ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра строительной механики корабля

РАСЧЕТ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ НА ЭВМ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ О ПЯТИ МОМЕНТАХ

Методические указания

Ленинград
1990

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам в освоении программы расчета неразрезной балки по методу пяти моментов.

В них приведены краткие сведения об основных зависимостях метода, программа расчета неразрезной балки по методу пяти моментов, пример расчета балки на ЭВМ.

Методические указания могут быть использованы студентами в качестве пособия при выполнении УИРС, курсовых и дипломных работ.

ВОЛКОВ
Евгений Анатольевич

РАСЧЕТ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ НА ЭВМ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРЕМЫ О ПЯТИ МОМЕНТАХ

Методические указания

Отвественный редактор Р.А.Иосифов
Литературный редактор Э.В.Зубкова

Зак. Р-114. Тир.250. Уч.-изд.л.1,6. 14.09.1990.
Бесплатно. Тип.ЛКИ, Лоцманская, 10.

I. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Неразрезные балки, лежащие на независимых упругих опорах, являются примером статически неопределимых балочных систем. Они находят широкое применение в различных конструкциях корпуса судна [3], поэтому к расчету неразрезных балок приходится неоднократно прибегать как на различных стадиях *проектирования корпуса судна, так и в процессе выполнения* проверочных расчетов. Одним из наиболее распространенных методов расчета неразрезных балок является метод пяти моментов, все зависимости которого легко реализуются на ЭВМ. Ниже описывается программа, позволяющая автоматизировать расчет неразрезных балок по методу пяти моментов. Программа оформлена в виде подпрограммы, что позволяет использовать ее либо для отдельного расчета неразрезной балки, либо как составную часть более общей программы, выполняющей прочностные расчеты *судовых конструкций*.

2. РАСЧЕТ НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ МЕТОДОМ ПЯТИ МОМЕНТОВ

2.I. Основные зависимости метода пяти моментов

На рис.2.I изображены крайний левый, два смежных средних и крайний правый пролеты неразрезной балки. На балку действует поперечная нагрузка. Балка опирается на опоры, причем промежуточные опоры являются упругими, препятствующими прогибу балки, а крайние опоры - опорами наиболее общего типа, т.е. могут упруго препятствовать как просадке, так и повороту поперечного сечения балки на опоре. В дальнейшем будем считать, что момент инерции поперечного сечения балки остается неизменным в пределах отдельного пролета.

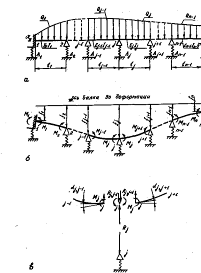

Рис.2.I. Многопролетная неразрезная балка: а - общий вид балки; б - деформация балки в процессе нагружения; в - схема взаимодействия j -й упругой опоры с пролетами, расположенными слева и справа от нее

На рис.2.I введены следующие обозначения:

n - число упругих опор балки, включая концевые;

l_j - длина пролета балки между опорами j и $j+1$;

E_j - модуль Юнга материала, из которого изготовлен j-й пролет балки;

I_j - момент инерции поперечного сечения балки на протяжении этого пролета;

Q_j - пролетная нагрузка между опорами j и $j+1$;

$\alpha_л, \alpha_п$ - *коэффициенты податливости заделок балки на* ее крайней левой и крайней правой опорах соответственно;

A_j - коэффициент податливости j -й упругой опоры;

M_j - изгибающий момент в сечении балки, совпадающем с ее j-й опорой;

f_j - просадка j-й опоры;

$\alpha_{j,j-1}$ - угол поворота поперечного сечения балки, совпадающего с j-й опорой, в пролете между опорами $j-1$ и j;

$\alpha_{j,j+1}$ - угол поворота того же поперечного сечения балки в пролете между опорами j и $j+1$;

R_j - реакция взаимодействия j-й опоры с j-м узлом балки;

$R_{j,j-1}$, $R_{j,j+1}$ - реакции взаимодействия j-го узла балки с пролетами, расположенными слева и справа от него соответственно.

Как известно [2], для раскрытия статической неопределимости неразрезной балки согласно методу пяти моментов следует мысленно разрезать балку во всех ее опорных сечениях и ввести в рассмотрение две группы неизвестных: основную и дополнительную. К основной группе относят статически неопределимые моменты M_j , характеризующие взаимодействие смежных пролетов, а к дополнительной - просадки упругих опор f_j . Чтобы определить неизвестные, необходимо составить уравнения, которые следуют из условия непрерывности углов поворота поперечных сечений балки в опорных сечениях:

$$\alpha_{j,j-1} = \alpha_{j,j+1}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \qquad (2.I)$$

Углы поворота поперечных сечений $\alpha_{j,j-1}$ и $\alpha_{j,j+1}$ определяются зависимостями

$$
\left.
\begin{aligned}
\alpha_{j,j-1} &= \frac{l_{j-1}}{6E_{j-1}I_{j-1}}M_{j-1} + \frac{l_{j-1}}{3E_{j-1}I_{j-1}}M_j + \alpha_{j,j-1}(Q_{j-1}) + \frac{f_j - f_{j-1}}{l_{j-1}}; \\
\alpha_{j,j+1} &= -\frac{l_j}{3E_jI_j}M_j - \frac{l_j}{6E_jI_j}M_{j+1} + \alpha_{j,j+1}(Q_j) + \frac{f_{j+1} - f_j}{l_j},
\end{aligned}
\right\} \qquad (2.2)
$$

где $\alpha_{j,j-1}(Q_{j-1})$ – угол поворота поперечного сечения балки на опоре с номером j от нагрузки Q_{j-1}, действующей на пролет, расположенный слева от опоры; $\alpha_{j,j+1}(Q_j)$ – угол поворота поперечного сечения балки на опоре с номером j от нагрузки Q_j, действующей на пролет, расположенный справа от опоры.

При составлении уравнений (2.I) для первой ($j = I$) и последней ($j = n$) упругих опор балки их следует несколько видоизменить

$$
\left.
\begin{aligned}
\alpha_{\text{л}}^{\text{у.з}} &= \alpha_{1,2}, \quad j = 1; \\
\alpha_{n,n-1} &= \alpha_{\text{п}}^{\text{у.з}}, \quad j = n.
\end{aligned}
\right\} \qquad (2.3)
$$

В уравнениях (2.3) $\alpha_{\text{л}}^{\text{у.з}}$ и $\alpha_{\text{п}}^{\text{у.з}}$ представляют собой углы поворота, возникающие в левой и правой упругих заделках соответственно под воздействием моментов M_1 и M_n (см. рис.2.I):

$$
\alpha_{\text{л}}^{\text{у.з}} = \mathfrak{A}_{\text{л}} M_1; \quad \alpha_{\text{п}}^{\text{у.з}} = -\mathfrak{A}_{\text{п}} M_n. \qquad (2.4)
$$

Коэффициенты податливости упругих заделок $\mathfrak{A}_{\text{л}}$ и $\mathfrak{A}_{\text{п}}$ могут изменяться в пределах от 0 до ∞. Случай, когда коэффициент податливости упругой заделки равен ∞, соответствует свободному *опиранию конца балки, что приводит к необходимости* исключения из системы уравнений (2.I) либо первого уравнения ($\mathfrak{A}_{\text{л}} = \infty$), либо последнего ($\mathfrak{A}_{\text{п}} = \infty$), либо обоих одновременно ($\mathfrak{A}_{\text{л}} = \mathfrak{A}_{\text{п}} = \infty$). Кроме того, во всех оставшихся уравнениях следует *положить* $M_1 = 0$ *либо* $M_n = 0$, *либо* $M_1 = M_n = 0$.

