

ния твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия» расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее шести диаметров отпечатка, что примерно составляет от 10 до 15 мм. Так как для каждого образца проводилось по пять испытаний, принимаем область вскрытия размером от 65 до 95 мм в длину и от 12 до 16 мм в ширину.

При помощи угловой шлифовальной машинки, либо дрели со специальной насадкой выполняется шлиф в месте действия минимальных изгибающих моментов, не нарушая при этом анкеровки.

Поверхность изделия в месте испытания дорабатывается до необходимой шероховатости с использованием насадки малой зернистости. Параметр шероховатости должен быть не более  $Ra=0,32$  мкм.

С учетом ранее проведенных испытаний измерения выполняются на шлифах глубиной 3мм.

Проводятся испытания твердомером Константа К5У. Полученные результаты обрабатываются с последующим их усреднением.

Твердость определяется как среднеарифметическое результатов пяти проведенных измерений, исходя из ранее полученной зависимости:

$$\sigma_B = 34 \cdot 26 + 50 = 934 \text{ МПа.}$$

Данное значение попадает в диапазон значений для класса А-IV (А600).

Параллельно с испытанием твердомером производился контрольный отбор образцов арматуры в месте проектируемого выполнения технологического проема, для испытания по методике ГОСТ 12004. Временное сопротивление  $\sigma_B = 950,85$  МПа

Погрешность проведенных измерений составляет 1,8 %, что говорит о возможности применения данного метода на практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение: ГОСТ 12004-81.
2. Металлы и сплавы. Метод измерения прочности по Бринеллю переносными твердомерами статического действия: ГОСТ 22761-77.
3. Арматура напрягаемая для железобетонных конструкций. Технические условия: СТБ 1706-2006.
4. Улыбин, А.В. Применение зависимости «прочность – твердость» при обследовании стальных конструкций с помощью портативных твердомеров / А.В. Улыбин, П.А. Рогозин // Стройматериалы. – 2011. – № 4(23). – С. 25–27.
5. Попков, Ю.В. Определение градуировочной зависимости «косвенный показатель – прочность: метод. указания к лабораторной работе для методов контроля прочности бетона / Ю.В. Попков. – Новополоцк, 1986.

УДК 624.21.072

#### ВЛИЯНИЕ ПРИГРУЗА НА ОСАДКУ ОСНОВАНИЯ

**Ю.А. ИВАНОВ**

(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Н. КИСЕЛЕВ)

*Рассматривается вопрос определения влияния пригруза на осадку основания. Используя имеющиеся методы расчета, а также математический аппарат, в ходе исследования получены оптимальные формулы для определения осадки.*

##### **Влияние пригруза на осадку основания в условиях плоской задачи**

Для основания, рассматриваемого в условиях плоской задачи пригруз может располагаться лишь на продолжении оси балки.

Расчленим балку на участки одинаковой длины, количество которых следует принимать в зависимости от желаемой степени точности получаемого решения. Для учета влияния пригруза расчленим и упругое основание на участки той же длины.

Заменим пригруз, распределенный по произвольному закону ступенчатой эпюрой со ступенями, равными длине принятых участков. В пределах же каждого участка будем пригруз заменять его равнодействующей.

Таким образом, распределенный пригруз можно представить в виде системы сосредоточенных сил, приложенных по серединам соответствующих участков (рис. 1).

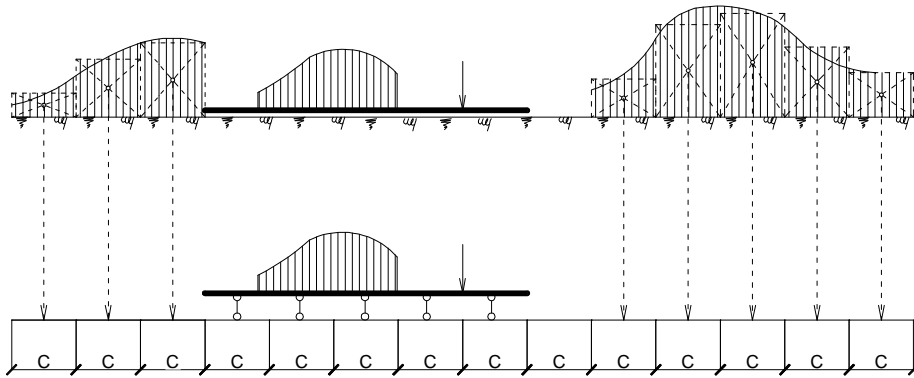


Рис. 1. Расположение пригрузки

Известно, что осадка произвольной точки  $A$  границы упругого основания, рассматриваемого в виде полуплоскости от нагрузки  $P$ , равномерно-распределенной по участку длиной  $c$  этой границы, центр которого в точке  $B$ , выразится согласно решению Б.Н. Жемочкина формулами:

а) при плоском напряженном состоянии:

$$\delta = \frac{P}{\pi \times E_0} \cdot \left[ F\left(\frac{x}{c}\right) + D \right]; \quad (1)$$

б) при плоской деформации:

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0} \cdot \left[ F\left(\frac{x}{c}\right) + D \right], \quad (2)$$

где  $x$  – расстояние между точками  $A$  и  $B$ ;  $F$  – функция, определяемая формулой:

при  $\frac{x}{c} \geq 1$

$$F = -2 \cdot \frac{x}{c} \cdot \ln \left[ \frac{\left(2 \frac{x}{c} - 1\right)}{\left(2 \frac{x}{c} + 1\right)} \right] - \ln \left[ \left(2 \frac{x}{c} - 1\right) \cdot \left(2 \frac{x}{c} + 1\right) \right]; \quad (3)$$

при  $\frac{x}{c} = 0$

$$F = 0;$$

$D$  – постоянная, определяемая по формуле

$$D = 2 \cdot \ln \frac{d}{c} + 2 + 2 \cdot \ln 2.$$

Здесь  $d$  – расстояние от точки  $B$ , где приложена равнодействующая пригрузки, до некоторой достаточно удаленной точки  $M$ , расположенной на верхней грани упругого основания.

Следует заметить, что в условиях плоской задачи  $\delta$  является условной осадкой, равно разности осадок верхней границы основания в точках  $B$  и  $M$ .

Таким образом, осадку в некоторой точке  $A$  границы основания, рассматриваемого в виде упругой полуплоскости, можно представить в следующем виде:

а) для плоского напряженного состояния

$$\delta = \frac{P}{\pi \cdot E_0} \cdot (F + D); \quad (4)$$

б) для плоской деформации

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0} \cdot (F + D), \quad (5)$$

где функция  $F$  зависит от расстояния между точками  $A$  и  $B$ .

**Влияние пригруза на осадку основания в условиях пространственной задачи**

Пусть имеем балку, лежащую на упругом основании, на поверхности которого расположен пригруз в виде произвольной распределенной нагрузки.

Аналогично предыдущему случаю расчленим балку на участки одинаковой длины.

Для учета влияния пригруза расчленим и поверхность основания на квадраты со сторонами, равными принятой длине участков балки. При этом сетку квадратов будем наносить так, чтобы ось балки проходила через центры тяжести квадратов параллельно одному из семейств линий сетки. Примем, что в пределах площади каждого квадрата, пригруз распределен равномерно. Тогда равнодействующая пригруза по площади каждого квадрата будет приложена в его центре.

Таким образом, распределенный по произвольному закону пригруз, можно представить в виде системы сосредоточенных сил, приложенных в центрах квадратов сетки (рис. 2).

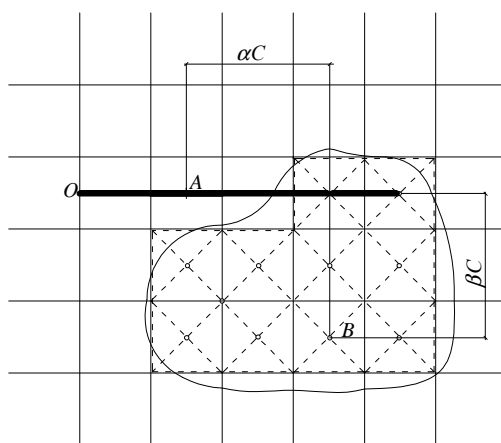


Рис. 2. Распределенный по произвольному закону пригруз

Из рисунка 2 видно, что при этом контур поверхности загрузки заменяется ломаным контуром, очерченным по сторонам квадратов сетки.

