

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э.БАУМАНА

И.Е.СЕМЕНОВ

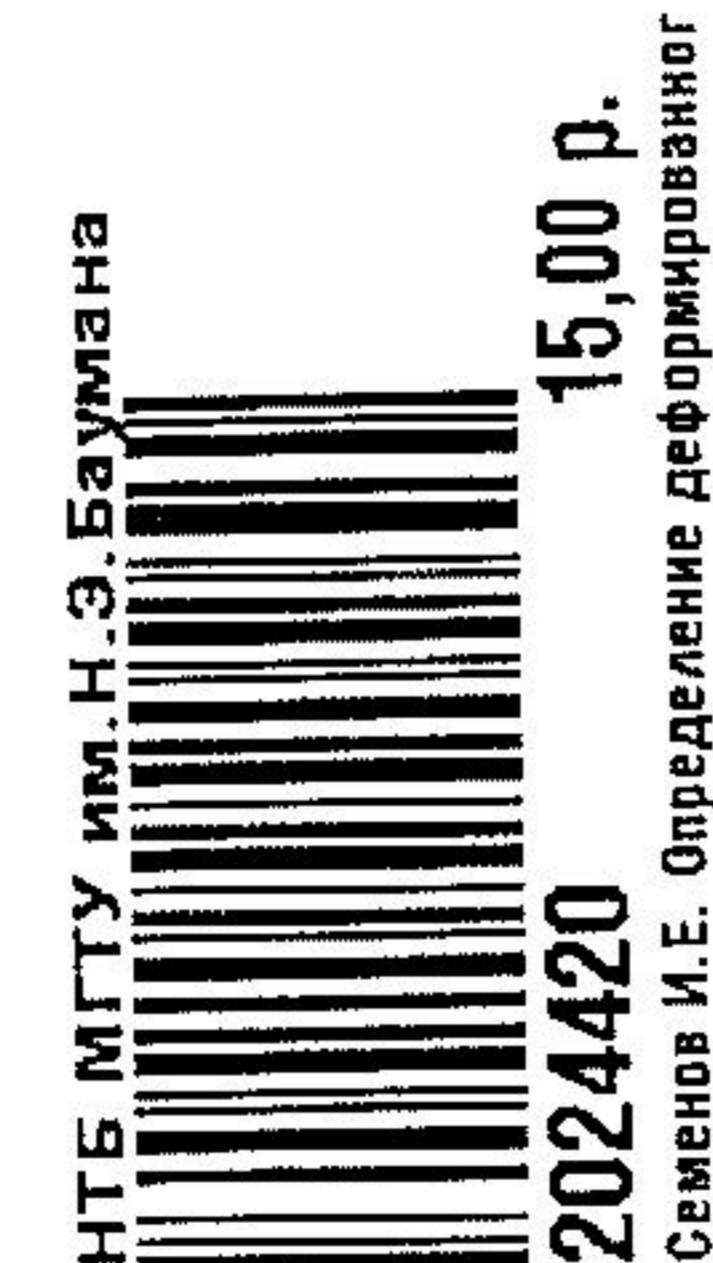
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ
СЕТКИ

*Методические указания для выполнения домашнего
задания по курсу "Основы научных исследований".*

Под редакцией В.М. Синицкого

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2001



М Г Т У
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

УДК 621.77

ББК 341.62

С30

Рецензент Э.Ф.Богданов

С30 Семенов И.Е.

Определение деформированного состояния методом координатной сетки: Методические указания для выполнения домашнего задания по курсу "Основы научных исследований" / Под ред. В.М.Синицкого. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 16 с.
ISBN 5-7038-1735-8

Приведено описание последовательности выполнения домашнего задания с теоретическими сведениями о методе расчета деформаций поискаженной координатной сетке, рассмотрен конкретный пример расчета.

Для студентов 4-го курса, обучающихся по специальности "Металлургические машины и оборудование".

2 Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.77

ББК 341.62

— Редакция заказной литературы

Иван Евгеньевич Семенов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

Редактор А.Н.Творогов

Корректор М.А.Василевская

Изд.лиц. № 020523 от 25.04.97 г.

Подписано в печать 14.01.2001. Формат 60×84/16. Бумага офсет.
Печ.л. 1,0. Усл. Печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 0,84. Тираж 50 экз. Изд. №40.

Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана,
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

© МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001

ISBN 5-7038-1735-8

ВВЕДЕНИЕ¹

В процессах обработки металлов давлением происходит пластическая деформация, в результате которой получают требуемые параметры готового изделия. Для проведения правильного расчета оптимальных параметров технологического процесса требуется знание напряженного и деформированного состояния металла при его пластической обработке. Современные теоретические методы расчета позволяют создать математическую модель процесса и провести ее изучение с определением полей напряжений и деформаций как внутри тела, так и на поверхностях контакта. Однако после проведения таких расчетов необходимо провести экспериментальную проверку адекватности полученной модели реальному процессу деформирования, для чего применяют различные экспериментальные методы исследования. Одним из наиболее простых и наглядных таких методов считается метод исследования деформированного состояния поискаженной координатной сетке, который получил широкое распространение.

Цель данного учебного пособия – знакомство с методом координатной сетки; освоение навыков расчета деформированного состояния, которые необходимы для выполнения домашнего задания по курсу "Основы научных исследований".

Учебное пособие может быть использовано при выполнении домашнего задания, заданий по учебно-исследовательской работе, а также при выполнении учебных научно-исследовательских работ.

¹ Работа публикуется в авторской редакции.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

1.1. Назначение и краткая характеристика метода

Метод координатной сетки (другое название – метод делительных секток) является одним из наиболее известных экспериментальных методов и позволяет определить все компоненты деформаций и напряжений для случая осесимметричной и плоской деформации [1,2,3]. Сетка с квадратными или прямоугольными ячейками наносится на меридиональное сечение осесимметричной, или на главную плоскость асимметричной заготовки, на которых растягивающие напряжения отсутствуют, либо малы. Исследуемая модель предварительно разрезается, на плоскость разреза наносится и фотографируется. Затем части заготовки составляются вместе и подвергаются деформированию как единое целое металлическое тело. После формоизменения модель разнимается по плоскости реза, а искаженная сетка фотографируется. Степень искажения плоскости разъема заготовки может служить качественным показателем совпадения плоскости реза с главной плоскостью напряженно-деформированного состояния.

Сетка с квадратными ячейками позволяет определить координаты точек образца, совпадающие с узловыми точками сетки в исходном и деформированном состояниях образца и рассчитать по изменению координат все параметры деформированного состояния.

1.2. Основные теоретические положения методик расчета деформированного состояния

В настоящее время известно достаточно много методик определения деформаций по искаженной квадратной (прямоугольной) сетке, базирующихся на теории конечной деформации. Подробный анализ методик содержится, например, в работах [2,3]. Как правило, все методики определения конечных деформаций используют логарифмическую меру количественного формоизменения, и, несмотря на многообразие, могут быть разбиты на две группы, характеризуемые общностью подхода. Методики первой группы основываются на закономерностях преобразования геометрических фигур при однородной деформации и предусматривают определение компонентов тензора конечной деформации по изменению геометрии отдельных элементов сетки (одной или нескольких ячеек). При этом делается предположение, что деформация в пределах выделенного элемента однородна, и используется положение о преобразовании шара в эллипсоид. Достоинством методик первой группы является возможность проверки корректности физической постановки задачи и отсутствие операции дифференцирования, связанной со значительными погрешностями вычислений. К недостаткам методик первой группы следует отнести сложность их алгоритмизации и машинной реализации, а также трудности применения современного математического аппарата аппроксимации. Наиболее из-

вестными методиками первой группы являются методики Э.Зибеля и П.О.Пашкова (А.Д.Томленова) [1].

Ко второй группе принадлежат так называемые безбазовые методики, в основе которых лежит аппроксимация функциональных зависимостей начальных и текущих координат перемещений и текущих координат по их значениям в узловых точках. Формоизменение материальной частицы в данном случае в явном виде не рассматривается. Безбазовые методики используют современный математический аппарат аппроксимации и сглаживания, например координатные функции с локальным носителем, что позволяет в некоторых случаях повысить точность математической обработки данных. Однако следует отметить, что все безбазовые методики связанны с операцией многократного дифференцирования. Систематические и случайные ошибки в исходной экспериментальной информации могут не только существенно исказить действительную картину, но и привести к невозможности дальнейшей обработки результатов из-за существенных ошибок, возникающих при вычислении производных первого и высших порядков. При использовании безбазовых методик, кроме того, достаточно трудно проверить выполнение постулата А.А.Ильюшина о макроскопической определимости, отражающего корректность применения аппарата механики сплошных сред.

Рассмотрим квадратную исходную сетку (рис.1 a) и деформированную (рис.1 b), которая при условии однородной деформации превращается в параллелограмм (методика Э.Зибеля).