Согласно (2.2) в систему уравнений (2.I) входят как основные M_j, так и дополнительные f_j неизвестные. Для исключения дополнительных неизвестных f_j из системы (2.I) следует составить уравнения вида

$$
f_j = A_j R_j, \quad j = 1, 2, \ldots, n, \qquad (2.5)
$$

выражающие связь между просадкой j-й опоры f_j и реакцией R_j, действующей на нее со стороны балки и равной

$$
\left.
\begin{aligned}
R_j &= R_{j,j-1} + R_{j,j+1}; \\
R_{j,j-1} &= \frac{M_j - M_{j-1}}{l_{j-1}} + R_{j,j-1}(Q_{j-1}); \\
R_{j,j+1} &= \frac{M_j - M_{j+1}}{l_j} + R_{j,j+1}(Q_j),
\end{aligned}
\right\} \qquad (2.6)
$$

где $R_{j,j-1}(Q_{j-1})$ – реакция на опоре с номером j от нагрузки Q_{j-1}, действующей на пролет, расположенный слева от опоры; $R_{j,j+1}(Q_j)$ – реакция на опоре с номером j от нагрузки Q_j, действующей на пролет, расположенный справа от опоры.

Коэффициент податливости j-й упругой опоры A_j может изменяться от 0 до ∞. Случай $A_j = 0$ соответствует жесткой опоре, а случай $A_j = \infty$ – отсутствию ее и в рассматриваемой программе не предусмотрен.

После исключения из системы уравнений (2.I) просадок с помощью (2.5) и (2.6) получаем следующую систему уравнений:

$$
\begin{bmatrix}
c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 \\
c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & 0 & 0 & \ldots & 0 \\
c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & 0 & \ldots & 0 \\
0 & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} & \ldots & 0 \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \ldots & c_{nn}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ \ldots \\ M_n \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ \ldots \\ d_n \end{bmatrix}
\qquad (2.7)
$$

Матрица коэффициентов $[C]$ симметрична и обладает ленточной структурой с шириной ленты, равной пяти. Коэффициенты c_{jk} и d_j вычисляются по формулам

$$
\begin{aligned}
c_{j,j} &= 2(\beta_{j-1} + \beta_j) + \left[A_{j-1}\delta_{j-1}^2 + A_j(\delta_{j-1} + \delta_j)^2 + A_{j+1}\delta_j^2\right]; \\
c_{j,j+1} &= \beta_j - \delta_j\left[A_j(\delta_{j-1} + \delta_j) + A_{j+1}(\delta_j + \delta_{j+1})\right];
\end{aligned}
$$

$$\left.\begin{aligned}
&c_{j,j+2} = A_{j+1}\delta_j\delta_{j+1};\\
&d_j = \gamma_j + A_{j-1}\delta_{j-1}R_{j-1} - A_j(\delta_{j-1}+\delta_j)R_j + A_{j+1}\delta_j R_{j+1};\\
&\qquad j = 2,3,\ldots,n-1,
\end{aligned}\right\} \qquad (2.8)$$

где

$$\left.\begin{aligned}
&\beta_j = \frac{l_j}{6E_j I_j}, \quad j = 1,2,\ldots,n-1;\\
&\delta_j = \frac{1}{l_j}, \quad j = 1,2,\ldots,n-1;\\
&\gamma_1 = \alpha_{1,2}(Q_1); \quad \gamma_n = -\alpha_{n,n-1}(Q_{n-1});\\
&\gamma_j = \alpha_{j,j+1}(Q_j) - \alpha_{j,j-1}(Q_{j-1}), \ j = 2,3,\ldots,n-1;\\
&R_1 = R_{1,2}(Q_1); \quad R_n = R_{n,n-1}(Q_{n-1});\\
&R_j = R_{j,j-1}(Q_{j-1}) + R_{j,j+1}(Q_j), \ j = 2,3,\ldots,n-1.
\end{aligned}\right\} \qquad (2.9)$$

Формулы (2.8) справедливы для $j=2,3,\ldots,n-1$, т.е. для уравнений, соответствующих промежуточным опорам. Их можно распространить и на $j = I$ и $j = n$, т.е. на уравнения, соответствующие крайней левой и крайней правой опорам, если положить

$$\left.\begin{aligned}
&\beta_0 = Ol_n; \qquad \beta_n = Ol_n;\\
&\delta_0 = 0; \qquad \delta_n = 0;\\
&R_0 = 0; \qquad R_{n+1} = 0;\\
&A_0 = 0; \qquad A_{n+1} = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (2.10)$$

Очевидно также, что

$$c_{n-1,n+1} = c_{n,n+1} = c_{n,n+2} = 0. \qquad (2.11)$$

После решения системы уравнений (2.7) и определения опорных моментов M_j следует, воспользовавшись формулами (2.2), (2.5) и (2.6), вычислить прогибы и углы поворота в опорных сечениях, получить для всех пролетов значения перерезывающих сил слева (-0) и справа (+0) от опор. Далее, рассматривая каждый из пролетов по отдельности, можно определить интересующие нас элементы изгиба балки в любом ее сечении.

2.2. Порядок выполнения расчета

Расчет неразрезной балки методом пяти моментов выполняют с помощью следующих операций.

I. Определение опор, в сечении которых необходимо разрезать балку и ввести неизвестные опорные моменты. К числу таких опор относятся все промежуточные опоры и те концевые опоры, которые препятствуют повороту поперечного сечения балки.

2. Вычисление величин β_j, δ_j, γ_j и R_j, необходимых для формирования системы уравнений (2.7) и определения элементов изгиба балки в опорных сечениях согласно формулам (2.2),(2.5) и (2.6). При расчете балки на ЭВМ удобно величины β_j, δ_j, γ_j и R_j разместить в массивах соответствующей размерности. Для вычисления γ_j и R_j требуется определить элементы изгиба каждого из пролетов балки в концевых сечениях, считая их свободно опертыми на жёстких опорах. При этом следует воспользоваться методом начальных параметров и все необходимые операции производить в двух отдельных подпрограммах. В первой из подпрограмм согласно условиям нагружения балки вычисляют начальные параметры, а во второй - определяют элементы изгиба, принимая во внимание уже известные начальные параметры.

