

РАЗДЕЛ 1. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.43.068

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И КВАДРАТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЁТОМ ФОРМ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА

В.В. Бессонов, И.В. Карелина

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований зон разрушения песчаных грунтовых оснований квадратных штампов. Результаты экспериментов планируется использовать для теоретической оценки прочности грунтовых оснований прямоугольных фундаментов с учётом пространственной работы грунта на его концевых участках.

Ключевые слова: грунтовое основание, фундамент, квадратный штамп, напряженное состояние, песчаный грунт.

Определение предельного давления прямоугольного и квадратного фундаментов на основания, сложенные в том числе и песчаными грунтами, является пространственной задачей теории предельного равновесия грунтов (ТПРГ). При реализации пространственного напряжённого состояния чаще всего рассматривают приближенные инженерные методы определения прочности грунтовых оснований. Целью данной работы является найти возможность перехода от приближенного решения пространственной задачи к её точному решению через экспериментальные исследования зон разрушения песчаного грунтового основания квадратного фундамента.

При приближённом решении в средней части штампа на длине $(l-x)$ предельное давление можно определить как для ленточного фундамента (плоская задача ТПРГ), а суммарное влияние концов штампа квадратной формы можно представить в виде равновеликого по площади $(b \times b)$ круга и для него принять предельное давление круглого штампа на основание, согласно решению А.М. Караулова (осесимметричная задача) [1] (рисунок 1).

Таким образом, предельное давление на грунтовое основание прямоугольного фундамента шириной b и длиной l определится как [2, 3]

$$p_{пр.л} = \frac{p_{кр} \pi r^2 + p_{лент} b(l-x)}{bl}, \quad (1)$$

где $p_{кр.}$ – предельная нагрузка на основание в случае осевой симметрии на концах прямоугольного штампа в пределах длины x , кПа;

$p_{лент.}$ – предельная нагрузка на основание ленточного фундамента (плоская задача) на участке длиной $l-x$, кПа.

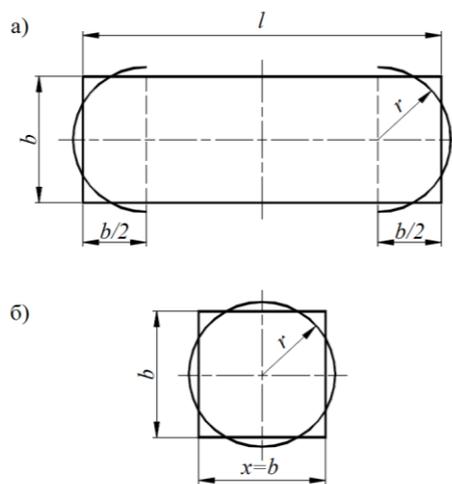


Рисунок 1 – Геометрическая интерпретация предлагаемого решения

Приведём данное выражение к стандартному виду:

$$p_{пр.л} = \gamma b N_{\gamma} \xi_{\gamma} + q N_q \xi_q + c N_c \xi_c, \quad (2)$$

где ξ_{γ} , ξ_q , ξ_c – коэффициенты формы подошвы фундамента, определяемые по формулам [4, 5]

$$\xi_{\gamma} = 1 + \frac{a_{\gamma}}{\eta}; \quad \xi_q = 1 + \frac{a_q}{\eta}; \quad \xi_c = 1 + \frac{a_c}{\eta}, \quad (3)$$

где

$$a_{\gamma} = \frac{N_{\gamma к}}{N_{\gamma л}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} - 1; \quad a_q = \frac{N_{q к}}{N_{q л}} - 1; \quad a_c = \frac{N_{c к}}{N_{c л}} - 1.$$

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И КВАДРАТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЁТОМ ФОРМ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА

Значения коэффициентов $N_{ук}$, $N_{ок}$, $N_{ск}$ в (1) были приняты из статического решения осесимметричной задачи о предельном давлении круглого штампа на грунтовое основание, полученного с использованием условия неполной пластичности для широкого диапазона боковых пригрузок [1]. Коэффициенты $N_{ул}$, $N_{ол}$, $N_{сл}$ были приняты из решения плоской задачи по Ю.И. Соловьеву.

