

УДК 624.131.53.001.5.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТЕНКУ ОТ ПОЛОСОВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ НАГРУЗОК

*Яковлев П.И., Петросян В.Н., Прусенков Н.С., Федченко В.В.,
Калюжная В.Е., Карпюк В. М. (Одесса)*

На основе результатов опытов, проведенных Яковлевым П.И., выполнен анализ применяемых методов оценки распорного давления грунта и предложен новый метод определения активного давления грунта на стенку.

В инженерной практике для определения бокового давления грунта на стенку от различных сложных поверхностных нагрузок применяется ряд упрощенных методов. Результаты расчетов по различным методам не подтверждаются опытными данными.

В классическом методе Кулона эпюра активного давления грунта от полосовой нагрузки принимается в форме прямоугольника.

В редко применяемом, не имеющем какого-либо обоснования методе Кулона-Блюма принимается, что распорное давление действует на участке стенки, ограниченном с одной стороны точкой ее пересечения с плоскостью естественного откоса, проведенной от лицевой границы по-

лосы загрузки, и с другой стороны – точкой пересечения стенки с плоскостью, проведенной под углом $45^\circ + \varphi/2$ к горизонту от тыловой границы полосы загрузки. Эюра очерчивается по треугольнику и имеет максимальную ординату в точке пресечения стенки с плоскостью, проведенной под углом $45^\circ + \varphi/2$ к горизонту от лицевой границы полосы загрузки

По методу Фрелиха ординаты эюры $a(q)$ определяются выражением, описывающим распределение горизонтальных напряжений в вертикальной плоскости упругого полупространства от местной нагрузки:

$$a(q) = 0.32q(x_1, x_2) (\sin^3 \beta_2 - \sin^3 \beta_1), \quad (1)$$

где β_1 и β_2 – углы, которые составляют лучи, проведенные от начала и конца нагрузки $q(x_1, x_2)$, с задней гранью стенки в точке, где определяется $a(q)$.

Решение Буссинеска для плоской задачи в интерпретации Г.В. Козлова позволяет вычислить интенсивность бокового давления грунта на стенку от действия полосовой нагрузки на поверхности засыпки по формуле:

$$\sigma'_x = \frac{q}{\pi} \left(\operatorname{arctg} \frac{a-x}{z} + \operatorname{arctg} \frac{a+x}{z} \right) + \frac{2aqz(x^2 - a^2 - z^2)}{\pi \left[(x^2 - a^2 + z^2)^2 + 4a^2z^2 \right]}, \quad (2)$$

$$\sigma''_x = \frac{4aqxz^2}{\pi \left[(x^2 + a^2 + z^2)^2 - 4a^2x^2 \right]}, \quad (3)$$

где σ'_x , σ''_x – нормальные горизонтальные напряжения в рассматриваемой точке задней грани соответственно от вертикальной и горизонтальной составляющей интенсивности наклонной полосовой нагрузки (Па);

x – расстояние по горизонтали от точки до центра тяжести полосовой нагрузки (м);

z – расстояние от рассматриваемой точки до поверхности засыпки (м);

a – половина ширины участка полосовой нагрузки (м);

q – интенсивность полосовой нагрузки (Па).

Для сравнения методов воспользуемся результатами экспериментальных исследований, проведенных П.И. Яковлевым в Одесском государственном морском университете. В соответствии с условиями экспе-

риментального исследования расчеты выполнены по методам Кулона и Буссинеска для четырех различных случаев полосовой нагрузки, грунт засыпки – песок $\gamma = 15,15 \text{ кН/м}^3$, $\varphi = 33^\circ 30'$, $\delta = 0$. Результаты расчетов и данные, полученные в результате экспериментов, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Равномерно распределенная полосовая нагрузка шириной 0,1 м, расстояние от стенки 0,35 м.

Глубина расположения датчиков, м	Активное давление грунта, кПа		
	По результатам опытов	По Кулону	По Буссинеску
Случай 1: вертикальная нагрузка 6,9 кПа			
0,08	0,19	0	0,138
0,23	0,29	0	0,291
0,38	0,74	0	0,313
0,53	2,24	0	0,286
0,68	0,41	1,99	0,238
0,83	0,05	1,99	0,158
0,98	0,16	0	-0,009
1,055	0,17	0	-0,145
Случай 2: вертикальная нагрузка 13,8 кПа, горизонтальная – 2,0 кПа			
0,08	0,37	0	0,278
0,23	1,12	0	0,581
0,38	1,71	0	0,627
0,53	1,65	0	0,573
0,68	0,89	5,99	0,483
0,83	1,90	5,99	0,334
0,98	0,16	0	0,028
1,055	0,20	0	-0,221

Таблица 2. Равномерно распределенная полосовая нагрузка шириной 0,1 м, расстояние от стенки 0,00 м.

Глубина расположения датчиков, м	Активное давление грунта, кПа		
	По результатам опытов	По Кулону	По Буссинеску
Случай 3: вертикальная нагрузка 6,9 кПа			
0,08	1,26	1,99	1,969
0,23	0,80	0	0,901
0,38	0,47	0	0,565
0,53	0,12	0	0,407
0,68	0,19	0	0,306
0,83	0,38	0	0,203
0,98	0,02	0	0,030
1,055	0,31	0	-0,103

Случай 4: вертикальная нагрузка 13,8 кПа, горизонтальная – 2,0 кПа			
0,08	2,67	5,99	3,938
0,23	1,96	0	1,802
0,38	0,74	0	1,130
0,53	0,06	0	0,814
0,68	0,38	0	0,613
0,83	0,10	0	0,408
0,98	0,00	0	0,067
1,055	0,07	0	-0,197

Экспериментальная установка позволяла прикладывать на поверхности засыпки наклонную полосовую нагрузку, воздействие которой отражено в таблицах 1 и 2 в графе “по результатам опытов”.

