

переводится в горизонтальных направляющих 10 в нерабочее положение за пределы корпуса ударного устройства.

После выхода из зацепления с ударной частью 5 секторного выступа 9 приводного ролика 8 ударная часть 5 падает вниз, нанося удар соосным выступом 6 по сердечнику 3 составной сваи 1 (рис. 2, а).

При нанесении четных ударов параллельно с подъемом ударной части переходной ударник 11 переводится в горизонтальных направляющих 10 в рабочее, соосное с ударной частью 5, положение. При последующем падении ударной части 5 она наносит удар своим нижним торцом 14 по промежуточному ударнику 11 и, через ударник 11, по полому стволу 2 составной сваи 1, при этом соосный выступ 6 свободно заходит в отверстие 12 промежуточного ударника 11 (рис. 2, б).

Так как отказ полого ствола 2 превышает отказ сердечника 3 составной сваи 1 в заключительной стадии нанесения удара по полному стволу 2 (в рабочем положении промежуточного ударника 11), после погружения полого ствола 2 на величину отказа сердечника 3 в результате нанесения предшествующего удара, соосный выступ 6 ударной части 5 упирается в сердечник 3 и в дальнейшем происходит совместное погружение полого ствола 2 и сердечника 3 составной сваи 1, при этом осуществляется выравнивание отказов полого ствола 2 и сердечника 3 (рис. 2, б).

При проведении динамических испытаний составной сваи 1 промежуточный ударник 11 переводят в рабочее положение, благодаря чему обеспечивается одновременное нанесение ударов ударной частью 5 как по полному стволу 2, так и по сердечнику 3 составной сваи 1.

Следует отметить, что ударное устройство для погружения составных свай 1 может также успешно использоваться для погружения в грунт забивкой обычных свай, в этом случае промежуточный ударник находится только в рабочем положении.

Предлагаемое конструктивное решение позволяет примерно в два раза увеличить (в случае если массы полого ствола и сердечника примерно равны) соотношение  $\mu$ , благодаря чему в 2-2,4 раза снижаются энергозатраты на погружение составных свай в грунт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чернюк В.П., Пчелин В.Н., Шашевская Н.А. Технология строительства в особых условиях (курс лекций). – Брест: Издательство БрГТУ, 2005. – 132 с.
2. Патент РБ № 4861, МКИ E 02D 7/00. Ударное устройство для раздельного погружения составной сваи / П.С. Пойга, В.Н. Пчелин, С.М. Семенюк, Г.Г. Сивуда; УО «БрГТУ» (ВУ). – Заявл. 26.02.08; Опубл. 30.12.08; Бюл. № 6 // Афіцыйны бюлетень. – 2008. – № 6.

УДК 624.04

Жданов Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.

#### К РАСЧЕТУ БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ

Рассматривается статический расчет балок на упругом основании методом местных упругих деформаций с использованием следующих гипотез и допущений:

- принимается, что основание (грунт) обладает упругими свойствами и его деформация пропорциональна прикладываемой нагрузке;
- считаем, что между опорной поверхностью балки и основанием существует неразрывная связь, поэтому теоретически в основании могут возникать и растягивающие усилия;
- принимается, что реактивные силы, возникающие в точках основания, пропорциональны упругим осадкам (перемещениям) этих точек.

БУРБ J.

Последняя гипотеза носит название гипотезы Винклера, а рассматриваемое основание называют винклеровым основанием. Упругую реакцию для таких оснований можно выразить зависимостью

$$r = cby, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина балки со стороны ее опирания на основание;  $c$  – коэффициент постели, представляющий реакцию единицы площади основания (грунта) при его осадке, равной единице;  $y$  – прогиб балки.

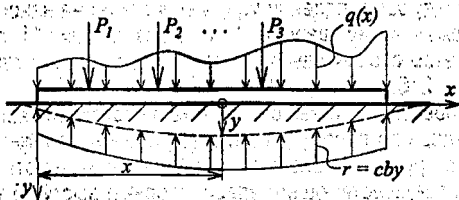


Рис. 1 – Расчётная схема балки

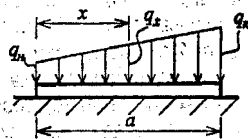


Рис. 2 – Трапецидальная нагрузка

Значения коэффициента постели устанавливаются опытным путем или для различных видов оснований принимаются из справочников [1].