На основании формулы (4) были определены коэффициенты a_y , a_q , a_c , которые представлены в виде графиков (рисунок 2 а)) Из графиков видно, что функции a_y , a_q , a_c не являются монотонными. Для выяснения при-

чин такого поведения зависимости $a = a(\varphi)$ были проанализированы коэффициенты несущей способности осесимметричной задачи. Эти величины являются функциями не только характеристик грунта, но и параметра Лоде, определяющего соотношение между главными напряжениями. Величина параметра Лоде определяется из условий существования статического решения. В связи с этим были произведены уточняющие расчеты, в которых параметр Лоде вычислялся с точностью до тысячного знака [4]. Результаты теоретического уточненного решения приведены в виде графиков на рисунке 2 б).

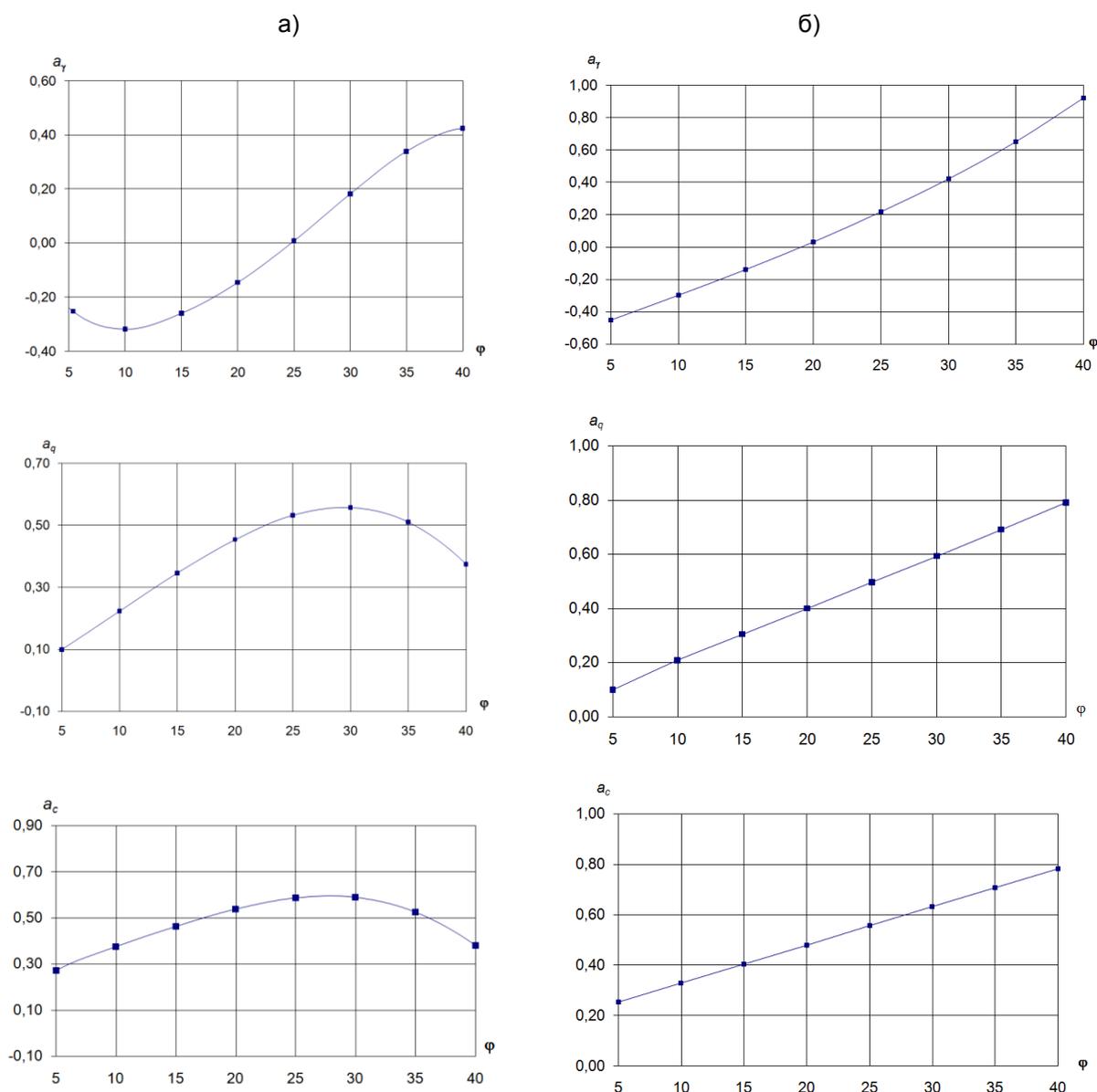


Рисунок 2 – Графики зависимости a_y , a_q , a_c от угла внутреннего трения:
а) – первоначальное решение, б) – уточненное решение

В данной работе ставится задача об определении прочности грунтового основания квадратного фундамента с учётом пространственной работы грунта, что является точным отражением работы грунтового основания на концевых участках прямоугольного фундамента. Теоретическое решение планируется получить на основе экспериментальных исследований пространственной работы песчаного грунтового основания, что позволит уточнить и коэффициенты формы подошвы.

