

## УМЕНЬШЕНИЕ КРЕНА ЖЕСТКОГО ФУНДАМЕНТА

**В. М. КИРИЛЛОВ** – д-р техн. наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций. Основное направление научной деятельности – нелинейная геомеханика, теория взаимодействия грунтов с сооружением. Автор более 110 опубликованных работ.

Для уменьшения или ликвидации крена фундамента предлагается устройство вертикальной или наклонной прорези основания вблизи фундамента. Дано теоретическое обоснование этого предложения.

В процессе строительства или эксплуатации фундамент сооружения может получить крен. Существуют различные варианты его уменьшения или даже ликвидации: приложение нагрузок, вакуумное выкачивание грунта, электроосмос, подработка. В частности, все эти варианты были рассмотрены при решении проблемы стабилизации наклона Пизанской башни. Предпочтение было отдано варианту подработки грунта бурением наклонных скважин [1].

Помимо перечисленных мер, уменьшить наклон фундамента можно с помощью узкой прорези основания вблизи фундамента. Суть идеи заключается в следующем. Наибольший вклад в осадки фундамента дают вертикальные напряжения. С учетом распределительной способности грунта эпюры этих напряжений распространены не только в пределах ширины фундамента, но и за его границы. Если в основании сделать вертикальную щель, то часть эпюры напряжений будет отсечена, а в оставшейся части под фундаментом произойдет перераспределение напряжений. Причем напряжения у поднятого края фундамента возрастут в силу закона равновесия (рис. 1), что увеличит осадки этого края. Варьируя глубину прорези  $H$  и ее расстояние от фундамента, можно не только уменьшить, но и ликвидировать крен строящегося или построенного сооружения. Процесс уменьшения крена можно назвать декренизацией.

Обоснование указанного предложения продемонстрировано на двух простых приме-

рах, где рассмотрены варианты невесомой упругой полуплоскости и четверти плоскости, имитирующих соответственно случаи до и после устройства прорези.

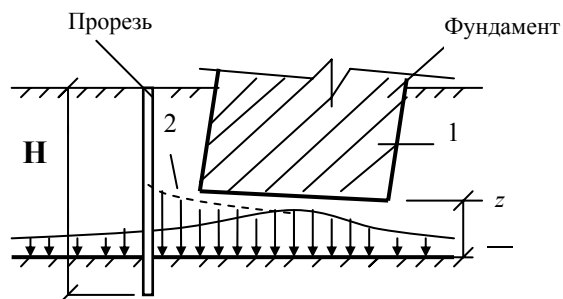


Рис. 1. Эпюры вертикальных напряжений в основании фундамента: 1 – до устройства прорези; 2 – после устройства прорези

Пример 1 относится к случаю действия сосредоточенной вертикальной силы  $P$ .

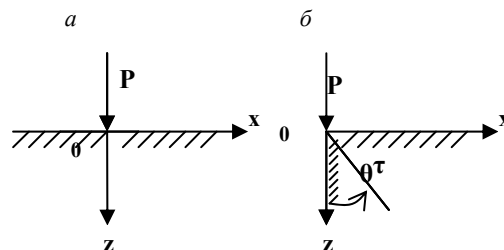


Рис. 2. Полуплоскость (а) и четверть плоскости (б) под действием сосредоточенной вертикальной силы  $P$

Для полуплоскости (рис. 2, а) вертикальная компонента напряжения  $\sigma_z$  равна [2]

$$\sigma_z = \frac{2P}{\pi} \cdot \frac{z^3}{(x^2 + z^2)^2} \quad (1)$$

Здесь и далее положительными приняты сжимающие напряжения.

Вертикальные перемещения  $\omega(x, 0)$  точек поверхности  $z=0$  с точностью до постоянной интегрирования определяются по формуле [2]

$$\omega(x, 0) = -\frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} P \ln|x|, \quad (2)$$

где  $\nu$  и  $E$  – коэффициент Пуассона и модуль деформации.

