

УДК 624.04

В.В.Максимов, А.К.Бейсебаев

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХПРОЛЕТНОЙ РАМЫ**

*Мақалада конструкцияның материал сыйымдылығының төмендеуіне әкелетін рамадағы бастапқы кернеу шамасын табудың алгоритмі ұсынылған, мәселе ДЭЕМ-да ресімдеу есебін жүзеге асыру негізінде шешіледі.*

*In work the algorithm of a finding of sizes of a preliminary pressure in the frames, the charge of a material of a carrying design resulting in decrease is offered. The problem solves on the basis of the formulation of a task of optimization subsequent its realization on a personal computer.*

Одним из эффективных методов снижения материалоемкости несущих конструкций является их предварительное напряжение. В инженерной практике такие элементы в основном используются в балочных конструкциях. Применение преднапряжения в рамных конструкциях в настоящее время имеет ограничения вследствие отсутствия приемлемых способов определения значения проектных параметров предварительного напряжения, а также соответствующих технологий их изготовления. Несколько восполнить данный пробел и предназначена данная работа.

Предварительные напряжения предлагается создать за счет изменения геометрических проектных параметров в креплении несущей рамной конструкции к фундаменту путем незначительных смещений в вертикальном и горизонтальном направлениях, а также отклонения от вертикали оси колонн от проектного.

Проблема рационального назначения параметров предварительного напряжения решается в следующем порядке:

- 1) вначале проводится прочностной расчет рамы от внешней нагрузки, без предварительного напряжения;
- 2) определяется влияние отдельных смещений в закреплениях рамы на внутренние усилия в конструкции;
- 3) на основе суперпозиции решением задачи оптимизации назначение величин рациональных параметров смещения.

**Прочностной расчет рамы на внешнюю нагрузку.** Рассмотрим каркас двухпролетной несущей рамной конструкции промышленного здания с параметрами и нагрузкой, приведенной на рисунке 1а. Прочностной расчет проведем методом перемещений [1]. Степень кинематической неопределенности данной рамы  $n = n_y + n_x = 4$ .

Основную систему метода перемещений получим, вводя четыре дополнительных связи, три из которых препятствуют угловому перемещению узлов, а четвертая — линейному (рис. 1б).

Уравнения равновесия рамы, выраженные через введенные перемещения  $z_1, z_2, z_3, z_4$ , получим, приравнявая нулю суммарные реакции в присоединенных связях и моменты в угловых связях (сосредоточенная сила в линейной связи).

Система канонических уравнений метода перемещений [2] для данной рамы имеет вид:

$$\begin{cases} r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}Z_3 + r_{14}Z_4 + R_{1F} = 0, \\ r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}Z_3 + r_{24}Z_4 + R_{2F} = 0, \\ r_{31}Z_1 + r_{32}Z_2 + r_{33}Z_3 + r_{34}Z_4 + R_{3F} = 0, \\ r_{41}Z_1 + r_{42}Z_2 + r_{43}Z_3 + r_{44}Z_4 + R_{4F} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