3. Формирование системы уравнений (2.7) и решение ее с помощью стандартной программы, учитывающей ленточную структуру матрицы $[C]$.

4. Определение по формулам (2.2), (2.5) и (2.6) просадок упругих опор f_j, углов поворота поперечного сечения α_j, опорных моментов M_j, реакций слева $R_{j,j-1}$ и справа $R_{j,j+1}$ от j-й опоры.

5. Вычисление элементов изгиба балки в интересующих расчетчика сечениях. При этом целесообразно использовать уже

известные значения f_j, α_j, M_j, $R_{j,j-1}$ и $R_{j,j+1}$ и подпрограмму определения элементов изгиба однопролетной балки.

Описанная выше схема соответствует единичному расчету неразрезной балки. На практике очень часто требуется выполнить серию расчетов одной и той же балки при различных вариантах нагрузки, действующей на нее. В этом случае вычисление величин β_j и δ_j и формирование матрицы $[C]$ производят только лишь для первого расчета серии. Кроме того, если для решения системы уравнений использовать метод Гаусса, то определение неизвестных моментов M_j целесообразно разбить на два этапа: разложение матрицы $[C]$ в виде произведения двух треугольных матриц и решение треугольных систем. Тогда разложение матрицы $[C]$ необходимо выполнить один раз для первого расчета.

3. *ПРОГРАММА РАСЧЕТА НЕРАЗРЕЗНОЙ БАЛКИ ПО МЕТОДУ ПЯТИ МОМЕНТОВ*

Описанная ниже программа расчета неразрезной балки методом пяти моментов и используемые ею в процессе работы внутренние программы хранятся в разделе SAUDCNCB библиотечного набора данных KF.SM в виде объектных модулей. При формировании задания, в котором на шаге выполнения имеются программы, обращающиеся к программе расчета неразрезной балки, необходимо включить раздел SAUDCNCB в тот или иной входной набор данных редактора связей (см. п.4.2).

3.1. Назначение программы

Программа расчета нерезрезной балки методом пяти моментов предназначена для определения просадок упругих опор f_j, углов поворота поперечных сечений балки в месте расположения опор α_j, изгибающих моментов в опорных сечениях M_j и реакций взаимодействия с j-й опорой $R_{j,j-1}$ и $R_{j,j+1}$ пролетов, расположенных слева и справа от нее. Кроме того, программа позволяет при необходимости получить все элементы из-

гиба балки в любом ее пролете в заранее заданных сечениях.

3.2. Способ обращения к программе. Используемые подпрограммы

Программа расчета неразрезной балки закодирована на языке FORTRAN как подпрограмма SUBROUTINE [1], имя которой CNCB. Первый оператор программы имеет вид

```
SUBROUTINE CNCB(IEC,QSU,CSUCL,DSSU,DSSP,
*                DMLOAD,LOAD,DMCRD,COORD,
*                EBSU,EBSP,WCH,LPSE)
```

Формальные параметры IEC, QSU, CSUCL, DSSU, DSSP, DMLOAD, LOAD, DMCRD, COORD служат для передачи входных данных, а EBSU и EBSP - для передачи выходных данных. С помощью формальных параметров WCH, LPSE в программу передаются рабочие области.

Обращение к программе CNCB из вызывающей программы производится с помощью оператора CALL:

$$\text{CALL CNCB}(B_1, B_2, \ldots, B_{13}),$$

где $B_1, B_2, \ldots, B_{13}$ - фактические параметры, совпадающие в числе, типе и порядке следования с формальными параметрами в операторе SUBROTINE.

Подпрограмма CNCB использует две внутренние подпрограммы: DBP, определяющую начальные параметры свободно опертой балки, и DEB, вычисляющую элементы изгиба однопролетной балки при известных начальных параметрах.

3.3. Описание входных данных

IEC - переменная типа INTEGER*4, с помощью которой задается режим выполнения расчета. IEC = I соответствует единичному расчету неразрезной балки, а IEC = 2 используется при проведении серии расчетов для одной и той же балки при различных вариантах нагружения. В первом случае при обращении к программе CNCB необходимо сформировать все описанные ниже входные данные; во втором - все входные данные остаются без изменения, как и при предыдущем обращении к програмие, за исключением массивов DMLOAD, LOAD, DMCRD и COORD , которые заполняются заново согласно изменившимся условиям нагружения балки. Между двумя обращениями, о которых идет речь, нельзя изменять не только содержимое всех остальных *массивов, предназначенных для хранения входных данных, но* и рабочих областей.

QSU - переменная типа INTEGER*4, представляющая собой число имеющихся опор балки, включая концевые.

CSUCL - одномерный массив размерности 2, тип массива REAL*4 . Элементами массива являются условные коэффициенты опорной пары упругих заделок левого и правого концов неразрезной балки:

$$\left.\begin{aligned} æ_л &= \frac{1}{1+\dfrac{2E_л I_л}{l_л}\alpha_л}\,; \\ æ_п &= \frac{1}{1+\dfrac{2E_п I_п}{l_п}\alpha_п}\,, \end{aligned}\right\} \tag{3.2}$$

где $\alpha_л$ и $\alpha_п$ - коэффициенты податливости упругих заделок левого и правого концов неразрезной балки; $E_л$ и $E_п$ - модули нормальной упругости материалов, из которых изготовлены крайний слева и крайний справа пролеты балки; $I_л$ и $I_п$ - моменты инерции поперечных сечений крайнего левого и крайнего правого пролетов; $l_л$ и $l_п$ - длины крайних пролетов.

Значения величин $æ_л$ и $æ_п$ могут изменяться в пределах от 0 (свободное опирание) до I (жесткая заделка).

DSSU - одномерный массив размерности QSU ,тип массива REAL*4 , элементами массива являются коэффициенты податливости A упругих опор, начиная с левой и кончая правой опорой. Значения величин A могут меняться в пределах от 0 до ∞ , что соответствует либо жесткой ($A = 0$), либо фиктивной ($A=\infty$) опоре; последний случай данной программой не предусмотрен.

DSSP - двумерный массив размерности (QSU-1)*3, тип массива REAL*4 . Элементы массива DSSP(J,1), DSSP(J,2)

и DSSP(J,3) содержат значения модуля Юнга материала, момента инерции поперечного сечения и длины J -го пролета балки.

DMLOAD - двумерный массив размерности (QSU-1)*3 ,тип массива INTEGER*4 ; массив служит для описания пролетных нагрузок, приложенных к балке.

LOAD - одномерный массив типа REAL*4 , размерность которого равна

$$\sum_{J=1}^{QSU-1}(4\times DMLOAD(J,1)+2\times DMLOAD(J,2)+2\times DMLOAD(J,3)). \tag{3.3}$$

Массив LOAD так же, как и массив DMLOAD , служит для задания пролетных нагрузок.

