

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ БУССИНЕСКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА СООРУЖЕНИЕ ОТ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛОСОВЫХ НАКЛОННЫХ НАГРУЗОК.

Яковлев П.И., Федченко В.В. (Одесса);

Ходько Н.П. (Новороссийск);

Петросян В.Н., Прусенков Н. С., Карпюк В. М. (Одесса).

Задача о распределении напряжений в грунтовой среде является сложнейшей. За более чем столетний период после опубликования работы Буссинеска значительных теоретических работ нет. Возможно, что в этом направлении нет ничего и “на подходе”.

Можно полагать, что создание более достоверной теории, отражающей хотя бы частично природные свойства грунтов, существенно продвинет многие области механики грунтов.

В статье приводятся некоторые данные трудоёмких экспериментальных исследований и результаты расчётов “по Буссинеску” по исходным данным проведенных опытов.

В статье рассматриваются результаты опытов, проведенных в лотке шириной 100 см, высотой 111,5 см и длиной 177,5 см с очень жесткой моделью вертикальной стенки. Экспериментальная установка позволяла измерить горизонтальную и вертикальную составляющие равнодействующей N_x^c , N_y^c с помощью “суммарных” датчиков, а также распределение нормальных составляющих интенсивности давления по высоте стенки с помощью восьми точечных датчиков (рис. 1; табл. 1). Смещения стенки измерялись четырьмя индикаторами часового типа, установленными в угловых точках стенки.