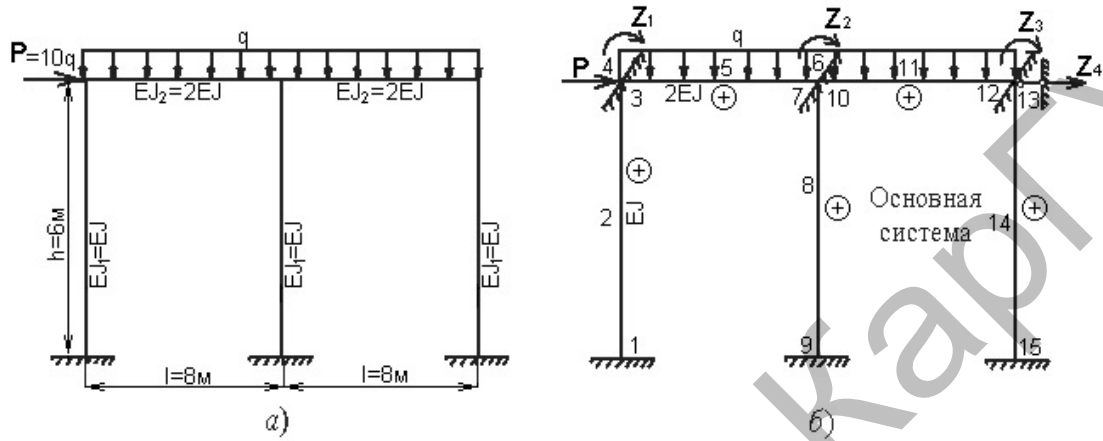


Рис. 1

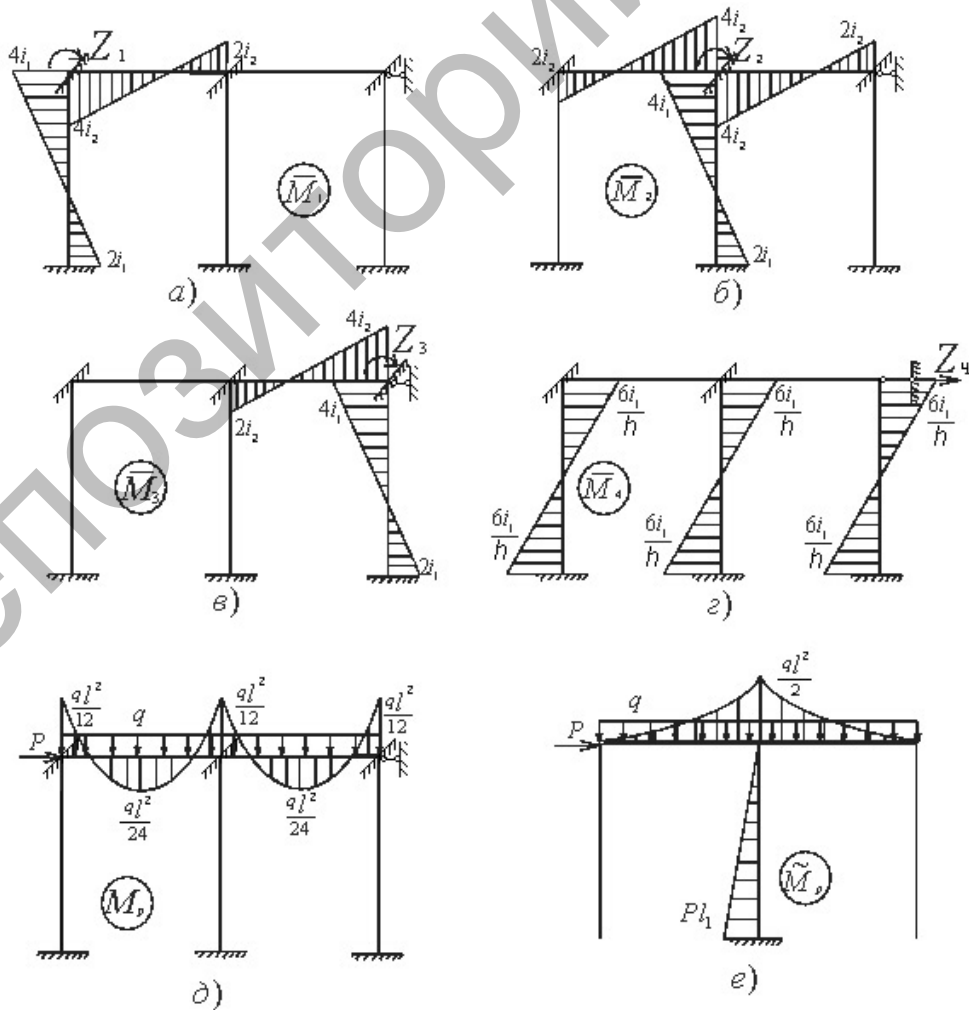


Рис. 2





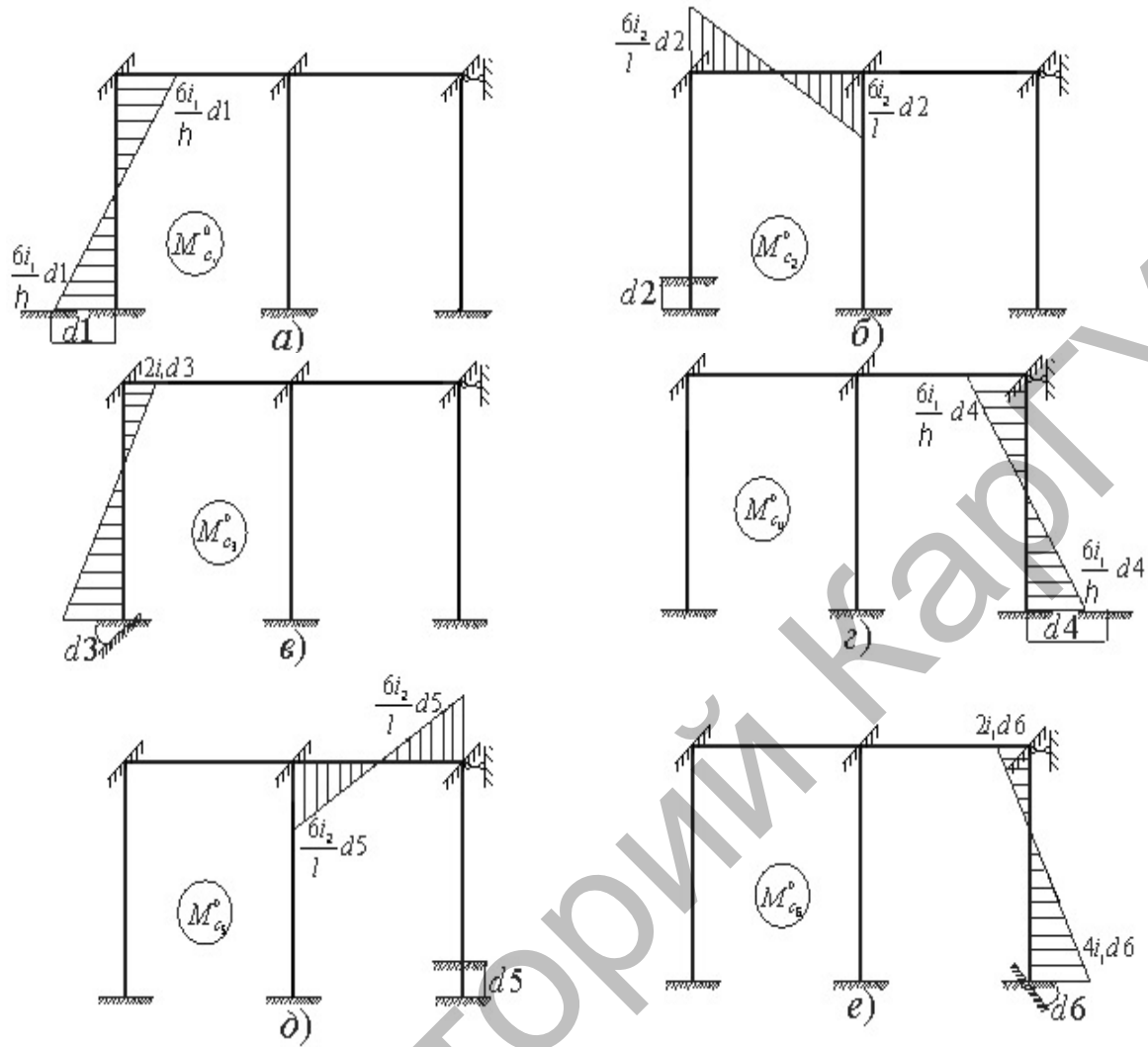


Рис. 4

Результаты расчетов от каждого единичного смещения следующие:

$M_{c1} = EJ$	$M_{c2} = EJ$	$M_{c3} = EJ$	$M_{c4} = EJ$	$M_{c5} = EJ$	$M_{c6} = EJ$
$\begin{pmatrix} -0,089 \\ -0,013 \\ 0,063 \\ 0,063 \\ 0,027 \\ -0,009 \\ -0,031 \\ 0,005 \\ 0,041 \\ -0,041 \\ -0,002 \\ 0,037 \\ -0,037 \\ 0,004 \\ 0,044 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,009 \\ -0,019 \\ -0,046 \\ -0,046 \\ 0,013 \\ 0,071 \\ -0,012 \\ -0,01 \\ -0,008 \\ 0,06 \\ 0,015 \\ -0,029 \\ 0,029 \\ 0,0002 \\ -0,029 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,455 \\ -0,186 \\ 0,082 \\ 0,082 \\ 0,047 \\ 0,013 \\ -0,125 \\ 0,012 \\ 0,149 \\ -0,113 \\ 0,003 \\ 0,118 \\ -0,118 \\ 0,014 \\ 0,145 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,044 \\ -0,004 \\ 0,037 \\ 0,037 \\ -0,002 \\ -0,041 \\ 0,031 \\ -0,005 \\ -0,041 \\ -0,009 \\ 0,027 \\ -0,063 \\ 0,013 \\ 0,089 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,029 \\ -0,0002 \\ -0,029 \\ -0,029 \\ 0,015 \\ 0,06 \\ 0,012 \\ 0,01 \\ 0,008 \\ 0,071 \\ 0,013 \\ -0,046 \\ 0,046 \\ 0,019 \\ -0,009 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,145 \\ -0,014 \\ 0,118 \\ 0,118 \\ 0,003 \\ -0,113 \\ 0,125 \\ -0,012 \\ -0,149 \\ 0,013 \\ 0,047 \\ 0,082 \\ -0,082 \\ 0,186 \\ 0,455 \end{pmatrix}$

Соответствующие эпюры изгибающих моментов отдельно от каждого смещения приведены на рисунке 5.