При использовании программы предполагается, что нагрузки, действующие на каждый из пролетов балки, могут быть представлены в виде совокупности трех типов нагрузок (рис.3.I): распределенной нагрузки, изменяющейся по линейному закону и

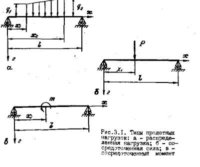

Рис.3.I. Типы пролетных нагрузок: а - распределенная нагрузка; б - сосредоточенная сила; в - сосредоточенный момент

приложенной на участке длины балки от сечения $x = x_1$ до сечения $x = x_2$, сосредоточенной силы, приложенной в сечении $x = x_1$, и сосредоточенного момента в сечении $x = x_1$.

Нагрузки, действующие на балку, задаются с помощью массивов DMLOAD и LOAD отдельно для каждого пролета. Первый индекс массива DMLOAD указывает номер пролета, а второй соответствует типу нагрузки согласно рис.3.I. Элементы массива DMLOAD(J,K) представляют собой количество нагрузок K-го типа, приложенных к J-му пролету балки. Массив LOAD содержит значения величин, характеризующих приложенные нагрузки. Для нагрузок первого типа (см.рис.3.I,а) такими величинами являются

$$x_1, q_1, x_2, q_2 ; \tag{3.4}$$

для нагрузок второго типа (см.рис.3.I,б)

$$x_1, P ; \tag{3.5}$$

для нагрузок третьего типа (см.рис.3.I,в)

$$x_1, m . \tag{3.6}$$

В массив LOAD последовательно для каждого пролета входят: величины (3.4), которые повторяются столько раз, сколько нагрузок первого типа приложено к рассматриваемому пролету; величины (3.5), характеризующие все нагрузки второго типа, действующие на пролет; величины (3.6) для нагрузок третьего типа, повторяющиеся требуемое число раз.

Если нагрузки некоторых типов для того или иного пролета отсутствуют, то при заполнении массива LOAD никакой информации о них задавать не надо, соответствующие элементы массива DMLOAD должны быть равны нулю.

DMCRD - одномерный массив размерности QSU - 1 , тип массива INTEGER * 4 . Элементы массива содержат последовательно для всех QSU - 1 пролетов балки числа, равные количеству сечений, в которых необходимо определить элементы изгиба балки для данного пролета.

COORD - одномерный массив типа REAL * 4, размерность которого равна

$$\sum_{J=1}^{QSU-1} DMCRD(J). \tag{3.7}$$

Массив COORD содержит значения координат x сечений, в которых программа CNCB должна определить элементы изгиба балки. В первые DMCRD(1) элементов массива помещаются координаты сечений, расположенных в первом пролете, в следующие DMCRD(2) элементов - координаты сечений, расположенных во втором пролете и т.д. Координата x отсчитывается от левой опоры того пролета, в котором расположено задаваемое сечение.

3.4. Описание выходных данных

EBSU - двумерный массив размерности QSU × 5 , тип массива REAL * 4 . При выходе из подпрограммы в элементы массива EBSU помещаются следующие величины:

EBSU(J,1) - просадка J -й упругой опоры f_j ;

EBSU(J,2) - угол поворота поперечного сечения α_j в месте расположения J -й опоры;

EBSU(J,3) - опорный момент M_j на J -й опоре;

EBSU(J,4) - реакция взаимодействия J -й опоры с пролетом, расположенным слева от нее;

EBSU(J,5) - реакция взаимодействия J -й опоры с пролетом, расположенным справа от нее;

EBSP - двумерный массив, тип массива REAL * 4 . Первая размерность массива равна размерности массива COORD , вторая - четырем. После возврата в вызывающую программу элементами массива являются:

EBSP(J,1) - прогиб;

EBSP(J,2) - угол поворота поперечного сечения;

EBSP(J,3) - изгибающий момент;

EBSP(J,4) - перерезывающая сила

вычисленные в сечении с координатой x, помещенной в J -й элемент массива COORD. Номер пролета, от левой опоры которого отсчитывается координата x, помещенная в COORD(J) ,устанавливается с помощью массива DMCRD (см. п.3.3).

При использовании программы CNCB следует иметь в виду, что если в некотором сечении перерезывающая сила или изгибающий момент по условиям нагружения балки терпят разрыв, то при задании в массиве COORD координаты этого сечения программа вычислит значение соответствующего элемента изгиба справа от него. *Определить значения элементов изгиба слева от сечения* можно либо самостоятельно, используя известные положения технической теории изгиба балок, либо с помощью программы CNCB, задав еще одно сечение несколько левее рассматриваемого. При этом достаточно уменьшить координату всего лишь на единицу в последнем разряде мантиссы.

При решении практических задач, связанных с расчетом *неразрезной балки, в некоторых случаях нет необходимости в* определении элементов изгиба в заданных сечениях. Тогда массив DMCRD должен содержать нули. В вызывающей программе не нужно резервировать место для массивов COORD и EBSP, однако в обращении к программе расчета неразрезной балки должны находиться идентификаторы фиктивных массивов.

3.5. *Описание рабочих областей*

В процессе работы программа CNCB использует рабочие массивы, *которые передаются из вызывающей программы с помощью* формальных параметров WCH и LPSE :

WCH – двумерный массив типа REAL*4 , размерность массива (QSU-1)×2. . Массив используется для хранения величин β_j и δ_j .

LPSE – двумерный массив типа REAL*4 . Первая размерность массива равна числу неизвестных опорных моментов M_j , *т.е. числу промежуточных опор плюс число концевых опор*, препятствующих повороту поперечного сечения балки. Вторая размерность массива равна трем. В массиве размещаются элементы c_{jk} матрицы $\{C\}$, для которых $k \geq j$.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Рассмотрим расчет неразрезной балки, изображенной на рис.4.I,а. Балка имеет три пролета, две промежуточные и две концевые опоры. Левая концевая опора представляет собой упругую заделку, а правая – свободную опору, поэтому число неизвестных *опорных моментов равно трем*. Исходные данные задачи приведены в табл.4.I в долях величин l_0 , E_0 , I_0 , q_0 и их произведений. Эти величины имеют размерность длины, модуля

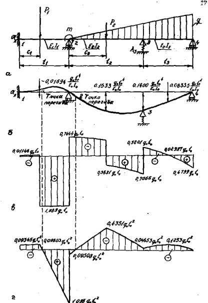

Рис.4.I. Пример расчета неразрезной балки: а – общий вид балки; б – упругая линия балки; в – эпюра перерезывающих сил; г – эпюра изгибающих моментов

пига, момента инерции и распределенной нагрузки соответственно.