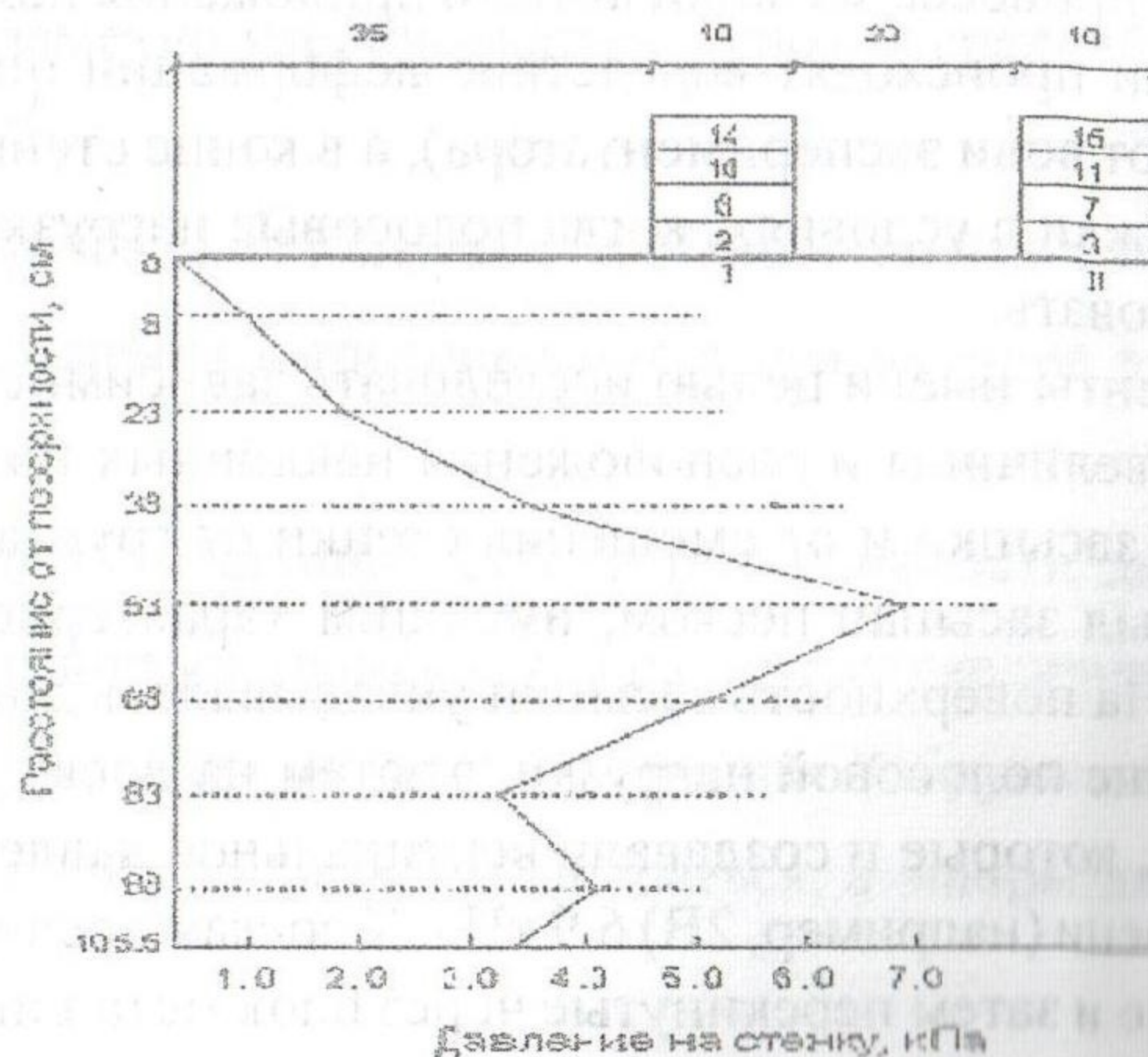


Рис.1 Эпюры давления от собственного веса грунта и полосовой нагрузки II.

Интенсивности горизонтальных составляющих давления по высоте стенки от собственного веса грунта и полосовых нагрузок из опыта (кПа).

Ступени полосовых нагрузок	Глубина расположения датчиков давления, см								Смещения стенки, мм	
	8	23	38	53	68	83	98	105,5	верха	низа
2В	0,97	1,72	3,64	6,84	5,01	3,05	4,16	3,57	0,153	0,695
2В+2Г+6В	1,15	2,55	4,61	6,25	5,49	4,90	4,16	2,74	0,181	0,760
2В+2Г+6В+6Г+ +10В	1,88	3,08	5,34	7,33	6,24	3,84	4,41	3,70	0,207	0,826
2В+2Г+...+10В+ +10Г+14В	2,48	4,09	5,91	7,23	6,43	5,17	4,41	3,43	0,219	0,869
2В+2Г+...+14В+ +14Г+3В	2,96	4,15	6,15	8,11	6,43	6,36	4,41	3,98	0,235	0,900
2В+2Г+...+3В+ +3Г+7В	3,45	3,74	5,99	8,40	6,72	5,17	4,92	3,43	0,242	0,945
2В+2Г+...+7В+ +7Г+11В	2,90	3,50	6,31	9,09	7,47	5,83	5,26	4,12	0,252	1,01
2В+2Г+...+11В+ +11Г	2,90	3,56	6,88	9,09	7,47	5,57	5,26	4,19	0,259	1,02
2В+2Г+...11Г+ +15В	2,97	3,62	7,04	9,67	7,57	6,49	5,51	4,39	0,266	1,07

Вначале, в процессе засыпки лотка и приложения полосовых нагрузок, смещения стенки происходят вследствие деформации опорных элементов (они не зависят от воли экспериментатора), а в конце стенке придаются специальные подвижки в условиях, когда полосовые нагрузки на засыпке продолжают действовать.