Известно, что осадка произвольной точки  $A$  поверхности упругого полупространства от сосредоточенной силы  $P$ , приложенной в некоторой точке  $B$  этой поверхности, выразится согласно решению Буссинеска формулой:

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0} \cdot \frac{1}{\rho}, \quad (6)$$

где  $E_0$  – модуль упругости материала основания;  $\nu_0$  – модуль Пуассона этого материала;  $\rho$  – расстояние между точками  $A$  и  $B$ .

Учитывая, что реальные нагрузки распределены всегда по некоторой площади, целесообразно в этом случае использовать решение профессора Б.Н. Жемочкина, а именно: при нагрузке  $P$ , равномерно-распределенной по площади некоторого прямоугольника  $b \times c$ , центр которого в точке  $B$ , осадка – точка  $A$  (рис. 3) – выразится формулой:

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0 \cdot c} \cdot F\left(\frac{b}{c}, \frac{x}{c}\right), \quad (7)$$

где  $x$  – расстояние между точками  $A$  и  $B$ ;  $F$  – функция, определяемая формулами (8)–(11).

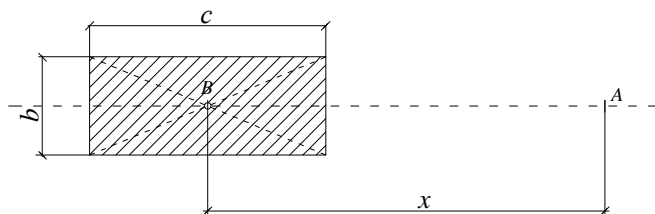


Рис. 3

Функция  $F$

при  $x > \frac{c}{2}$  выразится следующей формулой:

$$F = \frac{c}{b} \cdot \left\{ \begin{aligned} & 2 \ln \frac{b}{c} - \ln \left[ \left( \frac{2^x}{c} \right)^2 - 1 \right] - 2 \frac{x}{c} \cdot \ln \frac{2^x + 1}{2^x - 1} + \frac{b}{c} \cdot \ln \left[ \frac{2^x + \frac{c}{b} + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} + \frac{c}{b} \right)^2 + 1}}{2^x - \frac{c}{b} + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} - \frac{c}{b} \right)^2 + 1}} \right] + \\ & + 2 \frac{x}{c} \cdot \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} + \frac{c}{b} \right)^2 + 1}}{1 + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} - \frac{c}{b} \right)^2 + 1}} \right] + \ln \left[ 1 + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} + \frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] \cdot \left[ 1 + \sqrt{\left( \frac{2^x}{b} - \frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

при  $x = 0$

$$F = 2 \cdot \frac{c}{b} \cdot \left\{ \ln \left( \frac{b}{c} \right) + \frac{b}{c} \cdot \ln \left[ \frac{c}{b} + \sqrt{\left( \frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] + \ln \left[ 1 + \sqrt{\left( \frac{c}{b} \right)^2 + 1} \right] \right\}. \quad (9)$$

Для рассматриваемого случая (квадратная сетка)  $b = c$  и функции примут значения:

при  $x > \frac{c}{2}$

$$F = -\ln \left[ \left( \frac{2^x}{c} \right)^2 - 1 \right] - 2 \frac{x}{c} \cdot \ln \left[ \frac{2^x - 1}{2^x + 1} \right] + \ln \left[ \frac{2^x + 1 + \sqrt{(2^x + 1)^2 + 1}}{2^x - 1 + \sqrt{(2^x - 1)^2 + 1}} \right] + 2 \frac{x}{c} \cdot \ln \left[ \frac{1 + \sqrt{(2^x + 1)^2 + 1}}{1 + \sqrt{(2^x - 1)^2 + 1}} \right] + \ln \left[ 1 + \sqrt{(2^x + 1)^2 + 1} \right] \cdot \left[ 1 + \sqrt{(2^x - 1)^2 + 1} \right] \quad (10)$$

при  $x = 0$

$$F = 4 \cdot \ln(1 + \sqrt{2}). \quad (11)$$

Видим, что и формулу Буссинеска можно представить аналогично формуле Б.Н. Жемочкина:

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0 \cdot c} \cdot \xi, \quad (12)$$

где  $\xi = \frac{c}{x}$ .