Таблица 4.I

Исходные данные для расчета неразрезной балки

$\frac{l_1}{l_0}$	$\frac{l_2}{l_0}$	$\frac{l_3}{l_0}$	$\frac{c_1}{l_1}$	$\frac{c_2}{l_2}$	$\frac{E_1}{E_0}$	$\frac{E_2}{E_0}$	$\frac{E_3}{E_0}$	$\frac{I_1}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{I_3}{I_0}$
1	1.5	1	0.4	0.6	1	1	1	1	1	1
		$\frac{q}{q_0}$	$\frac{P_1}{q_0 l_0}$	$\frac{P_2}{q_0 l_0}$	$\frac{m}{q_0 l_0^2}$	$\frac{\alpha_{\text{л}} E_0 I_0}{l_0}$	$\frac{A_3 E_0 I_0}{l_0^3}$			
		1	2	1	-1	0.25	0.1365			

Для того чтобы произвести расчет балки с помощью программы CNCB, требуется закодировать вызывающую программу, которую можно оформить как основную программу. В ней должны быть описаны переменные и массивы, являющиеся фактическими параметрами, определены их значения согласно исходным данным, построено обращение к программе CNCB и выведены на печать массивы EBSU и EBSP , содержащие выходную информацию.

4.I. Фактические параметры задачи. Формирование входных данных

Для удобства изложения имена фактических параметров, которые указываются в операторе CALL вызывающей программы, примем совпадающими с именами формальных параметров в операторе SUBROUTINE программы CNCB (см.п.3.2).

Переменные IEC и QSU описываются как переменные целого типа длиной четыре байта

```
INTEGER*4 IEC, QSU
```

Расчет балки выполняется для одного варианта нагружения, поэтому переменной IEC следует присвоить значение, равное единице. Значение переменной QSU равно числу опор балки, т.е. четырем.

Размерность одномерного массива CSUCL равна двум, он описывается следующим образом:

```
REAL*4 CSUCL(2)
```


Коэффициент податливости упругой заделки для левой опоры равен $\alpha_{\text{л}} = 0.25 l_0 / E_0 I_0$, для правой - $\alpha_{\text{п}} = \infty$. Соответствующие им значения коэффициентов опорной пары $\varkappa_{\text{л}}$ и $\varkappa_{\text{п}}$, вычисленные по формуле (3.2), равны

$$\varkappa_{\text{л}} = 0.6666; \ \varkappa_{\text{п}} = 0.$$

Значение коэффициента опорной пары левой опоры $\varkappa_{\text{л}}$,т.е. 0.6666, заносится в первый элемент массива CSUCL, а правой опоры $\varkappa_{\text{п}}$, т.е. 0, - во второй.

Элементами одномерного массива DSSU являются коэффициенты податливости упругих опор. Размерность массива равна числу опор балки, т.е. четырем, и его можно описать с помощью оператора

```
REAL*4 DSSU(4)
```

Первая, вторая и четвертая опоры балки представляют собой жесткие опоры, поэтому элементы DSSU(1), DSSU(2) и DSSU(4) равны нулю. Элемент массива DSSU(3) равен коэффициенту податливости третьей опоры, т.е. 0.1365, выраженному в долях величины $l_0^3 / E_0 I_0$ (табл.4.2).

Таблица 4.2

Массив DSSU

Индекс массива (номер упругой опоры)	Коэффициент податливости упругой опоры, $l_0^3 / E_0 I_0$
I	0.
2	0.
3	0.1365
4	0.

Первая размерность двумерного массива DSSP равна числу пролетов, т.е. трем, а вторая - числу величин, характеризующих каждый из пролетов балки, также трем. Поэтому описать массив DSSP следует так

```
REAL*4 DSSP(3,3)
```

Для первого пролета значение первого индекса массива DSSP равно единице и его характеристики помещаются в элементы массива DSSP(1,1), DSSP(1,2) и DSSP(1,3).

Элемент массива DSSP(1,1) равен значению модуля Юнга материала *пролета*, т.е. 1.0 ; DSSP(1,2) – значению момента инерции поперечного сечения пролета, т.е. 1.0; DSSP(1,3) – *его длине*, т.е. 1.0. *Значения характеристик второго пролета* присваиваются элементам DSSP(2,1), DSSP(2,2) и DSSP(2,3), а третьего – элементам DSSP(3,1), DSSP(3,2) и DSSP(3,3) (табл.4.3).

Таблица 4.3

Массив DSSP

Первый *индекс* массива (номер пролета)	Модуль Юнга материала E_0	Момент инерции I_0	Длина l_0
	Второй индекс массива		
	I	2	3
I	I.	I.	I.
2	I.	I.	I.5
3	I.	I.	I.

Все необходимые для заполнения массивов DMLOAD и LOAD данные о нагрузках, приложенных к каждому из пролетов балки, сведены в табл.4.4. Первый пролет балки нагружен сосредото-

Таблица 4.4

Характеристика нагрузок, действующих на балку

Номер пролета	Тип нагрузки	Значения величин, характеризующих нагрузку
I	2	$x_1 = 0.4\,l_0$; $P = 2q_0 l_0$
	3	$x_1 = l_0$; $m = -q_0 l_0^2$
2	I	$x_1 = 0$; $q_1 = 0$; $x_2 = 1.5\,l_0$; $q_2 = 0.6q_0$
	2	$x_1 = 0.75\,l_0$; $P = q_0 l_0$
3	I	$x_1 = 0$; $q_1 = 0.6q_0$; $x_2 = l_0$; $q_2 = q_0$

ченной силой (нагрузка второго типа) и сосредоточенным моментом (нагрузка третьего типа). Ко второму пролету приложены распределенная нагрузка (нагрузка первого типа) и сосредоточенная сила, на третий пролет действует только распределенная нагрузка. В предлагаемом варианте задания нагрузок сосредоточенный момент, действующий в сечении второй опоры, отнесен к первому пролету. Однако его можно отнести и ко второму пролету – оба варианта равноправны.

Информация о количестве нагрузок каждого типа, приложенных к пролетам балки, заносится в двумерный массив DMLOAD .

Первая размерность массива равна числу пролетов балки, т.е. трем, а вторая размерность – количеству типов нагрузки. Поэтому описать массив DMLOAD следует так

```
INTEGER*4 DMLOAD(3,3)
```

Элементу массива DMLOAD(1,1) присваивается значение, равное количеству нагрузок первого типа, приложенных к первому *пролету*, т.е. 0; элементу DMLOAD(1,2) – равное количеству нагрузок второго типа, т.е. I, и элементу DMLOAD(1,3) – *равное количеству нагрузок третьего типа, т.е.* I, приложенных к тому же пролету. Для второго пролета число нагрузок первого типа, равное I, *заносится в элемент* DMLOAD(2,1) , второго типа – в элемент DMLOAD(2,2), третьего – в элемент DMLOAD(2,3) и т.д. (табл.4.5).