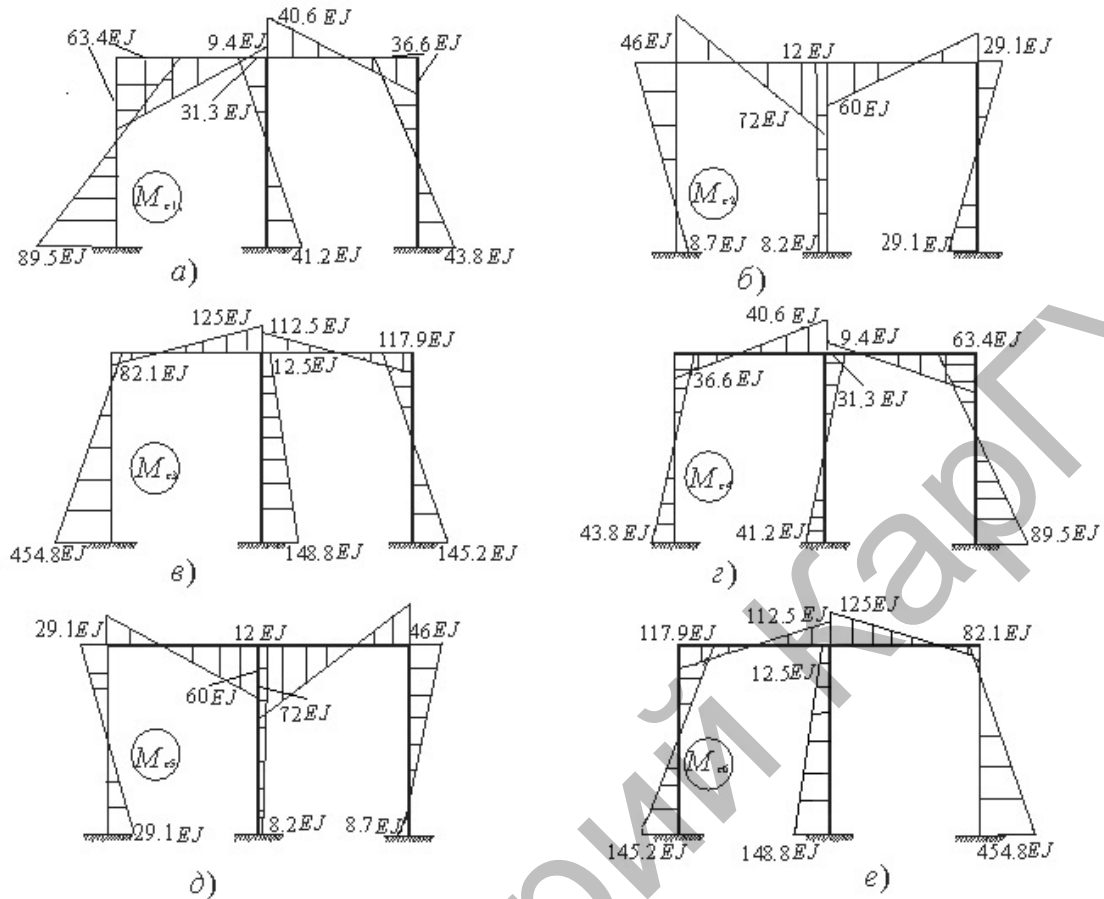


Рис. 5

Эпюра изгибающих моментов от совместного действия внешней нагрузки и всех шести смещений на основе принципа независимости действия сил и перемещений, строится по формуле

$$M = M_n + M_{c1} + M_{c2} + M_{c3} + M_{c4} + M_{c5} + M_{c6}.$$

Однако ввиду того, что смещения  $d_i$ , назначенные ранее, приняты произвольно, то с целью их конкретизации сведем задачу к оптимизации конструкции. За целевую функцию примем уменьшение по модулю изгибающих моментов, возникающих в опасных сечениях конструкции. Смещения  $d_i$  ( $i=1, \dots, 6$ ) примем в качестве проектных параметров, умножив их предварительно на неизвестные  $X_i$  ( $i=1, \dots, 6$ ). Тогда предыдущая формула может быть представлена в виде

$$M = M_n + X_1 M_{c1} + X_2 M_{c2} + X_3 M_{c3} + X_4 M_{c4} + X_5 M_{c5} + X_6 M_{c6}, \quad (4)$$

где  $X_i$  — искомые проектные параметры при смещениях  $d_i$  ( $i=1, \dots, 6$ ).