Эксперименты были связаны с поиском форм разрушения песчаного грунта под центральной частью квадратного штампа (по диагонали). Для этой цели использовался песок средней крупности, средней плотности, мало-влажный со следующими характеристиками: удельный вес $\gamma = 17,8 \text{ кН/м}^3$; удельный вес частиц $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$; влажность $W = 0,04$; коэффициент пористости $e = 0,58$; степень влажности $S_r = 0,15$; угол внутреннего трения $\varphi = 36^\circ$; удельное сцепление $c = 1 \text{ кПа}$.

Эксперименты проводились в лотке треугольной формы, стенки которого изготовлены из оргстекла. Размеры лотка представлены на рисунке 3.

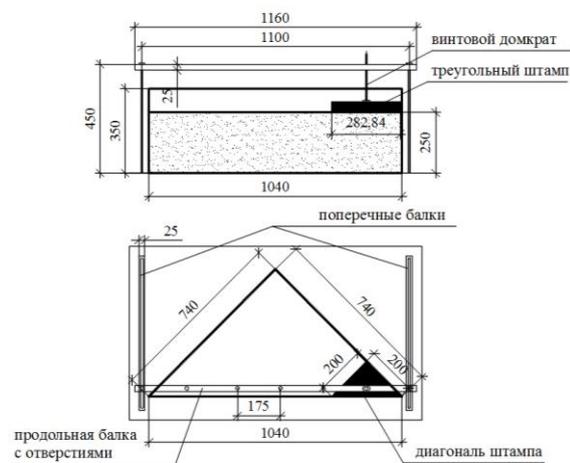


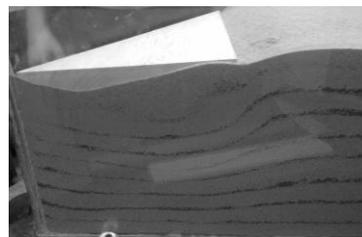
Рисунок 3 – Опытная установка

Песок укладывался в лоток послойно с последующим уплотнением каждого слоя путём ручного трамбования. Для наблюдения за процессом деформирования основания через каждые 4 см была отсыпана полоска окрашенного песка. При каждом опыте основание разбиралось и переподготавливалось. Нагрузка создавалась при помощи винтового домкрата, закрепленного на продольной балке, которая может перемещаться вдоль лотка по вырезам в поперечных балках. Сам домкрат можно переставлять в различные отверстия, устроенные вдоль продольной балки.

