18,4	0,98	0,89	19,7			
	25	1,03	0,92	19,4	0,87	0,80	20,0			
	20	0,91	0,83	20,0						
25 <sup>0</sup>	60	2,96	2,02	10,8	2,49	1,91	13,2	2,11	1,83	15,1
	55	2,37	1,71	13,6	2,02	1,61	15,8	1,73	1,54	17,6
	50	1,95	1,48	16,1	1,67	1,38	18,2	1,45	1,31	19,8
	45	1,63	1,29	18,5	1,41	1,20	20,4	1,23	1,13	21,8
	40	1,39	1,13	20,7	1,20	1,05	22,2	1,05	0,98	23,4
	35	1,19	1,00	22,5	1,03	0,92	23,7	0,91	0,86	24,5
	30	1,03	0,89	23,9	0,89	0,81	24,7	0,79	0,75	25,0
	25	0,89	0,79	24,8						
30 <sup>0</sup>	60	2,85	1,94	14,3	2,43	1,86	16,1	2,08	1,81	17,6
	55	2,26	1,64	17,3	1,96	1,56	19,0	1,70	1,51	20,5
	50	1,85	1,40	20,2	1,61	1,33	21,8	1,41	1,28	23,1
	45	1,54	1,21	22,9	1,35	1,15	24,3	1,19	1,09	25,5
	40	1,29	1,05	25,3	1,14	0,99	26,5	1,01	0,94	27,5
	35	1,09	0,92	27,3	0,97	0,86	28,3	0,86	0,81	29,0
	30	0,93	0,80	28,9	0,82	0,75	29,5	0,74	0,70	29,9
	25	0,79	0,70	29,8	0,70	0,65	30,0			
35 <sup>0</sup>	60	2,77	1,89	17,2	2,39	1,83	18,6	2,06	1,79	19,9

	55	2,19	1,58	20,5	1,91	1,53	21,9	1,67	1,49	23,1
	50	1,78	1,35	23,7	1,57	1,29	25,0	1,39	1,25	26,1
	45	1,47	1,16	26,7	1,30	1,11	27,9	1,16	1,07	28,9
	40	1,22	1,00	29,4	1,09	0,95	30,4	0,98	0,91	31,3
	35	1,02	0,86	31,7	0,92	0,82	32,6	0,83	0,78	33,3
	30	0,86	0,74	33,6	0,77	0,70	34,2	0,70	0,67	34,6
	25	0,72	0,64	34,7	0,65	0,60	35,0			
40°	60	2,71	1,85	19,7	2,36	1,81	20,8	2,04	1,77	21,8
	55	2,13	1,54	23,3	1,88	1,50	24,4	1,65	1,47	25,4
	50	1,72	1,31	26,8	1,53	1,27	27,8	1,37	1,24	28,8
	45	1,41	1,11	30,1	1,27	1,08	31,0	1,14	1,05	31,9
	40	1,17	0,95	33,1	1,06	0,92	34,0	0,96	0,89	34,8
	35	0,97	0,82	35,8	0,88	0,78	36,5	0,80	0,76	37,2
	30	0,81	0,70	38,0	0,73	0,67	38,5	0,67	0,64	39,0
	25	0,67	0,59	39,5	0,61	0,56	39,8	0,56	0,54	40,0
45°	60	2,66	1,82	21,8	2,33	1,79	22,7	2,03	1,76	23,5
	55	2,09	1,51	25,7	1,85	1,48	26,6	1,64	1,46	27,4
	50	1,68	1,28	29,5	1,51	1,25	30,3	1,35	1,22	31,1
	45	1,37	1,08	33,1	1,24	1,06	33,8	1,12	1,03	34,6
	40	1,13	0,92	36,4	1,03	0,90	37,1	0,94	0,88	37,8
	35	0,93	0,79	39,5	0,85	0,76	40,1	0,78	0,74	40,7
	30	0,77	0,66	42,1	0,71	0,64	42,6	0,65	0,62	43,1
	25	0,63	0,56	44,1	0,58	0,53	44,4	0,54	0,51	44,6
	20	0,50	0,46	45,0						

Продолжение табл. 1

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$								
		$0^0$			$-5^0$			$-10^0$		
		$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$
10°	60	1,87	1,87	7,9	1,52	1,79	9,7			
	55	1,59	1,59	8,8	1,32	1,51	10,0			
	50	1,38	1,38	9,4						
	45	1,22	1,22	9,9						