Для четверти плоскости (рис. 2, б) решение задачи Мичелла [3] в полярных координатах имеет вид

$$\sigma_r = \frac{4P}{(\pi^2 - 4)\pi} (\pi \cos \theta - 2 \sin \theta), \quad \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0, \quad (3)$$

откуда для декартовой системы координат получено

$$\sigma_z = \sigma_r \cos^2 \theta = \frac{4P}{\pi^2 - 4} \cdot \frac{z^2 (\pi z - 2x)}{(x^2 + z^2)^2}, \quad (4)$$

а использование обобщенного закона Гука и геометрических соотношений Коши с точностью до произвольной постоянной позволяет записать

$$\omega(x, 0) = -\frac{4\pi(1-\nu^2)}{(\pi^2 - 4)E} P \ln|x|. \quad (5)$$

Результаты расчетов по формулам (1) и (4) в виде эпюр относительных вертикальных напряжений для двух значений  $z$  показаны на рис. 3. Расчеты показывают увеличенную концентрацию напряжений у вертикальной грани четверти плоскости. Сопоставление расчетов по формулам (2) и (5) также свидетельствует о возрастании вертикальных перемещений для четверти плоскости в сравнении с полуплоскостью, а их отношение  $2\pi^2/(\pi^2 - 4) > 1$ .

*Пример 2* относится к случаю действия полубесконечной равномерно распределенной нагрузки интенсивностью  $p$ . Для полуплоскости (рис. 4, а) вертикальное напряжение  $\sigma_z$  составляет [4]

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi} \left( \pi + 2 \arctg \frac{x}{z} + \frac{2xz}{x^2 + z^2} \right). \quad (6)$$

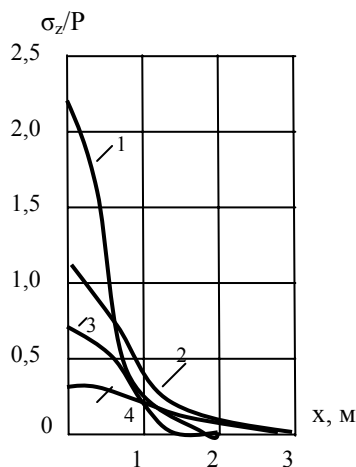


Рис. 3. Эпюры относительных вертикальных напряжений от сосредоточенной силы для четверти плоскости (1, 2) и полуплоскости (3, 4) при разных значениях  $z$ : 1, 3 –  $z=1,0$  м; 2, 4 –  $z=2,0$  м

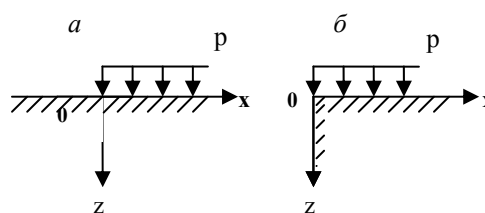


Рис. 4. Полуплоскость (а) и четверть плоскости (б) под действием полубесконечной равномерной нагрузки  $p$

Аналогичное выражение для четверти плоскости (рис.4,б) определяется равенством [4]

$$\sigma_z = p. \quad (7)$$

Результаты расчетов по формулам (6) и (7) в виде эпюр относительных вертикальных напряжений для двух значений  $z$  представлены на рис. 5. Здесь также зафиксировано увеличение напряжений у вертикальной грани четверти плоскости, что, естественно, будет способствовать и росту осадок.

Из двух нагрузок – сосредоточенной и распределенной – наибольшая концентрация напряжений достигается при сосредоточенной нагрузке (см. рис. 3 и 5), хотя распределенный характер нагрузки является более реальным. Усилить этот эффект можно посредством устройства наклонной прорези (рис. 6), представляющей собой подобие подработки.