Анализ прочностного расчета (рис. 3) показывает, что большие по модулю изгибающие моменты возникают в сечениях рамы 1, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 15 (рис. 1б). Сечения 4, 13 не исследуются, так как они совпадают с сечениями 3, 12. В результате согласно (4) получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} M_1 &= -9,43 + (-89 * X_1 + 9 * X_2 - 455 * X_3 - 44 * X_4 + 29 * X_5 - 145 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_3 &= 3,69 + (63 * X_1 - 46 * X_2 + 82 * X_3 + 37 * X_4 - 29 * X_5 + 118 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_5 &= 3,89 + (27 * X_1 + 13 * X_2 + 47 * X_3 - 2 * X_4 + 15 * X_5 + 3 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_6 &= -11,9 + (-9 * X_1 + 71 * X_2 + 13 * X_3 - 41 * X_4 + 60 * X_5 - 113 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_7 &= 11,03 + (-31 * X_1 - 12 * X_2 - 125 * X_3 + 31 * X_4 + 12 * X_5 + 125 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_9 &= -13,1 + (41 * X_1 - 8 * X_2 + 149 * X_3 - 41 * X_4 + 8 * X_5 - 149 * X_6) * 0,001 * EJ, \\ M_{11} &= 2,51 + (-20 * X_1 + 15 * X_2 + 3 * X_3 + 27 * X_4 + 13 * X_5 + 47 * X_6) * 0,001 * EJ, \end{aligned}$$

$$M_{12} = -10,09 + (37 * X_1 - 29 * X_2 + 118 * X_3 + 63 * X_4 - 46 * X_5 + 82 * X_6) * 0,001 * EJ,$$

$$M_{15} = 11,6 + (44 * X_1 - 29 * X_2 + 145 * X_3 + 89 * X_4 - 9 * X_5 + 455 * X_6) * 0,001 * EJ.$$

Для минимизации данных моментов на основе метода наименьших квадратов была разработана программа на ЭВМ [7], в основу которой взят модифицированный метод поиска [8]. Алгоритм выполнения программы представлен в виде блок-схемы на рисунке 6.

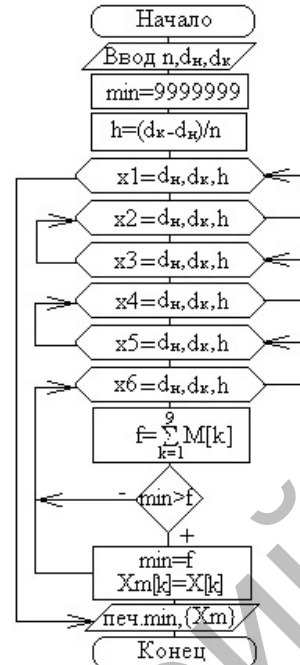


Рис. 6

В результате выполнения программы получилось, что искомые рациональные смещения опор рамы равны:  $X_1 = 0,032$  м,  $X_2 = 0,067$  м,  $X_3 = -0,004$  рад,  $X_4 = -0,019$  м,  $X_5 = -0,041$  м,  $X_6 = -0,0012$  рад. А окончательная эпюра изгибающих моментов от внешней нагрузки и предварительных смещений опор на указанные расчетные величины примет вид, показанный на рисунке 7.