Эксперименты имели целью исследовать зависимость давления грунта на стенку от величины и расположения наклонных полосовых нагрузок на поверхности засыпки и от смещения стенки от грунта. Для проведения опытов лоток был засыпан песком, имевшим характеристики $\phi = 33^\circ 30'$ и $g = 15,15$ кН/м³. На поверхность засыпки укладывалась доска, ширина которой равна ширине полосовой нагрузки, а затем на доску укладывались чугунные отливки, которые и создавали вертикальное давление интенсивностью каждой ступени (например, 2В) 6,9 кПа. К доскам крепились горизонтально направленные и затем перекинутые через блок металлические тросики, к

концам которых подвешивались грузы. Таким образом, поверхность засыпки, загруженная вертикальной нагрузкой, загружалась еще и горизонтальной нагрузкой интенсивностью каждой ступени (например, 2Г) 2,0 кПа, а интенсивность полного давления (например, 2В+2Г) оказывалась наклонной. Приложив нагрузку (на расстоянии 35 см от стенки) 2В+2Г, добавляли 6В, затем 6Г и т. д. Закончив нагружение первой полосы (ступени 2, 6, 10, 14), приступают к нагружению второй - на расстоянии 65 см от стенки (ступени 3, 7, 11, 15). В статье приводится небольшая часть данных, полученных по двум полосовым нагрузкам. Результаты опытов со ступенями 1, 5, 9, 13 и 4, 8, 12, 16, составлявшие ещё две полосовые нагрузки, расположенные на расстоянии 5 и 95 см от стенки, в статье не рассматриваются.

Интенсивность давлений в таблице 1 приведены с учётом давления от собственного веса грунта в процессе засыпки лотка.

Анализируя полученные данные, можно, в частности, отметить следующее:

1. Все измеренные эпюры, как и следовало ожидать, имеют нелинейный характер.

2. При приложении нагрузки на первой полосе нормальные составляющие давления заметно увеличиваются, особенно в верхней части стенки.

3. При приложении нагрузки на второй полосе нормальные составляющие давления заметно увеличиваются только в средней и нижней частях стенки.

4. После приложения нагрузки на обеих полосах в эпюре нормальных составляющих давления вырисовываются два выступа в верхней части и посередине стенки.

5. При малых смещениях стенки интенсивности давления на одних участках задней грани уменьшаются, а на других увеличиваются. При больших смещениях, когда происходят внутренние “обрушения” грунта, интенсивности давлений могут резко уменьшаться, а эпюры давления изменять очертание.

6. Точки приложения равнодействующих в данном случае находятся вблизи середины стенки в ее нижней части.

Чтобы определить значения интенсивности бокового давления грунта на стенку от действия полосовой нагрузки на поверхности засыпки воспользуемся решением Буссинеска для плоской задачи.

Напряжения в каждой точке грунтовой полуплоскости определяются по формулам:

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

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

где σ'_x, σ''_x - нормальные напряжения в точке задней грани соответственно от вертикальной и горизонтальной составляющей интенсивности наклонной полосовой нагрузки;

x - расстояние от стенки до центра тяжести полосовой нагрузки по горизонтали (м);

z - расстояние от точки до поверхности засыпки (м);

a - половина ширины участка полосовой нагрузки (м);

q - интенсивность полосовой нагрузки (Па).

В таблице 2 помещены вычисленные напряжения σ'_x, σ''_x

Теория Буссинеска более правдиво отражает качественную картину напряжённого состояния грунта на контакте с сооружением, но не учитывает прочностные характеристики грунта (угол внутреннего трения и сцепления), что не соответствует природе грунтовой среды.

Эпюры от полосовых нагрузок, построенные на основе теории Кулона, имеют скачкообразный характер, что противоречит опыту.

Таблица 2

Значения интенсивности бокового давления грунта на стенку от действия полосовой нагрузки на поверхности засыпки по Буссинеску от ступеней 2В; 2В+2Г+6В; 2В+2Г+6В+6Г+10В и 2В+2Г+6В+6Г+10В+10Г+14В.