Балка, лежащая на сплошном упругом основании, является статически неопределимой системой. Интенсивность реакции в каждой точке связана с прогибом балки в этих точках и, следовательно, для решения задачи необходимо найти уравнение изогнутой оси балки, в соответствии с которым можно будет определить внутренние силы в балке. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки имеет вид [2]

$$Ely'' = M$$

Продифференцировав это выражение дважды, и учитывая, что

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = q^*$$

где  $q^*$  – распределенная нагрузка, действующая на балку и включающая внешнюю нагрузку  $q$  и реакцию основания  $r$ , то есть

$$q^* = q - r,$$

получим

$$Ely'''' = q - r,$$

или с учётом (1)

$$Ely'''' + cby = q. \quad (2)$$

В случае отсутствия внешних распределенных нагрузок уравнение будет однородным, т.е.

$$Ely'''' + cby = 0$$

или

$$y'''' + 4\lambda^4 y = 0,$$

где

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{cb}{4EI}}$$

Общее решение однородного уравнения определяется в виде

$$y = e^{-\lambda x} (C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x) + e^{\lambda x} (C_3 \sin \lambda x + C_4 \cos \lambda x). \quad (3)$$

Частное решение уравнения (2) ищется в форме соответствующей зависимости изменения функции нагрузки  $q(x)$ . Для нагрузки, распределенной по трапецидальной зависимости (рис. 2),

$$q_x = q_n + \frac{q_k}{a} x,$$

частное решение уравнения (2) определяется степенной функцией

$$y^* = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + K.$$

Подставив её в (2), найдем:

$$A = 0, \quad B = 0, \quad C = 0, \quad D = \frac{q_k}{a} \cdot \frac{1}{4\lambda^4}, \quad K = \frac{q_n}{bc}.$$

В результате частное решение получим в виде

$$y^* = \frac{q_n + \frac{q_k}{a} x}{bc}. \quad (4)$$

Для равномерно распределенных нагрузок

$$q(x) = q_0 = q$$

частное решение имеет вид

$$y = q/bc.$$

В результате полное решение уравнения (2) принимает вид

$$y = e^{-\lambda x} (C_1 \sin \lambda x + C_2 \cos \lambda x) + e^{\lambda x} (C_3 \sin \lambda x + C_4 \cos \lambda x) + \frac{1}{bc} \left( q_n + \frac{q_k}{a} x \right). \quad (5)$$

Постоянные  $C_1, C_2, C_3$  и  $C_4$  находятся из граничных условий.

При действии нескольких сосредоточенных и распределенных нагрузок балку следует разбивать на отдельные участки между точками приложения сил. В этом случае необходимо отдельно записывать для каждого из участков решение в виде (3) или (5). При этом на каждом из участков  $i$  будем иметь по четыре граничных условия для определения постоянных  $C_1, C_2, C_3$  и  $C_4$ . Всего число неизвестных постоянных будет равно  $4n$ , где  $n$  – число участков. Соответственно и число граничных условий должно быть равно  $4n$ . Могут использоваться следующие граничные условия:

а) на концах балки:

$$y'' = -M_0/EI; \quad y''' = -P_0/EI, \quad (6)$$

где  $M_0$  и  $P_0$  соответственно момент и поперечная сила, приложенные по краям балки;

б) в точках контактов участков:

$$y_i^{кон} = y_{i+1}^{нов}; \quad y_i^{II кон} = y_{i+1}^{II нов}; \quad M_i^{кон} = M_{i+1}^{нов} + M_i; \quad Q_i^{кон} = Q_{i+1}^{нов} + P_i, \quad (7)$$

где  $y_i^{кон}$ ,  $y_i^{II кон}$ ,  $M_i^{кон}$ ,  $Q_i^{кон}$ ,  $y_{i+1}^{нов}$ ,  $y_{i+1}^{II нов}$ ,  $M_{i+1}^{нов}$ ,  $Q_{i+1}^{нов}$  – соответственно прогиб, угол поворота, момент и поперечная сила на конце  $i$ -го участка и в начале следующего участка;  $M_i$  и  $P_i$  сосредоточенные момент и сила, приложенные в точках контактов участков.