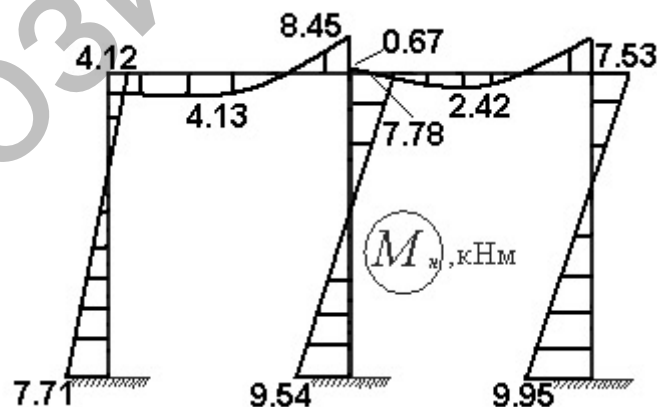


Рис. 7

Таким образом, в результате рационального предварительного смещения опор преднапряжения конструкции максимальный момент, равный 13,1 кНм, уменьшился и стал равен 9,95 кНм (рис. 7).

Если взять рамы с прямоугольным сечением стержней  $a = 2b$ , где  $a$  — высота,  $b$  — ширина сечения, учитывая условие прочности  $\frac{M_{изг}}{W_x} \leq [\sigma]$ , где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение,  $M_{изг}$  — макси-

мальный изгибающий момент,  $W_x$  — момент сопротивления при изгибе, значение которого  $W_x = \frac{bh^2}{6}$  [6], и сравнить материалоемкость двух рассматриваемых случаев, то получаем, что для рамы без предварительного напряжения с размерами сечения  $b = 0.0497\text{ м}$ ,  $a = 0.0994\text{ м}$  объем материала составляет  $V = 0.168\text{ м}^3$ . В случае рекомендуемого предварительного напряжения размеры сечения становятся  $b = 0.0447\text{ м}$ ,  $a = 0.0894\text{ м}$ , а материалоемкость составляет  $V = 0.136\text{ м}^3$ .

**Выводы.** Предложенный алгоритм нахождения параметров предварительного напряжения конструкции позволяет снизить материалоемкость конструкции. Величина преднапряжения возможна в виде незначительного изменения геометрических параметров конструкции или смещением опор, что с точки зрения технологии изготовления не вызывает осложнений. Исследования показали, что экономический эффект от использования преднапряженной рамы составляет по материалу порядка 10 %.

#### Список литературы

1. Дарков А.В., Шапашников Н.Н. Строительная механика. — М.: Высш. шк., 1986. — 607 с.
2. Саргсян А.Е., Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джингвелашвили Г.А. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов. — М.: Высш. шк., 2000. — 416 с.
3. Бейсебаев А.К. Численное моделирование задач механики элементов конструкций. — Караганда, 2002. — 143 с.
4. Строительная механика. Руководство к практическим занятиям / Под ред. Ю.И.Бутенко — Киев: Вища шк., 1984. — 328 с.
5. Херхагер М., Партолив Х. Mathcad 2000: полное руководство. — Киев: ВНУ, 2000. — 416 с.
6. Степин П.А. Сопротивление материалов. — М.: Высш. шк., 1968. — 424 с.
7. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран, Паскаль. Томск: РАСКО, 1991. — 271 с.
8. Турчак Л.И. Основы численных методов: учебное пособие для студентов вузов. — М.: Высш. шк., 1987. — 430 с.

ӘОЖ 539.3

А.Ж.Нұрғазиева, Р.А.Қайыров, С.Б.Ахажанов

Е.А.Бекетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті

#### СЕРПІМДІ НЕГІЗДЕГІ АРҚАЛЫҚТЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ИЛҮІ

*Построена теория расчета под влиянием динамической нагрузки балки на упругом основании. Получено разрешающее уравнение изгиба балки. Учет упругого основания произведен с помощью параметра. Рассмотрены примеры расчета балок на упругом основании. Результаты приведены в табличной форме.*

*The theory of calculation under influence of dynamic loading of a beam on the elastic basis is constructed. The allowing equation of a bend of a beam is received. The account of the elastic basis is made with the help of parameter. Examples of calculation of beams on the elastic basis are considered. Results are resulted in the tabulated form.*

Қарқындылығы  $q(x_1) = q_0$  бірқалыпты жайылған динамикалық жүктеме әсер еткендегі топса арқылы бекітілген арқалықты (ұзындығы —  $l$ ; қалыңдығы —  $h$ ; материалының серпімділік модулі —  $E$ ) координаттық жүйеде  $\left(-\frac{l}{2} \leq x_1 \leq \frac{l}{2}, -\frac{h}{2} \leq x_3 \leq \frac{h}{2}\right)$  қарастырайық. Ол (қалыңдығы —  $H = 2 \cdot l$ ; материалының серпімділік модулі —  $E_0$ ) серпімді негіздің үстінде орналасқан (сур. қара).