В графе “по Буссинеску” определялись напряжения σ'_x , σ''_x от воздействия вертикальной и горизонтальной составляющей нагрузки.

Расчеты показали, что ни один из известных методов не отражает действительной картины распределения напряжений.

П. И. Яковлевым был предложен новый метод определения давления на стенку от сложных поверхностных нагрузок. Идея его заключается в том, чтобы величину равнодействующей на стенку принимать по теории Кулона (эта теория используется во всем мире и регламентируется действующими нормативными документами), а распределение давления по высоте стенки принимать в соответствии с решениями теории упругости.

Таким образом предлагается ординаты эпюры, определяемой на основе теории упругости умножать на коэффициент K , который подбирается так, чтобы равнодействующая давления на стенку была равна величине, определяемой теорией Кулона.

Этим устраняются противоречия в теории Кулона (скачкообразная эпюра в грунтовой среде нереальна) и в решениях, основанных на теории упругости (совершенно не учитываются прочностные характеристики грунта j и сцепление c , что также не соответствует природе грунтовой среды).

В процессе опыта модель стенки смещалась, эти смещения измерялись, но в таблицах 1 и 2 их величины не указаны.

В связи с этим заметим, что расчетные методы определения давления на стенки с учетом их смещений даже для простейших случаев в статике сыпучей среды отсутствуют.

Литература

1. Яковлев П.И. Определение давления сыпучего грунта на подпорную стенку с наклонной задней гранью//Гидротехническое строительство. – 1972, № 10 – С. 22 – 26.

2. Яковлев П.И. Экспериментальные исследования давления грунта на подпорные стенки при наличии наклонной нагрузки на поверхности засыпки//Межвузовский сборник: Гидротехнические сооружения. – Владивосток, 1984. – С. 22 – 34.

3. Яковлев П.И., Нгуен Нгок Хуэ, Штода А.Н. Экспериментальные исследования давления грунта на стенку в зависимости от ее смещения при наличии наклонных полосовых нагрузок на поверхности засыпки//Научные труды Исследования инженерных сооружений и перегрузочного оборудования морских портов. – М.: изд. Мортехинформреклама, 1991. – С. 8 – 15.

4. Экспериментальные исследования давления грунта на стенку в зависимости от ее смещения при наличии неравномерной наклонной нагрузки на горизонтальной поверхности засыпки//П.И. Яковлев, Нгуен Нгок Хуэ, В.Н. Петросян, А.Н. Штода//Научные труды Морская гидротехника и механизация перегрузочных работ в портах. – М.: изд. Мортехинформреклама, 1992. – С. 7 – 15.

5. Яковлев П.И. Измерения напряжений в грунте за наклонными подпорными стенками при наличии сложной поверхностной нагрузки//Научные труды Морские порты. – М.: изд. Рекламинформбюро ММФ, 1976, вып. № 8. – С. 82 – 86.

6. Яковлев П.И., Заремба В.В. Экспериментальные исследования давления грунта на стенку при наличии сложной нагрузки на ломанной поверхности засыпки//Научные труды Гидротехнические сооружения морских портов и их механизация. – М.: Мортехинформреклама, 1983. – С. 25 – 26.

7. Яковлев П.И., Лубенов Р.В. Некоторые новые результаты экспериментальных исследований давления грунта на жесткие стенки//Гидротехническое строительство. – 1968, № 7. – С. 43 – 46.

8. Яковлев П.И. О некоторых результатах экспериментальных исследований взаимодействия гидротехнических сооружений с грунтом//Межвузовский сборник: Гидротехнические сооружения. – Владивосток, 1987. – С. 134 – 140.

9. 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.

10. Яковлев П.И. Экспериментальные исследования давления грунта на стенки с двумя разгружающими плитами при разрывных нагрузках на засыпке//Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1974, № 3. – С. 7 – 9.

11. Яковлев П.И. Экспериментальные исследования давления грунта на стенку с разгружающей плитой при воздействии многократно прикладываемой нагрузки//Научные труды Морские порты. – М.: изд. Рекламинформбюро ММФ, 1975, вып. 7. – С. 47 – 51.

12. Яковлев П.И. Исследование влияния заглубления разгружающей плиты и положения временной нагрузки на распределение давления по стенке//Научные труды Дальневосточного политехнического института им. В.В. Куйбышева. – Владивосток, 1975, т. 96. – С. 69 – 76.

13. Яковлев П.И. Несущая способность оснований портовых сооружений. – М.: Транспорт, 1978. – 207 с.

14. Яковлев П.И., Петросян В.Н. Экспериментальные исследования зависимости давления грунта на сооружение от его смещения при наличии нагрузки на ломаной поверхности засыпки//Научные труды Гидротехнические сооружения морских портов и их механизация. – М.: изд. Мортехинформреклама, 1983. – С. 27 – 29.