15 <sup>0</sup>	60	1,83	1,83	11,2	1,50	1,76	13,1	1,19	1,71	14,6
	55	1,54	1,54	12,6	1,29	1,48	14,1	1,07	1,43	15,0
	50	1,33	1,33	13,7	1,13	1,26	14,8			
	45	1,16	1,16	14,5	1,00	1,10	15,0			
	40	1,02	1,02	14,9						
20 <sup>0</sup>	60	1,80	1,80	14,2	1,48	1,75	16,0	1,19	1,71	17,7
	55	1,51	1,51	16,1	1,27	1,46	17,6	1,06	1,41	18,9
	50	1,29	1,29	17,6	1,11	1,24	18,9	0,94	1,19	19,7
	45	1,11	1,11	18,9	0,97	1,06	19,7			
	40	0,97	0,97	19,7	0,85	0,92	20,0			
25 <sup>0</sup>	60	1,78	1,78	16,8	1,47	1,74	18,4	1,18	1,70	20,0
	55	1,48	1,48	19,1	1,26	1,44	20,6	1,05	1,41	22,0
	50	1,26	1,26	21,2	1,09	1,22	22,4	0,93	1,18	23,5
	45	1,08	1,08	22,9	0,95	1,04	23,8	0,83	1,00	24,6
	40	0,93	0,93	24,2	0,83	0,89	24,8	0,73	0,86	25,0
	35	0,81	0,81	24,9						
30 <sup>0</sup>	60	1,76	1,76	19,1	1,47	1,73	20,5	1,19	1,71	21,9
	55	1,47	1,47	21,9	1,25	1,43	23,2	1,05	1,41	24,4
	50	1,24	1,24	24,4	1,08	1,20	25,5	0,93	1,18	26,6
	45	1,05	1,05	26,6	0,93	1,02	27,5	0,82	0,99	28,4
	40	0,90	0,90	28,3	0,81	0,87	29,0	0,72	0,84	29,6
	35	0,78	0,78	29,5	0,70	0,74	29,9			
35 <sup>0</sup>	60	1,75	1,75	21,1	1,47	1,73	22,3	1,19	1,71	23,5
	55	1,45	1,45	24,3	1,25	1,43	25,4	1,05	1,41	26,5
	50	1,22	1,22	27,2	1,07	1,20	28,2	0,93	1,17	29,2
	45	1,04	1,04	29,8	0,92	1,01	30,7	0,81	0,99	31,6
	40	0,88	0,88	32,1	0,79	0,86	32,8	0,71	0,83	33,5
	35	0,75	0,75	33,8	0,68	0,72	34,3	0,61	0,70	34,7
	30	0,64	0,64	34,9	0,58	0,61	35,0			
40 <sup>0</sup>	60	1,74	1,74	22,8	1,46	1,72	23,8	1,19	1,71	24,8
	55	1,44	1,44	26,3	1,25	1,42	27,3	1,05	1,41	28,2
	50	1,21	1,21	29,7	1,07	1,19	30,5	0,93	1,17	31,4
	45	1,02	1,02	32,7	0,92	1,00	33,5	0,81	0,99	34,3



	40	0,87	0,87	35,5	0,78	0,85	36,2	0,71	0,83	36,8
	35	0,73	0,73	37,8	0,67	0,71	38,3	0,61	0,69	38,8
	30	0,62	0,62	39,4	0,57	0,60	39,7	0,52	0,58	39,9
45 <sup>0</sup>	60	1,74	1,74	24,3	1,46	1,72	25,1	1,19	1,71	26,0
	55	1,44	1,44	28,2	1,25	1,42	28,9	1,06	1,41	29,7
	50	1,20	1,20	31,8	1,06	1,19	32,5	0,93	1,18	33,3
	45	1,01	1,01	35,3	0,91	1,00	36,0	0,81	0,99	36,6
	40	0,86	0,86	38,4	0,78	0,84	39,1	0,70	0,83	39,7
	35	0,72	0,72	41,2	0,66	0,71	41,8	0,61	0,69	42,3
	30	0,60	0,60	43,5	0,56	0,59	43,8	0,51	0,57	44,2
	25	0,50	0,50	44,8	0,46	0,48	44,9	0,43	0,47	45,0

