

**ПРЕДЕЛЫ ДОПУСТИМОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КОЭФФИЦИЕНТОВ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО  
ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА СТЕНКИ ПО КЛАССИЧЕСКОЙ  
ТЕОРИИ КУЛОНА**

**Яковлев П. И., Ганин Г. Г., Петросян В. Н., Карпюк В. М.,  
Холодов В. Д. (Одесса)**

**Пределы допустимости применения классической теории Кулона для общего случая определения активного и пассивного давления на наклонные шероховатые стенки при наклонной поверхности грунта при отсутствии и при наличии сейсмических воздействий до настоящего времени не установлены. В статье приводятся рекомендации по рассматриваемому вопросу.**

Поставленную задачу можно решить, сравнивая в широком диапазоне таблицы коэффициентов активного и пассивного давления, составленные на основе теории Кулона (классическая формула Мюллера-Бреслау [1,2,3]), с коэффициентами, определенными на основе более обоснованной теории предельного напряженного состояния. Замкнутые выражения для коэффициентов на основе этой теории не получены, а таблицы этих коэффициентов опубликованы только для узкого спектра исходных параметров [4]. Поэтому, для сравнения необходимо использовать таблицы коэффициентов, составленные на основе технической теории предельного напряжённого состояния грунтовой среды (ТТПНС) для случая отсутствия сейсмических воздействий и с учетом сейсмических воздействий 7,8 и 9 баллов [5-8].

На основе технической теории были получены замкнутые выражения для коэффициентов для каждого из возможных случаев (крутая стенка с непрерывным напряжённым состоянием; крутая стенка с разрывным напряжённым состоянием; пологая стенка) [5,9-14]. При этом, отсутствие сейсмических воздействий всегда рассматривалось как частный случай полученного общего решения.

Таблицы на основе ТТПНС составлены для углов внутреннего трения  $\varphi$  от  $20^\circ$  до  $45^\circ$  с шагом  $5^\circ$ ; для углов наклона стенки от  $+30^\circ$  до



$-20^\circ$  с шагом  $10^\circ$ ; для углов наклона поверхности грунта  $\beta$  от  $+20^\circ$  до  $-20^\circ$  с шагом  $10^\circ$  и для углов трения грунта о стенку  $\delta = 0; 0,25\varphi; 0,5\varphi; 0,75\varphi$  и  $\varphi$ .

Такие же подробные таблицы, содержащие все указанные исходные параметры на основе теории Кулона, в литературе до сих пор не были опубликованы. Хотя заметим, что СНиП [15] в приложении 1 разрешал принимать коэффициенты бокового давления «...по таблицам, составленным...» по классической формуле для общего случая стенки на основе теории Кулона.

Учитывая изложенное, используя классическую формулу Кулона, были составлены таблицы коэффициентов активного и пассивного давления, содержащие все перечисленные исходные параметры, разработанные на основе ТТПНС.

Имея таблицы, составленные на основе формул ТТПНС и теории Кулона, были составлены сводные таблицы коэффициентов  $n$ , равных отношению коэффициентов активного и пассивного давления, определенных по ТТПНС, к коэффициентам активного и пассивного давления, найденных по Кулону. Объем статьи не позволяет опубликовать таблицы, составленные на основе теории Кулона и сводные таблицы. Поэтому ограничимся несколькими суждениями по сводным таблицам.

Классическая теория Кулона совпадает с ТТПНС при определении коэффициентов активного давления для идеально гладкой вертикальной тыльной грани стенки при горизонтальной поверхности засыпки ( $\delta = \alpha = \beta = 0$ ). Для негладкой поверхности ( $\delta \neq 0, \alpha = \beta = 0$ ) погрешность составляет не более 7%.

В целом, по мере возрастания  $\varphi$  при прочих равных условиях погрешность увеличивается.

Для случая пассивного давления погрешности теории Кулона минимальны при небольших углах  $\varphi$  при  $\delta = \alpha = \beta = 0$ .

На основе выполненного анализа можно сформулировать следующие предложения:

1. Классической теорией Кулона (формулами и таблицами) предлагается пользоваться, если найденный коэффициент  $n$  находится в пределах  $0,93 \leq n \leq 1,07$ .

2. При других значениях коэффициента  $n$  следует пользоваться таблицами [5], составленными на основе ТТПНС.

3. При отсутствии в этих таблицах параметров рассчитываемой стенки определение коэффициентов активного или пассивного давления необходимо выполнять с использованием замкнутых выражений, полученных на основе ТТПНС [5,9-14]. После определения коэффици-



ента  $n$  расчёт стенки выполняется на основе теории Кулона или ТТПНС.