Таблица 4.5

Массив DMLOAD

Первый индекс массива (номер пролета)	Число нагрузок		
	первого типа	второго типа	третьего типа
	Второй индекс		
	I	2	3
I	0	I	I
2	I	I	0
3	I	0	0

Значения величин, характеризующих каждую из нагрузок, помещаются в одномерный массив LOAD . Заполним его, последовательно по строкам, просматривая элементы массива DMLOAD . Элемент массива DMLOAD (1,1) равен нулю - первый пролет балки свободен от действия нагрузки первого типа и в массив LOAD ничего заносить не надо. Значение элемента массива DMLOAD(1,2) равно I (см.табл.4.4), в массив LOAD следует поместить параметры нагрузки второго типа, действующей на первый пролет. В элемент массива LOAD(1) заносится значение координаты сечения, в котором приложена сосредоточенная сила, т.е. 0.4, а в элемент массива LOAD(2) - величина силы, т.е. 2.0. Если бы к пролету было приложено несколько нагрузок второго типа, то за параметрами первой нагрузки в массив LOAD следовало бы поместить параметры всех остальных. В рассматриваемом примере на пролет действует всего одна нагрузка данного типа и мы переходим к элементу массива DMLOAD(1,3). Он равен I - на пролет действует одна нагрузка третьего типа, параметры ее из табл.4.4 заносятся в элементы массива LOAD(3) и LOAD(4) . Аналогичным образом, просматривая содержимое элементов второй и третьей строк массива, поместим информацию о нагрузках второго пролета в элементы массива с LOAD(5) по LOAD(10) , а информацию о нагрузках третьего - в элементы с LOAD(11) по LOAD(14) (табл.4.6). Общее число параметров, задающих нагрузку, равно четырнадцати, поэтому массив LOAD в вызывающей программе должен быть описан так:

```
REAL*4 LOAD(14)
```

При задании массивов DMCRD и COORD следует стремиться к тому, чтобы выдаваемая программой CNCB в выходном массиве EBSP информация была достаточной для построения эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов, для суждения о том, как будет выглядеть упругая линия балки. Для первого пролета балки можно ограничиться значениями элементов изгиба в трех сечениях: сечении, совпадающем с левой опорой пролета ($x = 0$); сечении, в котором приложена сосредоточенная сила P_1 ($x = c_1$); сечении, совпадающем с правой опорой пролета ($x = l_1$). Исходя из характера действующей на пролет нагрузки и учитывая дифференциальные соотношения, связывающие между собой интенсивность распределенной нагрузки, перерезывающую силу и изгибающий момент, можно заключить, что перерезывающая сила является кусочно-постоянной функцией с разрывом в сечении $x = c_1$, а изгибающий момент на каждом из участков пролета (от 0 до c_1 и от c_1 до l_1) представляется различными линейными функциями, имеющими одинаковые значения в сечении $x = c_1$.

Таблица 4.6

Массив LOAD

Номер пролета	Тип нагрузки	Наименование задаваемой величины	Индекс массива	Значение задаваемой величины
I	2	x_1, l_0	I	0.4
		$P, q_0 l_0$	2	2.0
	3	x_1, l_0	3	I.0
		$m, q_0 l_0^2$	4	-I.0
2	I	x_1, l_0	5	0.
		q_1, q_0	6	0.
		x_2, l_0	7	I.5
		q_2, q_0	8	0.6
	2	x_1, l_0	9	0.75
		$P, q_0 l_0$	I0	I.0
3	I	x_1, l_0	II	0.
		q_1, q_0	I2	0.6
		x_2, l_0	I3	I.0
		q_2, q_0	I4	I.0

Проводя аналогичные рассуждения для второго и третьего пролетов, можно сделать вывод о том, что для второго пролета вполне достаточно иметь элементы изгиба в пяти сечениях (например, $x = 0$, $x = 0.5c_2$, $x = c_2$, $x = c_2 + 0.5(l_2 - c_2)$, $x = l_2$), а для третьего пролета - в трех ($x = 0$, $x = 0.5 l_3$, $x = l_3$).

Размерность массива DMCRD равна числу пролетов балки, т.е. 3. Массив описывается оператором

```
INTEGER*4 DMCRD(3)
```

Первый элемент массива DMCRD(1) равен числу задаваемых сечений в первом пролете, т.е. 3; второй DMCRD(2) - числу сечений во втором пролете, т.е. 5; третий DMCRD(3) - в третьем пролете, т.е. 3 (табл.4.7).

Таблица 4.7

Массив DMCRD

Индекс массива (номер пролета)	N
1	3
2	5
3	3

N - число сечений, в которых следует вычислять элементы изгиба балки.

Координаты сечений, расположенных в первом пролете, помещаются в элементы массива COORD(1), COORD(2), COORD(3). Элемент массива COORD(1) равен 0, COORD(2) равен 0.5, и COORD(3) - 1. Элементы массива с COORD(4) по COORD(8) содержат значения координат сечений, расположенных во втором пролете, а элементы с COORD(9) по COORD(11) - в третьем. Полностью содержание массива COORD приведено в табл.4.8, в которой координаты сечений измеряются в долях длины l_0. Общее число задаваемых сечений равно II, поэтому описание массива COORD в вызывающей программе выглядить следующим образом:

```
REAL*4 COORD (11)
```

Совокупность всех описанных выше переменных и массивов, заполненных в соответствии с п.3.2, представляет собой исходную информацию о решаемой задаче.

Таблица 4.8

Массив COORD

Номер пролета	Номер сечения в пролете	Индекс массива	X, l_0
I	I	I	0
	2	2	0.5
	3	3	I.0
2	I	4	0.0
	2	5	0.375
	3	6	0.75
	4	7	I.I25
	5	8	I.5
3	I	9	0.0
	2	I0	0.5
	3	II	I.0

X - координата сечения, отсчитываемая от левой опоры пролета.

Выходная информация помещается программой CNCB в массивы EBSU и EBSP. Для них в вызывающей программе должны быть зарезервированы области памяти. Оба массива двумерные. Первая размерность массива EBSU равна числу опор балки, т.е. 4, а вторая - 5. Первая размерность массива EBSP равна размерности массива COORD, т.е. общему числу сечений балки, в которых вычисляются элементы ее изгиба. Вторая размерность массива равна 4. Описание массивов в вызывающей программе имеет вид

```
REAL*4 EBSU(4,5), EBSP(11,4)
```

В вызывающей программе также должны быть зарезервированы области памяти для размещения рабочих массивов WCH и LPSE. Первая размерность массива WCH равна числу пролетов балки, т.е. 3, а вторая - 2. Для массива LPSE размерности равны: первая - числу неизвестных опорных моментов, т.е. 3, вторая – тоже 3. Поэтому описание массивов должно быть следующим:

```
REAL*4 WCH(3,2),LPSE(3,3)
```

4.2. Задание на компиляцию, редактирование и выполнение программы, организующей решение задачи

На рис.4.2 приведен текст задания для решения рассматриваемой задачи на ЕС ЭВМ. Нумерация строк текста восьмизначными числами расположена справа от него. Задание включает три шага: *компиляцию, редактирование и выполнение.*

Первые две строки задания содержат основные операторы языка управления заданиями – **JOB** и **EXEC**.