Продолжение табл. 1

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$								
		$-15^0$			$-20^0$			$-25^0$		
		$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_q$	$\eta$
20 <sup>0</sup>	60	0,90	1,68	19,3						
	55	0,85	1,38	19,9						
25 <sup>0</sup>	60	0,90	1,68	21,7	0,62	1,67	23,5			
	55	0,85	1,38	23,3	0,65	1,36	24,5			
	50	0,78	1,15	24,4	0,64	1,12	25,0			
	45	0,71	0,97	25,0						
30 <sup>0</sup>	60	0,91	1,69	23,4	0,62	1,68	25,1	0,33	1,69	27,1
	55	0,86	1,39	25,8	0,66	1,37	27,2	0,46	1,37	28,7
	50	0,79	1,15	27,7	0,64	1,13	28,8	0,50	1,12	29,7
	45	0,71	0,97	29,2	0,60	0,94	29,8			
	40	0,63	0,81	29,9						
35 <sup>0</sup>	60	0,91	1,70	24,8	0,63	1,69	26,2	0,33	1,70	27,9
	55	0,86	1,39	27,7	0,67	1,38	29,0	0,46	1,38	30,4
	50	0,79	1,16	30,3	0,65	1,14	31,4	0,50	1,13	32,6
	45	0,71	0,97	32,5	0,60	0,95	33,3	0,50	0,93	34,2
	40	0,63	0,81	34,1	0,55	0,79	34,6	0,47	0,77	35,0
	35	0,55	0,68	34,9						

40°	60	0,91	1,70	25,9	0,63	1,70	27,1	0,33	1,71	28,4
	55	0,86	1,40	29,3	0,67	1,39	30,3	0,47	1,39	31,6
	50	0,79	1,16	32,4	0,65	1,15	33,3	0,51	1,15	34,4
	45	0,71	0,97	35,2	0,61	0,96	36,0	0,51	0,95	36,9
	40	0,63	0,81	37,5	0,55	0,80	38,2	0,48	0,78	38,8
	35	0,55	0,68	39,2	0,49	0,66	39,6	0,43	0,64	39,9
	30	0,47	0,56	40,0						
45°	60	0,92	1,71	26,8	0,63	1,71	27,7	0,33	1,71	28,8
	55	0,87	1,40	30,5	0,67	1,40	31,4	0,47	1,40	32,4
	50	0,79	1,17	34,1	0,66	1,16	34,9	0,51	1,16	35,8
	45	0,71	0,97	37,4	0,61	0,96	38,1	0,51	0,96	38,9
	40	0,63	0,81	40,3	0,56	0,80	41,0	0,48	0,79	41,7
	35	0,55	0,68	42,7	0,50	0,67	43,2	0,44	0,65	43,8
	30	0,47	0,56	44,5	0,43	0,54	44,7	0,39	0,53	44,9

Таблица 2. - Коэффициенты пассивного давления и значение угла  $\eta$  при отсутствии сейсмичности для пологих стенок.

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$								
		0°			-5°			-10°		
		$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$	$\xi_y$	$\xi_q$	$\eta$
10°	60	2,24	2,24	-9,4	1,69	1,99	-5,0			
	55	2,01	2,01	-9,8	1,55	1,77	-6,6			
	50				1,45	1,62	-8,0			
	45				1,38	1,52	-9,0			
	40				1,34	1,44	-9,6			
	35				1,31	1,39	-10,0			
15°	60	2,42	2,42	-14,4	1,80	2,12	-10,8	1,28	1,85	-2,7
	55	2,22	2,22	-14,9	1,69	1,93	-12,7	1,23	1,64	-6,0
	50				1,62	1,81	-14,0	1,19	1,51	-8,9
	45				1,57	1,72	-14,8	1,17	1,42	-11,3
	40							1,17	1,37	-13,1
	35							1,18	1,35	-14,3
	30							1,20	1,34	-14,9