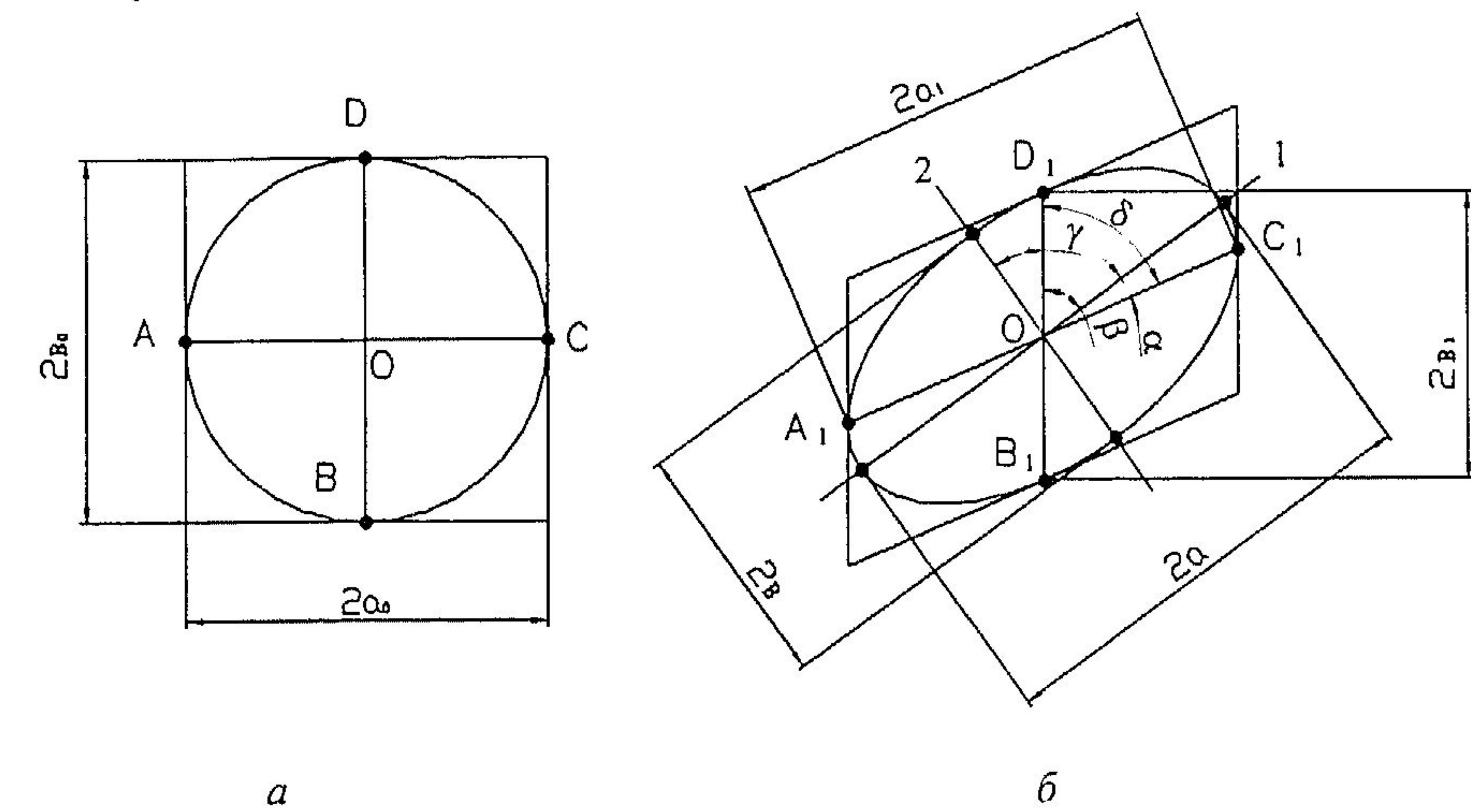


Рис. 1 a, b . Схема к расчету деформаций

a – исходная координатная сетка; b – координатная сетка после деформации. Вписанная в исходный квадрат окружность превращается в эллипс (рис.1 b). При измерениях фиксируются сопряженные диаметры $2a_1$ и $2b_1$,

соединяющие точки касания эллипса со сторонами параллелограмма и угол δ между ними.