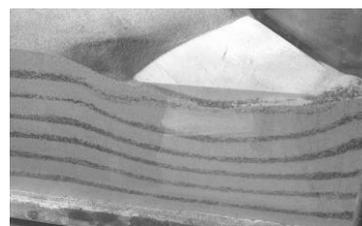
Таким образом, экспериментальная установка является универсальной и позволяет быстро менять место приложения нагрузки на грунтовое основание (рисунок 3).

Особенность экспериментов заключается в том, что нагрузка на грунтовое основание передавалась через треугольный деревянный штамп, являющийся половиной квадратного размером $200 \times 200 \times 20 \text{ мм}$, разделенного по диагонали на две части. Такое допущение возможно из-за симметричности зон разрушения песчаного грунта под квадратным фундаментом и симметричности решения. Штамп был размещен в одном из углов лотка на поверхности песка без заглабления, как показано на схеме опытной установки.

Давление на грунтовое основание увеличивалась вплоть до его разрушения. За момент разрушения принимался выпор песчаного грунта из-под штампа. При каждом испытании фиксировались зоны разрушения под центральной частью квадратного штампа (по диагонали), а также по его сторонам. На рисунке 4 показаны фотографии зон разрушения в одном из экспериментов.



а)



б)

Рисунок 4 – Формы зон разрушения песчаного грунтового основания:

- а) – по стороне квадратного штампа;
- б) – по диагонали квадратного штампа

Как видно на рисунке 4 а) по стороне квадратного штампа наблюдаются форма разрушения грунтового основания в виде выпора грунта из-под штампа. Причём наибольшие деформации наблюдаются ближе к краю штампа. На рисунке 4 б) показана форма разрушения грунта по диагонали квадратного штампа. В данном случае форма разру-

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ
ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И КВАДРАТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
С УЧЁТОМ ФОРМ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТА

шения песчаного основания менее выражена. Не смотря на это, видно, что линии скольжения в этом случае выходят на поверхность грунтового основания под менее острым углом, чем в случае с зонами разрушения вдоль стороны штампа.

Эксперименты будут продолжены, в частности, на квадратных штампах других размеров, в том числе с учётом заложения подошвы треугольного штампа на различную глубину. Наша задача выявить форму разрушения при различных экспериментальных параметрах, оптимизировать её и использовать полученные результаты при разработке точного решения пространственной задачи.

ВЫВОД

В данной статье рассматривается возможность уточнения коэффициентов формы подошвы фундамента. Для этой цели необходимо получить точное решение ТПРГ в случае квадратного фундамента, которое отражает пространственную работу концевых участков фундамента с подошвой прямоугольной формы. Перед разработкой данного решения были проведены эксперименты, связанные с получением зон разрушения песчаного грунтового основания квадратного штампа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Караулов, А. М. Несущая способность оснований осесимметричных фундаментов / А. М. Караулов. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2002. – 104 с.
2. Бессонов, В. В. Прочность глинистых и песчаных грунтовых оснований прямоугольных в плане фундаментов с учётом зависимости механических свойств грунта от напряжённого состояния: автореф. дисс. канд. техн. наук / В. В. Бессонов. – Барнаул : АлтГТУ, 2011. – 23 с.
3. Королёв, К. В. Экспериментально-теоретическая оценка прочности грунта в основании прямоугольных фундаментов / К. В. Королёв, В. В. Бессонов. – Барнаул : АлтГТУ, 2011. – № 1 – С. 87–92.
4. Королёв, К. В. Уточненные значения коэффициентов формы при определении несущей способности оснований прямоугольных фундаментов / К. В. Королёв, В. В. Бессонов. // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 4 – С. 29–30.
5. Бессонов, В. В. Рекомендации по практическому применению коэффициентов формы подошвы прямоугольного фундамента, зависящих от угла внутреннего трения грунта / В. В. Бессонов, И. В. Карелина. – Барнаул : АлтГТУ, 2013. – № 4-1 – С. 13–17.

***Бессонов В.В.** – к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, e-mail: v.bessonov@ngs.ru.*

***Карелина И.В.** – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.*