20°	60	2,67	2,67	-19,7	1,96	2,31	-16,7	1,36	1,96	-9,6
	55				1,88	2,15	-18,6	1,34	1,79	-13,5
	50				1,84	2,05	-19,7	1,34	1,70	-16,5
	45							1,36	1,65	-18,5
	40							1,39	1,63	-19,6
	35							1,43	1,63	-20,0
25°	60	3,01	3,01	-24,9	2,17	2,56	-22,7	1,47	2,12	-16,5
	55				2,13	2,44	-24,4	1,50	2,01	-20,6
	50				2,12	2,37	-25,0	1,55	1,96	-23,2
	45							1,60	1,94	-24,6
30°	60				2,47	2,91	-28,7	1,64	2,35	-23,7
	55				2,47	2,83	-29,9	1,72	2,30	-27,4
	50							1,82	2,30	-29,4
	45							1,92	2,32	-30,0
35°	60				2,88	3,39	-34,5	1,87	2,69	-30,8
	55							2,03	2,71	-33,9
	50							2,19	2,77	-35,0
40°	60				3,45	4,06	-40,0	2,21	3,18	-37,7
	55							2,46	3,29	-39,7
45°	60							2,71	3,90	-44,1

Продолжение табл. 2

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$								
		-15°			-20°			-25°		
		$\xi_{\gamma}$	$\xi_{\alpha}$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_{\alpha}$	$\eta$	$\xi_{\gamma}$	$\xi_{\alpha}$	$\eta$
20°	60	0,92	1,71	2,2						
	55	0,93	1,50	-3,0						
	50	0,93	1,37	-7,9						
	45	0,95	1,30	-12,1						
	40	0,99	1,27	-15,5						
	35	1,03	1,27	-17,8						
	30	1,09	1,28	-19,3						
	25	1,15	1,31	-19,9						

25 <sup>0</sup>	60	0,96	1,78	-5,3	0,60	1,63	9,8			
	55	1,00	1,62	-11,9	0,66	1,37	2,9			
	50	1,06	1,55	-17,2	0,70	1,23	-4,3			
	45	1,12	1,53	-21,1	0,74	1,16	-11,1			
	40	1,20	1,55	-23,5	0,80	1,15	-16,6			
	35	1,29	1,58	-24,7	0,87	1,16	-20,6			
	30				0,95	1,20	-23,3			
	25				1,04	1,26	-24,6			
30 <sup>0</sup>	60	1,02	1,89	-13,1	0,61	1,64	3,1	0,31	1,62	19,6
	55	1,12	1,81	-20,4	0,69	1,44	-6,8	0,43	1,29	12,1
	50	1,23	1,81	-25,5	0,78	1,37	-15,5	0,49	1,10	2,7
	45	1,35	1,84	-28,4	0,88	1,38	-22,2	0,54	1,02	-7,2
	40	1,47	1,90	-29,8	0,99	1,43	-26,5	0,61	1,00	-15,8
	35				1,12	1,50	-29,0	0,70	1,04	-22,4
	30				1,25	1,58	-30,0	0,81	1,10	-26,7
35 <sup>0</sup>	60	1,12	2,08	-21,5	0,62	1,68	-4,6	0,31	1,60	15,6
	55	1,29	2,09	-28,7	0,76	1,58	-16,8	0,44	1,30	3,3
	50	1,47	2,16	-32,8	0,91	1,60	-25,7	0,53	1,19	-9,9
	45	1,65	2,25	-34,7	1,07	1,69	-31,2	0,64	1,20	-20,9
	40				1,25	1,80	-34,0	0,77	1,27	-28,3
	35				1,43	1,92	-35,0	0,93	1,38	-32,6
40 <sup>0</sup>	60	1,27	2,37	-30,2	0,66	1,77	-13,7	0,31	1,58	10,6
	55	1,54	2,49	-36,5	0,87	1,80	-26,9	0,45	1,35	-7,0
	50	1,81	2,65	-39,4	1,10	1,94	-34,8	0,60	1,36	-22,3
	45				1,35	2,12	-38,7	0,79	1,48	-32,3
	40				1,60	2,29	-40,0	1,00	1,65	-37,5
45 <sup>0</sup>	60	1,52	2,82	-38,8	0,73	1,96	-24,0	0,30	1,57	3,9
	55	1,91	3,09	-43,6	1,04	2,17	-36,8	0,49	1,48	-18,8
	50	2,28	3,35	-45,0	1,38	2,44	-42,8	0,73	1,65	-34,0
	45				1,73	2,72	-44,9	1,02	1,90	-41,6

Таблица 3. - Значение угла  $\theta_1$  при отсутствии сейсмичности для пологих стенок.