После определения постоянных  $C_i$  подставим их в (5), и, дифференцируя, получим зависимости для определения прогиба, изгибающего момента и поперечной силы в любом сечении балки:

$$\theta = y' = \lambda(C_1 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x - \cos \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x)), \quad (8)$$

$$M = EI y'' = 2\lambda^2 (C_1 e^{-\lambda x} (-\cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (\sin \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (\cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x)), \quad (9)$$

$$Q = EI y' = 2\lambda^3 (C_1 e^{-\lambda x} (\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_2 e^{-\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_3 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x + \cos \lambda x) + C_4 e^{\lambda x} (-\sin \lambda x - \cos \lambda x)). \quad (10)$$

Рассмотрим пример расчета, используя изложенную методику.

Исходные данные:  $c = 16200$  кН/м<sup>3</sup>,  $b = 1$  м,  $h = 0,6$  м,  $E = 2700$  МПа.

Схема балки и нагрузки на нее приведены на рис. 3.

Определим параметры балки:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1 \cdot 0,6^3}{12} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4;$$

$$EI = 2700 \cdot 10^6 \cdot 18 \cdot 10^{-3} = 4,86 \cdot 10^5 \text{ кН/м}^3;$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{c \cdot b}{4EI}} = \sqrt{\frac{1,62 \cdot 10^4}{4 \cdot 4,86 \cdot 10^5}} = 0,302 \text{ 1/м.}$$

Введем обозначение  $v = x\lambda$ .

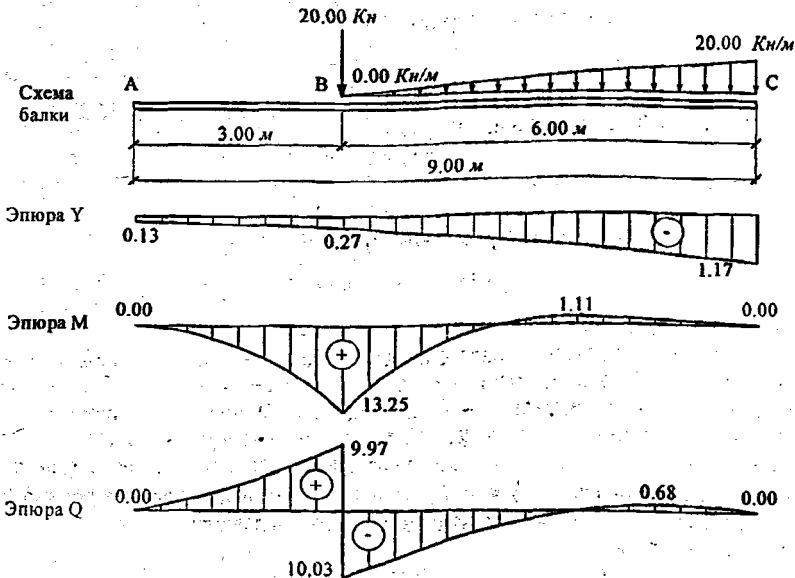


Рис. 3 – Эпюры прогибов, моментов и поперечных сил

Используя граничные условия в точках А, В и С, получим систему разрешающихся уравнений.

В точке А при  $x_1 = 0$  ( $v_1 = x_1 \lambda = 0$ ) граничные условия имеют вид (6):

$$M = Ely'' = 0; \quad Q = Ely''' = 0.$$

Подставив их в (9) и (10), получим уравнения:

$$C_1' - C_3' = 0; \quad (11)$$

$$C_1' + C_2' + C_3' - C_4' = 0.$$

В точке В при  $x_1 = 3$  ( $v_2 = x_2 \lambda = 0,906$ ) условия контакта участков запишутся в виде (7):

$$y' = y''; \quad \theta' = \theta''; \quad M' = M''; \quad P' = P'' + P.$$

Подставив их в (5), (8)–(10) получим уравнения:

$$0,318 C_1' + 0,249 C_2' + 1,949 C_3' + 1,526 C_4' - 0,318 C_1'' - 0,249 C_2'' - 1,949 C_3'' - 1,526 C_4'' = -\frac{0}{bc};$$