Расстояние от точки до поверхности засыпки, (м)	Вертикальная составляющая q,(Па)	Горизонтальная составляющая q,(Па)	Давление на стенку от вертикальной составляющей σ'_x , (Па)	Давление на стенку от горизонтальной составляющей σ''_x , (Па)	Суммарное давление $\sigma'_x + \sigma''_x$ (Па)
0,08	6900	0	205,82	0,00	205,82
0,23	6900	0	357,28	0,00	357,28
0,38	6900	0	286,96	0,00	286,96
0,53	6900	0	190,68	0,00	190,68
0,68	6900	0	122,94	0,00	122,94
0,83	6900	0	80,80	0,00	80,80
0,98	6900	0	54,85	0,00	54,84
1,05	6900	0	45,76	0,00	45,76
0,08	13800	2000	411,64	0,00	411,64
0,23	13800	2000	714,56	0,05	714,61
0,38	13800	2000	573,92	0,36	574,28
0,53	13800	2000	381,35	1,73	383,09
0,68	13800	2000	245,88	6,31	252,19
0,83	13800	2000	161,60	18,66	180,26
0,98	13800	2000	109,69	47,28	156,97
1,05	13800	2000	91,52	71,87	163,39
0,08	20700	4000	617,46	0,01	617,47
0,23	20700	4000	1071,84	0,10	1071,94
0,38	20700	4000	860,88	0,72	861,60
0,53	20700	4000	572,03	3,47	575,50
0,68	20700	4000	368,82	12,62	381,43
0,83	20700	4000	242,40	37,32	279,72
0,98	20700	4000	164,54	94,57	259,10
1,05	20700	4000	137,28	143,73	281,02
0,08	27600	6000	823,28	0,01	823,29
0,23	27600	6000	1429,11	0,15	1429,3
0,38	27600	6000	1147,84	1,08	1148,9
0,53	27600	6000	762,70	5,20	767,9
0,68	27600	6000	491,75	18,93	510,68
0,83	27600	6000	323,19	55,99	379,18
0,98	27600	6000	219,38	141,85	361,23
1,05	27600	6000	183,05	215,60	398,64

Выполненные экспериментальные исследования [1-14] с моделями различных типов стенок в условиях воздействия сложных поверхностных нагрузок позволили П.И. Яковлеву предложить уточнённый метод расчёта для рассматриваемого случая, который публикуется в другой статье.

В полном объёме результаты рассматриваемых в настоящей работе серии опытов с этими двумя полосовыми нагрузками имеются в статье [12].

Литература

1. Яковлев П.И. Несущая способность оснований портовых сооружений. — М.: Транс-порт, 1978. - 207 с.
2. Яковлев П.И. О некоторых вопросах методики экспериментальных исследований давления грунта на стенку//Научные труды Гидротехника. — М.: Морской транспорт, 1962, вып. II. - С. 79 - 87.
3. Яковлев П.И. Исследование некоторых способов уменьшения давления грунта на подпорные стенки и причальные сооружения: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Одесса, 1964. - 24 с.
4. Яковлев П.И. Исследование кинематических факторов в засыпке за наклонными подпорными стенками//основания, фундаменты и механика грунтов. — 1970, № 1. — С. 23 — 25.
5. Яковлев П.И., Лубенов Р.В. Некоторые новые результаты экспериментальных исследований давления грунта на жесткие стенки//Гидротехническое строительство. — 1968, № 7. — С. 43 - 46.
6. Яковлев П.И. Определение давления сыпучего грунта на подпорную стенку с наклонной задней гранью//Гидротехническое строительство. — 1972, № 10. — С. 22 — 26.
7. Яковлев П.И. Напряженное состояние засыпки и давление грунта на пологие стенки/Гидротехническое строительство. — 1974, № 12. — С. 26 — 29.
8. Яковлев П.И. Измерение 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.
9. Яковлев П.И., Заремба В.В. Экспериментальные исследования давления грунта на стенку при наличии сложной нагрузки на ломаной поверхности засыпки//Научные труды Гидротехнические сооружения морских портов и их механизация. — М.: Мортехинформреклама, 1983. - С. 25 - 26.
10. 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.
11. Яковлев П.И. О некоторых результатах экспериментальных исследований взаимодействия гидротехнических сооружений с грунтом//Межвузовский сборник: Гидротехнические сооружения. — Владивосток, 1987. — С. 134 — 140.
12. 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.

13. 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.
14. 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.