$\varphi$	$\beta, ^\circ$												
	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$10^\circ$					0,0	27,5	40,0	52,6	80,1				
$15^\circ$				0,0	21,4	30,2	37,5	44,9	53,6	75,1			
$20^\circ$			0,0	17,9	24,8	30,1	35,0	39,9	45,3	52,1	70,1		
$25^\circ$		0,0	15,5	21,1	25,4	29,1	32,5	36,0	39,7	43,9	49,6	65,1	
$30^\circ$	0,0	13,7	18,4	21,9	24,9	27,5	30,0	32,5	35,2	38,1	41,6	46,4	60,1
$35^\circ$	12,2	16,3	19,2	21,6	23,7	25,7	27,5	29,4	31,3	33,4	35,8	38,8	42,9
$40^\circ$	14,5	17,0	18,9	20,7	22,2	23,6	25,0	26,4	27,9	29,4	31,1	33,1	35,6
$45^\circ$	15,0	16,7	18,1	19,3	20,4	21,5	22,5	23,6	24,6	25,8	27,0	28,4	30,0

## Литература

1. Яковлев П.И. Исследование и разработка методов расчета портовых гидротехнических сооружений на основе технической теории предельного напряженного состояния грунтовой среды: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Л., 1981. – 40 с.
2. Яковлев П.И. Устойчивость транспортных гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1986. – 191 с.
3. Яковлев П.И. Несущая способность оснований портовых сооружений. – М.: Транспорт, 1978. – 207 с.
4. Яковлев П.И., Бибичков А.Г., Бибичков А.А. Взаимодействие сооружений с грунтом. – М.: Недра, 1997. – 464 с.
5. Яковлев П.И. Определение активного и пассивного давления грунта на пологие стенки в сейсмических условиях//Гр. координационных совещаний по гидротехнике. Динамические расчеты воднотранспортных сооружений. – Л., 1971, вып. № 66. – С. 168 – 173.
6. Яковлев П.И. Применение теории предельного напряженного состояния к определению коэффициентов бокового давления пологих стенок в сейсмических условиях//Основания и фундаменты: Респ. межвед. сб. – Киев: Будивельник, 1975, вып. №9. – С. 93 – 98.
7. Яковлев П.И. Коэффициенты активного и пассивного давления грунта на стенки в сейсмических условиях по теории предельного напряженного состояния//Научные труды Морские порты. – М.: изд. Рекламинформбюро ММФ, 1976, вып. 9. – С. 26 – 31.
8. Яковлев П.И. Расчет активного и пассивного давления грунта по теории предельного напряженного состояния с помощью коэффициентов бокового давления//Основания и фундаменты: Респ. межвед. сб. – Киев: Будивельник, 1975, вып. 8. – С. 154 – 160.
9. Яковлев П.И. Инженерный метод определения активного давления и пассивного сопротивления грунта на гидротехнические сооружения в общем случае при наличии сейсмических воздействий и при их отсутствии на основе технической теории предельного напряженного состояния//Научные труды Инженерные сооружения и оборудование морских портов. – М.: изд. Мортехинформреклама, 1985. – С. 7 – 11.
10. Яковлев П.И. К определению пассивного давления грунта на подпорную стенку//Строительная механика и расчет сооружений. – 1968, №4. – С. 14 – 17.
11. Яковлев П.И. Предельное напряженное состояние связного клина в сейсмических условиях//АН УССР. Отделение математики, механики и кибернетики. Прикладная механика. – 1974, т. 10, вып. 4. – С. 77-85.
12. Яковлев П.И. О предельном напряженном состоянии сыпучего клина//Строительная механика и расчет сооружений. – 1973, № 1. – С. 24 – 27.
13. Яковлев П.И. Напряженное состояние засыпки и давление грунта на пологие стенки//Гидротехническое строительство. – 1974, № 12. – С. 26 – 29.
14. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960. – 243 с.
15. Голушкевич С.С. Статика предельных состояний грунтовых масс. – М.: Гостехиздат, 1957. – 288 с.
16. Клейн Г.К. Расчет подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.
17. Прокофьев И.П. Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1947. – 143 с.
18. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. – М.: Высшая школа, 1991. – 447 с.