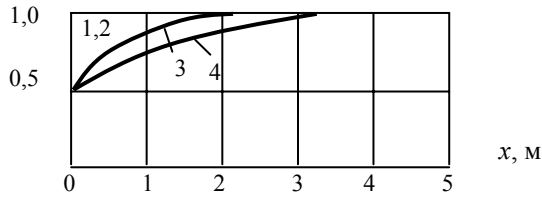


Рис. 5. Эпюры относительных вертикальных напряжений распределенной нагрузки для четверти плоскости (1, 2) и полуплоскости (3, 4) при разных значениях  $z$ : 1,3- $z = 1,0$  м; 2,4- $z = 2,0$  м

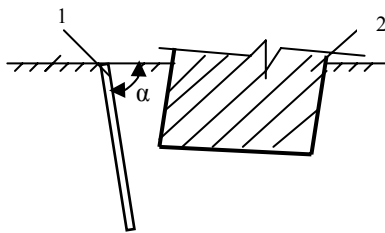


Рис. 6. Прорезь 1, наклонная под фундамент 2

В этом случае наличие наклонной прорези можно имитировать рассмотрением остроугольного клина с углом  $\alpha$  у вершины, нагруженного равномерной нагрузкой (рис. 7). Для этой схемы вертикальная компонента напряжений  $\sigma_z$  равна [4].

$$\sigma_z = \frac{p}{K} \left( K + \operatorname{arctg} \frac{z}{x} - \frac{xz}{x^2 + z^2} \right), \quad (8)$$

где  $K = \operatorname{tg} \alpha - \alpha$ .

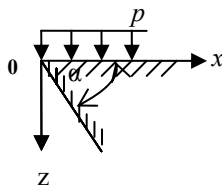


Рис. 7. Остроугольный клин под действием равномерной нагрузки  $p$

Вычисленные по формуле (8) вертикальные напряжения показаны на рис. 8 в виде эпюры. Там же для сравнения пунктиром помещены аналогичные эпюры, относящиеся к случаям полуплоскости и четверти плоскости. Это сопоставление наглядно демонстрирует преимущество наклонной прорези.

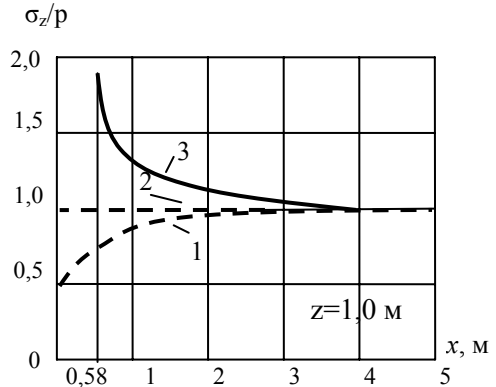


Рис. 8. Эпюры относительных вертикальных напряжений от распределенной нагрузки для полуплоскости (1), четверти плоскости (2) и остроугольного клина (3,  $\alpha=60^\circ$ )

Результаты расчетов носят исключительно качественный характер, но дают наглядное представление и свидетельствуют о возможности декренизации фундамента посредством устройства узкой вертикальной или наклонной прорези в основании с выемкой грунта или даже только его рыхлением. Очевидно, что решающее значение в определении эффективности предлагаемых мер должно принадлежать эксперименту.

В заключение следует отметить, что на величину осадки фундамента будет оказывать влияние также процесс заполнения грунтом самой полости прорези после ее устройства. Этот процесс должен в большей степени проявляться для наклонной прорези и в меньшей при рыхлении.

### Список литературы

1. Бурланд Дж. Б., Ямиolkовский М., Виджиа-ни К. Стабилизация Пизанской башни // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2003–2004. №7. С. 43–59.
2. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т. 1. М.; Л.: Гостройиздат, 1959. 357 с.
3. Рекач В. Г. Руководство к решению задач по теории упругости. М.: Высш. школа, 1977. 215 с.
4. Яропольский И. В. Основания и фундаменты. Л.: Водный транспорт, 1954. 455 с.