Фрагмент сводных таблиц для коэффициентов  $n$   
(активное давление при  $\delta = \varphi = 40^\circ$ )

Таблица 1

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$									
		$20^\circ$		$10^\circ$		$0^\circ$		$-10^\circ$		$-20^\circ$	
		$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$
	$30^\circ$	0,945	0,945	0,972	0,972	0,989	0,989	0,998	0,999	1,001	1,000
	$20^\circ$	1,000	0,999	1,000	1,000	1,001	1,001	1,001	1,002	1,006	1,005
$40^\circ$	$10^\circ$	1,002	1,003	1,005	1,007	1,011	1,014	1,021	1,022	1,036	1,036
	$0^\circ$	1,018	1,033	1,032	1,050	1,047	1,066	1,070	1,086	1,104	1,110
	$-10^\circ$	1,054	1,119	1,086	1,158	1,127	1,197	1,170	1,238	1,244	1,280
	$-20^\circ$	1,101	1,347	1,164	1,433	1,279	1,505	1,334	1,585	1,518	1,662

Фрагмент сводных таблиц для коэффициентов  $n$   
(пассивное давление при  $\delta = 0,25\varphi$ )

Таблица 2

$\varphi$	$\alpha$	$\beta$									
		$20^\circ$		$10^\circ$		$0^\circ$		$-10^\circ$		$-20^\circ$	
		$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$	$\epsilon_\gamma$	$\epsilon_q$
	$30^\circ$	0,791	0,775	0,794	0,802	0,809	0,742	0,860	0,690	0,953	0,671
	$20^\circ$	0,83	0,749	0,863	0,854	0,866	0,854	0,892	0,805	0,966	0,766
$45^\circ$	$10^\circ$	0,76	0,60	0,90	0,830	0,932	0,927	0,936	0,924	0,978	0,887
	$0^\circ$	0,50	0,33	0,83	0,68	0,975	0,912	1,000	0,999	1,009	1,022
	$-10^\circ$	0,08	0,04	0,55	0,38	0,91	0,76	1,054	1,001	1,073	1,141
	$-20^\circ$	0,5	0,19	0,09	0,05	0,62	0,43	1,01	0,85	1,144	1,106

4. При необходимости определения коэффициентов активного или пассивного давления с учётом сейсмических воздействий для определения коэффициента  $n$  предлагается пользоваться известными классическими выражениями, полученными для этих условий на основе теории Кулона [16-17] и таблицами, составленными на основе ТТПНС [5]. Если найденный коэффициент  $n$  находится в пределах  $0,93 \leq n \leq 1,07$ , расчёт допустимо вести на основе теории Кулона.

При других значениях коэффициента  $n$  следует пользоваться таблицами [5], составленными на основе ТТПНС.



При отсутствии в таблицах [5] параметров рассчитываемой стенки коэффициенты активного и пассивного давления определяются с использованием замкнутых выражений, полученных на основе ТТПНС для сейсмических условий [5,9-14]. После определения коэффициента  $n$  расчёт стенки выполняется на основе теории Кулона или ТТПНС.

5. Во многих учебниках и монографиях содержатся указания о границах применимости теории Кулона при определении активного и пассивного давления. Авторы делали эти утверждения не имея подробных таблиц, составленных на основе теории предельного напряжённого состояния, а потому все они носят интуитивный характер.

### Литература

1. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1991. – 447 с.
2. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.
3. Клейн Г. К. Расчёт подпорных стен. – М.: Высшая школа, 1964. – 196 с.
4. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Яковлев П. И. Устойчивость транспортных гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1986. – 191 с.
6. Яковлев П. И. Таблицы коэффициентов активного сейсмического давления грунта на сооружения //Межвузовский сборник: Гидротехнические сооружения. – Владивосток, 1980. – С. 90 – 104.
7. Яковлев П. И. Табулирование коэффициентов активного сейсмического давления грунта на сооружения //Сейсмостойкость транспортных сооружений. – М.: Наука, 1980. С. 96 – 108.
8. Яковлев П. И. Таблицы коэффициентов пассивного сейсмического давления грунта на сооружения //Межвузовский сборник: Гидротехнические сооружения. – Владивосток, 1978. – С. 41 – 65.
9. Яковлев П.И. Исследование и разработка методов расчёта портовых гидротехнических сооружений на основе технической теории предельного напряжённого состояния грунтовой среды: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Л., 1981. – 40 с.
10. Яковлев П. И. Коэффициенты активного и пассивного давления грунта на стенки в сейсмических условиях по теории предельного напряжённого состояния // Научные труды Морские порты. – М.: Изд. Рекламинформбюро ММФ, 1976, вып. 9. – С. 26 – 31.
11. Яковлев П. И. Коэффициенты активного и пассивного сейсмического давления грунта на крутые стенки при разрывном напряжённом состоянии // Научные труды Морские порты. Вып.12. – М.: изд. ЦРИА Морфлот. – 1979. С. 39 – 47.
12. Яковлев П. И. Определение активного и пассивного давления грунта на пологие стенки в сейсмических условиях // Тр. координационных совещаний



по гидротехнике. Динамические расчёты воднотранспортных сооружений. – Л.: 1971, вып. №66. – С. 168 – 173.

13. 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 напряжённого состояния // Научные труды Инженерные сооружения и оборудование морских портов. – М.: изд. Мортехинформреклама, 1985. С. 7 – 11.

14. Яковлев П. И. Взаимодействие гидротехнических сооружений с засыпкой в сейсмических условиях: Учебное пособие. М.: изд. ЦРИА Морфлот, 1982. – 62 с.

15. СНиП 2-И.10-65. Подпорные стены гидротехнических сооружений. Нормы проектирования.

16. Напетваридзе Ш. Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. – М.: Госстройиздат, 1959. – 216 с.

17. Яковлев П. И. Применение теории плоских поверхностей скольжения для определения сейсмического активного давления и пассивного сопротивления грунта на наклонные шероховатые стенки с равномерной нагрузкой на наклонной поверхности засыпки. – В кн.: Сооружения и механизация морских портов. М.: В/О Мортехинформреклама, 1983, С. 77 – 82