В оператор **JOB** включена следующая информация:

VOLKOV – *имя задания;*

136006Y162 – учетная информация о задании;

'ВОЛКОВ Е.А.' – идентификация программиста;

CLASS=B – параметр, указывающий класс, в котором *будет выполняться задание.*

Оператор **EXEC** содержит информацию:

FORTGCLG – имя используемой в задании каталогизированной процедуры, позволяющей произвести компиляцию программы *или ее части с языка* **FORTRAN**, редактирование и выполнение;

PARM.FORT=SOURCE – параметр, указывающий список заданных опций компилятора. Опция **SOURCE** означает, что листинг задания будет содержать текст исходной программы;

PARM.LKED=LIST – параметр, содержащий список опций редактора связей. Опция **LIST** указывает, что на печать следует вывести управляющие операторы редактора связей;

TIME.GO=1 – параметр, задающий допустимое время работы центрального процессора на шаге выполнения.

В третьей строке задания находится **DD**-оператор с именем **FORT.SYSIN**, описывающий входной набор данных, в котором содержится исходный текст компилируемой программы. Позиционный параметр * указывает на то, что исходный текст программы включен во входной поток сразу же после этого оператора.


```
//VOLKOV  JOB '136006Y162','ВОЛКОВ Е.А.',CLASS=B                   00000010
//         EXEC FORTGCLG,PARM.FORT=SOURCE,PARM.LKED=LIST            00000020
//FORT.SYSIN DD *                                                   00000030
      INTEGER*4 IEC/1/,QSU/4/,DMLOAD(3,3)/0,1,1,1,1,0,1,0,0/,       00000040
     *          DMCRD(3)/3,5,3/                                     00000050
      REAL*4 CSUCL(2)/.6666,0./,DSSU(4)/0.,0.,.1365,0./,            00000060
     *          DSSP(3,3)/1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.5,1./,             00000070
     *          LOAD(14)/.4,2.,1.,-1.,0.,0.,1.5,.6,.75,1.,0.,.6,1.,1./, 00000080
     *          COORD(11)/0.,.5,1.,0.,.375,.75,1.125,1.5,0.,.5,1./, 00000090
     *          EBSU(4,5),EBSP(11,4),WCH(3,2),LPSE(3,3)             00000100
      CALL CNCB(IEC,QSU,CSUCL,DSSU,DSSP,DMLOAD,LOAD,DMCRD,COORD,    00000110
     *          EBSU,EBSP,WCH,LPSE)                                 00000120
      PRINT 1, (J,(EBSU(J,K),K=1,5),J=1,4),                         00000130
     *          (J,(EBSP(J,K),K=1,4),J=1,11)                        00000140
    1 FORMAT(43X,'МАССИВ EBSU'/' НОМЕР ОПОРЫ  ПРОСАДКА ОПОРЫ',      00000150
     *'   УГОЛ ПОВОРОТА  ОПОРНЫЙ МОМЕНТ   РЕАКЦИЯ СЛЕВА',            00000160
     *'  РЕАКЦИЯ СПРАВА'/4(5X,I2,9X,5(E10.4,6X)/)///43X,'МАССИВ EBSP'/ 00000170
     *' НОМЕР СЕЧЕНИЯ       ПРОГИБ              УГОЛ ПОВОРОТА',      00000180
     *'       ИЗГИБАЮЩИЯ МОМЕНТ   ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩАЯ СИЛА'/              00000190
     *11(6X,I2,10X,4(E10.4,11X)/))                                  00000200
      STOP                                                          00000210
      END                                                           00000220
/*                                                                  00000230
//LKED.ADD DD DSN=KF.SM,DISP=SHR                                    00000240
//LKED.SYSIN DD *                                                   00000250
   INCLUDE ADD(SAUDCNCB)                                            00000260
/*                                                                  00000270
//                                                                  00000280
```

Рис.4.2. Задание для решения задачи

МАССИВ EBSU

НОМЕР ОПОРЫ	ПРОСАДКА ОПОРЫ	УГОЛ ПОВОРОТА	ОПОРНЫЙ МОМЕНТ	РЕАКЦИЯ СЛЕВА	РЕАКЦИЯ СПРАВА
1	Ø.Ø	-.2336E-Ø1	-.9345E-Ø1	Ø.Ø	Ø.1146E-Ø1
2	Ø.Ø	Ø.2375E+ØØ	Ø.95Ø9E-Ø1	Ø.1989E+Ø1	Ø.7444E+ØØ
3	Ø.14ØØE+ØØ	-.9176E-Ø1	-.4653E-Ø1	Ø.7Ø56E+ØØ	Ø.32Ø1E+ØØ
4	Ø.Ø	-.1817E+ØØ	Ø.Ø	Ø.4799E+ØØ	Ø.Ø

МАССИВ EBSP

НОМЕР СЕЧЕНИЯ	ПРОГИБ	УГОЛ ПОВОРОТА	ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ	ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩАЯ СИЛА
1	Ø.Ø	-.2336E-Ø1	-.9345E-Ø1	-.1146E-Ø1
2	-.1694E-Ø1	-.6166E-Ø1	-.98Ø3E-Ø1	Ø.1989E+Ø1
3	Ø.Ø	Ø.2375E+ØØ	Ø.95Ø9E-Ø1	Ø.1989E+Ø1
4	Ø.Ø	Ø.2375E+ØØ	Ø.95Ø9E-Ø1	-.7444E+ØØ
5	Ø.8921E-Ø1	Ø.2211E+ØØ	-.18Ø6E+ØØ	-.7163E+ØØ
6	Ø.1533E+ØØ	Ø.1Ø47E+ØØ	-.4351E+ØØ	Ø.3681E+ØØ
7	Ø.1655E+ØØ	-.2964E-Ø1	-.2725E+ØØ	Ø.5Ø87E+ØØ
8	Ø.14ØØE+ØØ	-.9176E-Ø1	-.4653E-Ø1	Ø.7Ø56E+ØØ
9	Ø.14ØØE+ØØ	-.9176E-Ø1	-.4653E-Ø1	-.32Ø1E+ØØ
1Ø	Ø.8335E-Ø1	-.1418E+ØØ	-.1233E+ØØ	Ø.2987E-Ø1
11	Ø.Ø	-.1817E+ØØ	Ø.Ø	Ø.4799E+ØØ

Рис.4.3. Фрагмент листинга завершенного задания

В строках задания с ØØØØØ4Ø по ØØØØ22Ø располагается текст основной программы, которая содержит обращение к программе **CNCB**. В первых семи строках программы с помощью операторов **INTEGER** и **REAL** описывается тип переменных и массивов, являющихся фактическими параметрами задачи; указываются размерности массивов и в качестве начальных значений задаются исходные данные задачи согласно п.4.I. Начальные значения для элементов двумерных массивов *записываются по столбцам.*

Далее следует оператор **CALL**, включающий в себя список фактических параметров. Оператор вызывает программу **CNCB** и передает ей управление. После окончания работы программы **CNCB** и возврата в основную программу результаты счета пересылаются в массивы **EBSU** и **EBSP**.