$$-0,069 C_1' - 0,567 C_2' + 3,475 C_3' - 0,423 C_4' + 0,069 C_1'' + 0,567 C_2'' - 3,475 C_3'' + 0,423 C_4'' = -2,06 \cdot 10^{-4}; \quad (12)$$

$$-0,25 C_1' + 0,318 C_2' + 1,526 C_3' - 1,949 C_4' + 0,25 C_1'' - 0,318 C_2'' - 1,526 C_3'' + 1,949 C_4'' = \frac{0}{2\lambda^2 \cdot EI};$$

$$0,567 C_1' - 0,069 C_2' - 0,423 C_3' - 3,475 C_4' - 0,567 C_1'' + 0,069 C_2'' + 0,423 C_3'' + 3,475 C_4'' = 7,349 \cdot 10^{-4};$$

В точке С при  $x_3 = 9$  ( $v_1 = x_1 \lambda = 2,718$ ), аналогично точке А, будем иметь:

$$\begin{aligned} 0,06 C_1^{II} + 0,027 C_2^{II} - 13,79 C_3^{II} - 6,23 C_4^{II} &= 0; \\ -0,033 C_1^{II} - 0,087 C_2^{II} - 20,01 C_3^{II} + 7,56 C_4^{II} &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

В результате получим систему восьми уравнений, решив которую, найдем постоянные  $C_i$  для первого и второго силового участка соответственно:

$$\begin{aligned} C_1^I &= -4,257 \cdot 10^{-5}; & C_2^I &= -2,327 \cdot 10^{-5}; & C_3^I &= -4,257 \cdot 10^{-5}; & C_4^I &= -1,084 \cdot 10^{-4}; \\ C_1^{II} &= -7,121 \cdot 10^{-4}; & C_2^{II} &= -1,239 \cdot 10^{-4}; & C_3^{II} &= -5,993 \cdot 10^{-7}; & C_4^{II} &= -6,083 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Подставив эти постоянные в (5), (8)-(10), получим выражения для определения прогиба, угла поворота и усилий  $M$  и  $Q$  на участках балки.

На основе полученных выражений построим эпюры прогибов, моментов и поперечных сил (рис. 3), определив их значения в характерных сечениях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. – М., 1985. – 480 с.
2. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов: Учебник / Под ред. А.Е. Сарсяна. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.

УДК 681.3:624.04

Жданов Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Игнатюк В.И.

### УЧЕБНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Рассматривается создание учебной компьютерной программы статического расчёта балок на упругом основании. Расчет выполняется методом местных упругих деформаций на основе методики, изложенной в [1]. На основе данной методики разработан алгоритм и составлена компьютерная программа расчета балок на упругом основании.

Программа написана на языке C++ [2]. Пользовательский интерфейс реализован в системе Borland C++ Builder. Основное окно программы представлено на рис. 1.

Управление программой производится через строку меню или при помощи панели инструментов. Для ввода исходных характеристик балки и основания необходимо вызвать окно «Исходные данные» через пункт меню «Балка – Исходные данные» или на панели инструментов. Аналогично для ввода или изменения нагрузки, действующей на балку, необходимо вызвать пункт меню «Нагрузка» или с панели инструментов выбрать соответствующий вид нагрузки (сосредоточенная, распределённая, момент) и указать её параметры (рис. 2).

Результаты расчета представляются как в графическом (в виде эпюр усилий и перемещений), так и в численном (табличном) видах (рис. 1 и 3 соответственно). Расчётные величины могут быть получены в любом промежуточном сечении (рис. 4).

На рис. 1 показан расчет при помощи программы «UrgOs» балки прямоугольного сечения на упругом основании со следующими параметрами: длина – 12 м, ширина – 1 м, высота – 0,6 м, модуль упругости – 27000 МПа, коэффициент постели – 16200 кН/м<sup>3</sup>. Нагружение балки показано на рисунке.

Разработанная программа «UrgOs» позволяет выполнять расчёт балок на упругом основании на основе принятой модели и выполнять исследования влияния параметров на усилия системы. Можно выполнить расчет балки на упругом основании при изменении коэффициента постели по длине балки по любому закону, выполнив аппроксимацию зависимости коэффициента постели и разбив балку на отдельные участки в пределах которых коэффициент постели принимают постоянным. Программа может использоваться в расчетной практике и учебном процессе.