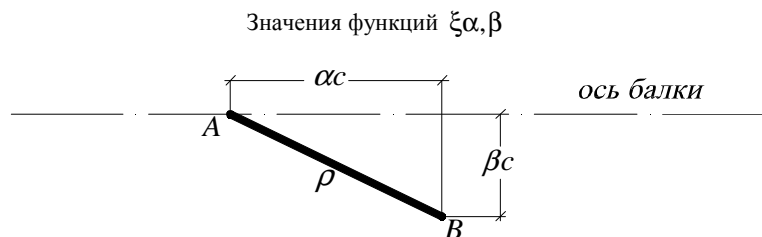


Рис. 4. Расположение пригруза относительно точки  $A$

Сравним оба решения при различных  $x$ , получим следующие результаты, представленные в таблице.

| $x/c$ | 0        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 7     | 10    | 15    | 20    |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\xi$ | $\infty$ | 1,000 | 0,500 | 0,333 | 0,256 | 0,200 | 0,143 | 0,100 | 0,057 | 0,050 |
| $F$   | 3,525    | 1,038 | 0,505 | 0,335 | 0,251 | 0,200 | 0,143 | 0,100 | 0,057 | 0,050 |
| расх. | $\infty$ | 3,540 | 0,990 | 0,600 | 0,400 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Из приведенной таблицы видно, что при  $\frac{x}{c} \geq 1$  расхождение обоих значений незначительно; поэтому при  $\frac{x}{c} \geq 1$  решение Жемочкина Б.Н. можно с известным приближением заменить решением Буссинеска.

Таким образом, осадку в некоторой точке А поверхности упругого основания от силы Р, приложенной в точке В будем вычислять по формуле:

$$\delta = \frac{P \cdot (1 - \nu_0^2)}{\pi \cdot E_0 \cdot c} \cdot \xi_{\alpha, \beta},$$

где  $\xi_{\alpha, \beta}$  – функция зависящая от координат: точек А и В, значения которой приведены в таблице выше.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Афендульев, А.А. Применение метода сил при расчете балок на связном упругом основании / А.А. Афендульев, П. С. Скипакий // Труды Г.И.С.И., 1956. – 25 с.
2. Афендульев, А.А. К вопросу расчета балок на упругом основании при односторонней связи / А.А. Афендульев, П.С. Скипакий // Труды Г.И.С.И., 1956. – 25 с.
3. Клепиков, С.Н. Расчет конструкций на упругом основании / С.Н. Клепиков. – Киев: Будівельник, 1967. – 183 с.

УДК 624.1

#### РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ МЕТОДОМ НАКЛОННЫХ СИЛ

**А.Д. МАТВЕЕВА**

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.П. КРЕМНЕВ, Н.Н. ВИШНЯКОВ)

*Проводится сравнительный анализ метода наклонных сил и метода круглоцилиндрических поверхностей при расчете устойчивости грунтовых откосов. Приведен пример расчета устойчивости грунтового откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения и методом наклонных сил.*

В практике строительства часто возникает необходимость оценки устойчивости откосов. Это касается как откосов природного происхождения, так и полученных искусственно в результате устройства дамб, плотин и т.п. Ошибки при решении задачи устойчивости откосов могут привести к потере устойчивости и образованию оползня. Опасность образования оползня усугубляется тем, что обрушение грунтовых масс, как правило, происходит внезапно и захватывает значительные по объему участки грунта. Такое обрушение стенок траншей или котлованов может привести к гибели рабочих, а в случае образования оползня вблизи здания или сооружения к его практически полному разрушению. Даже небольшая прослойка слабого грунта в теле откоса, игнорируемая при проведении изысканий в обычных условиях, может стать роковой для откоса. Устранение последствий обрушения откоса, как правило, приводит к значительным денежным затратам. Поэтому оценка устойчивости откоса является одной из важнейших задач механики грунтов.

Наиболее распространенным методом расчета устойчивости откоса является метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Принцип расчета заключается в том, что мы задаем поверхность скольжения с центром в точке О, и для нахождения коэффициента запаса устойчивости определяется сумма моментов удерживающих к сумме моментов сдвигающих:

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{сд}}$$