В строке ØØØØ12Ø производится печать массивов **EBSU** и **EBSP** оператором **PRINT**, который ссылается на оператор **FORMAT** с меткой I. Массивы распечатываются в виде таблиц (рис.4.3). Номер строки массива **EBSU** соответствует номеру опоры балки. В первом столбце массива содержатся просадки опор, во втором – углы поворота поперечных сечений в месте расположения опор, в третьем – опорные моменты, в четвертом и пятом – реакции взаимодействия опор с пролетами, расположенными слева и справа от них. Номер строки массива **EBSP** равен номеру сечения, в котором вычислены элементы изгиба балки. Первые три сечения находятся в первом пролете балки, координаты их – в элементах массива **COORD** с первого по третий. Сечения с четвертого по восьмое входят во второй пролет, а сечения с девятого по одиннадцатое – в третий. Координаты их размещены в соответствующих элементах массива **COORD**. В первом столбце массива **EBSP** находятся прогибы балки, во втором – углы поворота поперечных сечений, в третьем – изгибающие моменты, в четвертом – перерезывающие силы.

Заканчивается текст программы двумя операторами: оператором **STOP**, завершающим вычислительный процесс, и оператором **END**, указывающим компилятору на окончание операторов программы.

Оператор языка управления заданиями /*, который следует непосредственно за текстом программы, указывает на конец набора данных для компилятора.

Операторы языка управления задания с номерами ØØØØØ24Ø и ØØØØØ25Ø относятся к шагу редактирования и представляют собой *добавляемые DD -операторы шага LKED. Оператор DD* с именем LKED.ADD описывает библиотечный набор данных KF.SM, в котором хранится раздел SAUDCNCB, содержащий объектные модули программ CNCB, DBP и DEB. Оператор DD с именем LKED.SYSIN, в поле которого находится позиционный параметр *, указывает на входной набор данных редактора связей, размещенный во входном потоке после оператора.

Входной набор данных включает в себя всего один управляющий оператор редактора, имеющий вид

```
INCLUDE ADD (SAUDCNCB)
```

Оператор предоставляет редактору связей раздел SAUDCNCB библиотеки KF.SM в качестве набора данных дополнительного ввода.

Оператор языка управления задания /* указывает на конец входного набора данных редактора связей, а оператор // завершает задания.

4.3. Обработка выходной информации. Построение эпюр перерезывающих сил и изгибающих моментов, упругой линии балки

Фрагмент листинга завершенного задания, которое описано в п.4.2, приведен на рис.4.3. Фрагмент относится к шагу выполнения и содержит результаты решения задачи в виде выведенных на печать массивов EBSU и EBSP. Размерности распечатанных величин следующие: для прогиба и просадок опор – $(q_0 l_0^4)/(E_0 I_0)$, для угла поворота – $(q_0 l_0^3)/(E_0 I_0)$, для опорных и изгибающих моментов – $q_0 l^2$, для реакций и перерезывающих сил – $q_0 l_0$.

Эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов, упругая линия балки, построенные по содержащимся в массиве EBSP значениям элементов изгиба, приведены на рис.4.I. При построении эпюр и упругой линии следует учитывать характер действующей на балку нагрузки, обращая особое внимание на наличие в ней сосредоточенных сил и моментов.

В первом пролете балки в сечении $x = c_1$ приложена сила P_1, *а во втором в сечении* $x = c_2$ *– сила* P_2. *Поэтому* в указанных сечениях эпюры перерезывающих сил должны скачкообразно изменяться на величину силы P_1 в первом пролете и на величину силы P_2 – во втором. Элементы массива EBSP(2,4) и EBSP(6,4), приведенные в листинге, представляют собой значения перерезывающей силы, вычисленной справа от рассматриваемых сечений, и равны $1.989\,q_0 l_0$ и $0.3681\,q_0 l_0$ соответственно. Вычитая из них силы P_1 и P_2, получаем значения перерезывающей силы слева от сечений, т.е. $0{,}011\,q_0 l_0$ и $0.6319\,q_0 l_0$.

Изгибающий момент терпит разрыв в первом пролете в сечении $x = l_1$. Значение изгибающего момента справа от сечения, равное $0.09509\,q_0 l_0^2$, получаем из элемента массива EBSP(3,3), а значение его слева следует вычислить, учитывая величину и направление действия сосредоточенного момента m (см.рис.4.I).

При построении эпюр и упругой линии балки не был использован массив EBSU. Информация, содержащаяся в нем, повторяется в массиве EBSP. Поэтому можно отказаться от вычисления элементов изгиба в концевых сечениях каждого пролета и *сократить память, резервируемую для массива* EBSP, что, однако, несколько усложнит обработку выходной информации.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная выше программа расчета неразрезной балки по методу пяти моментов позволяет перейти от единичных расчетов судовых конструкций к исследованию влияния изменения тех или иных входных данных на напряженно-деформированное состояние, неизбежно связанное с многократным выполнением всех операций, присущих методу пяти моментов. К сожалению, нельзя сказать, что программа CNCB полностью избавляет расчетчика от ручной работы. Выходная информация, выдаваемая программой, требует дополнительной обработки и представления в графической форме. Для нагрузки, имеющей достаточно сложный характер, затруднительно сформировать массивы DMCRD и COORD, задающие сечения, *в которых следует определять* элементы изгиба балки оптимальным образом. Поэтому массив EBSP , наряду с полезной, будет содержать и совершенно бесполезную информацию.

Для полной автоматизации расчетов необходимо располагать программой, позволяющей выводить выходную информацию в графической форме на дисплее либо графопостроителе. Для работы такой программы нужна информация, содержащаяся в массиве EBSU, и в качестве внутренней подпрограммы программа DEB определения элементов изгиба однопролетной при известных начальных параметрах (см. п.3.2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Программирование, отладка и решение задач на ЭВМ единой серии. Язык Фортран: Учебн. пособие для вузов/ Под ред.И.А.Кудряшова. - Л.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Справочник по строительной механике корабля. В 3-х тт./Под ред. О.М.Палия. - Л.: Судостроение, 1982, т.1.
3. Строительная механика корабля и теория упругости: Учебн. для вузов. В 2-х тт. - Л.: Судостроение, 1987, т.2, 416 с.

Содержание