Главные оси определяются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2a = 2\sqrt{\frac{1}{2}(a_1^2 + b_1^2) + \frac{1}{2}\sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4a_1^2 b_1^2 \sin^2 \delta}}; \\ 2b = 2\sqrt{\frac{1}{2}(a_1^2 + b_1^2) - \frac{1}{2}\sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4a_1^2 b_1^2 \sin^2 \delta}} \end{array} \right. \quad (1)$$

Угол между большой главной осью эллипса и сопряженным диаметром определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \operatorname{tg} \delta - \frac{1}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \operatorname{tg}^2 \delta - 4 \frac{b^2}{a^2}}. \quad (2)$$

Главные компоненты деформации определяют по уравнениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = \ln \frac{a}{a_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{a_1^2 + b_1^2 + \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4a_1^2 b_1^2 \sin^2 \delta}}{2a_0^2}; \\ \varepsilon_2 = \ln \frac{b}{a_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{a_1^2 + b_1^2 - \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)^2 - 4a_1^2 b_1^2 \sin^2 \delta}}{2a_0^2}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Интенсивность деформаций ε_i равна:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2}. \quad (4)$$

Затем по экспериментально установленной зависимости $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ определяют величины σ_i (интенсивность напряжений). Используя уравнения связи между напряжениями и деформациями получают (например для двухосного н. с.):

$$\sigma_1 = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \text{ и } \sigma_2 = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} (\varepsilon_2 - \varepsilon_3). \quad (5)$$

Для исследования операций со схемами плоского напряженного и деформированного состояний применяют координатную сетку в виде окружностей, диаметром 5 – 20 мм в зависимости от формы и площади поверхности исследуемого участка заготовки (методика А.Д.Томленова).

После деформирования заготовки окружности сетки в эллипсы (рис. 2), или окружности большего диаметра. Затем определяют логарифмические деформации ε_1 и ε_2 по аналогии с методом Зибеля:

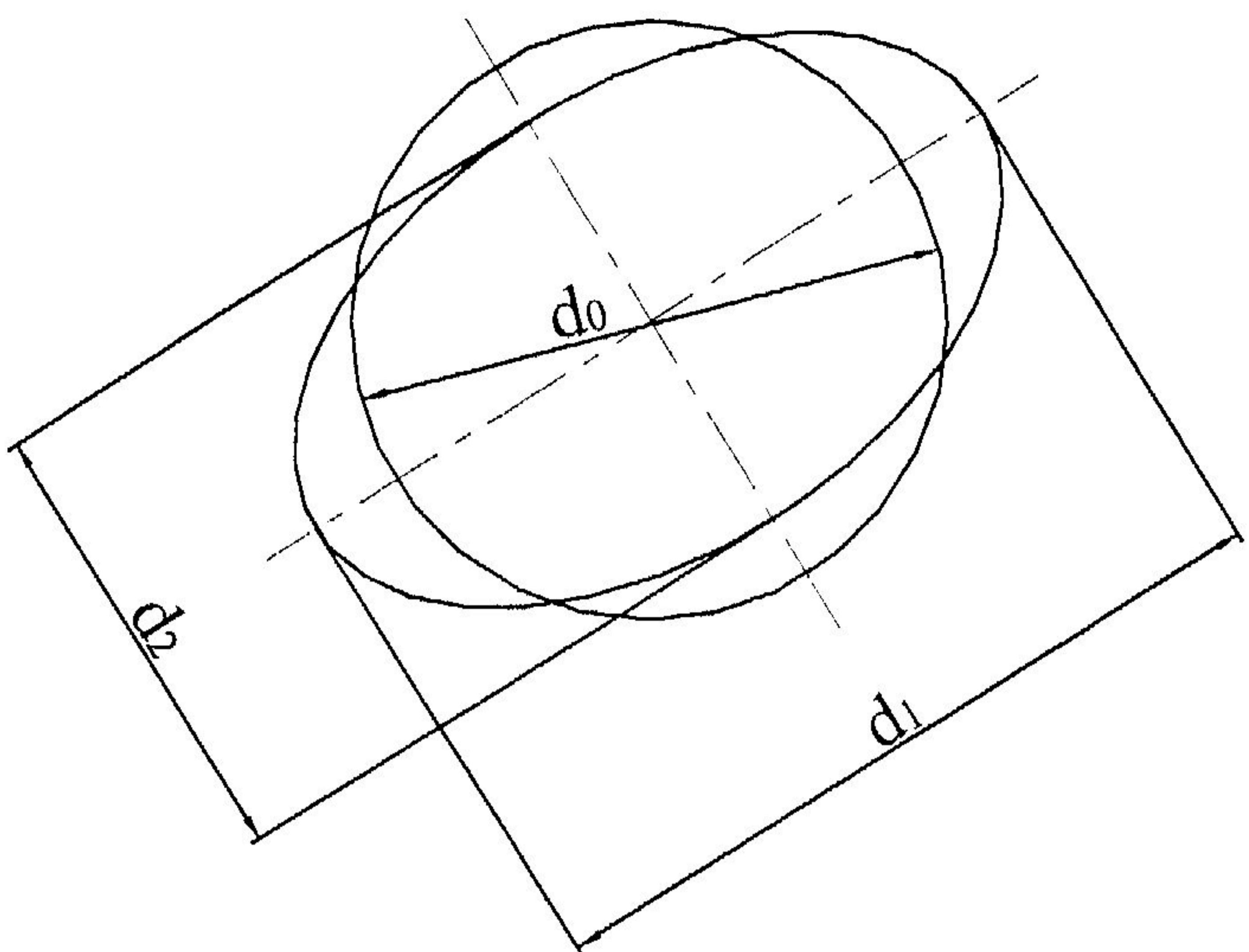


Рис. 2. Схема к расчету деформаций по методике А.Д.Томленова

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0}; \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \text{ и } \varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2}$$

с учетом, что $\varepsilon_3 = -(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$.

Для анализа напряженно-деформированного состояния А.Д.Томленов ввел понятие критической устойчивости интенсивности деформаций – это наибольшая величина устойчивой интенсивности деформаций, которая может быть реализована в процессах формоизменения листового металла без разрушения.

$$\varepsilon_{ikp} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m} n, \quad (6)$$

где m – это показатель схемы напряженного состояния

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}{2\varepsilon_1 + \varepsilon_2},$$

а n – показатель упрочнения материала, который определяется по результатам испытаний на одноосное растяжение.

При одноосном растяжении $\sigma_1 = \sigma_s$ и $\sigma_2 = 0 \rightarrow m = 0$ и $\varepsilon_{ikp} = n$ (здесь σ_s – напряжение текучести).

При двухосном растяжении $\sigma_1 = \sigma_2$, $m = 1$ и $\varepsilon_{ikp} = 2n$, т.е. при двухосном растяжении достигима вдвое большая интенсивность деформаций, чем при одноосном.

Вычисляя по деформированной сетке величины ε_1 , ε_2 и ε_i , определяя m и рассчитывая по известному для данного материала показателю упрочнения n величину критической интенсивности деформаций ε_{ikp} можно определить коэффициент использования пластичности металла по формуле:

$$\eta = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{ikp}}. \quad (7)$$

Если $\eta \geq 1$ – это указывает на возможность появления надрывов при формировании.

2. РАСЧЕТЫ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПО КООРДИНАТНОЙ СЕТКЕ С КВАДРАТНЫМИ ДОДЕФОРМАЦИИ ЯЧЕЙКАМИ

На рис.3 показана координатная сетка образца после прессования (повернуто на 90°). Исходными данными для расчета являются горизонтальные (по оси X) и осевые (по оси Z) координаты узлов сетки до и после деформации. Измерения проводят из центра координат (O), который находится на пересечении оси симметрии Z с нижней линией очага пластической деформации (рис.3).

По измеренным значениям координат x_{ij} и z_{ij} из геометрических соотношений, согласно схеме, показанной на рис. 4, определяют хорды l_x и l_z , соединяющие узлы сетки вокруг точки расчета деформированного состояния i, j по формулам:

$$l_x = \sqrt{(z_{i,j-1} - z_{i,j+1})^2 + (x_{i,j+1} - x_{i,j-1})^2} ; \quad (8)$$

$$l_z = \sqrt{(z_{i+1,j} - z_{i-1,j})^2 + (x_{i+1,j} - x_{i-1,j})^2} .$$

Зная величину начального шага сетки можно определить главные компоненты тензора деформаций и интенсивность деформаций по следующим формулам:

$$\varepsilon_a = \ln \left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{\left(\frac{l_z}{2\delta} \right)^2 + \left(\frac{l_x}{2\delta} \right)^2 + 2 \frac{X_{ij}}{x_{ij}}} + \sqrt{\left(\frac{l_z}{2\delta} \right)^2 + \left(\frac{l_x}{2\delta} \right)^2 - 2 \frac{X_{ij}}{x_{ij}}} \right] \right\}, \quad (10)$$

$$\varepsilon_b = \ln \left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{\left(\frac{l_z}{2\delta} \right)^2 + \left(\frac{l_x}{2\delta} \right)^2 + 2 \frac{X_{ij}}{x_{ij}}} - \sqrt{\left(\frac{l_z}{2\delta} \right)^2 + \left(\frac{l_x}{2\delta} \right)^2 - 2 \frac{X_{ij}}{x_{ij}}} \right] \right\},$$

$$\varepsilon_c = -(\varepsilon_a + \varepsilon_b); \quad \varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_c^2 + \frac{1}{3}(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2}, \quad (11)$$

где X_{ij} – радиальные координаты узлов сетки до деформации.

Индексация главных компонентов ε проставляется после определения их величин.

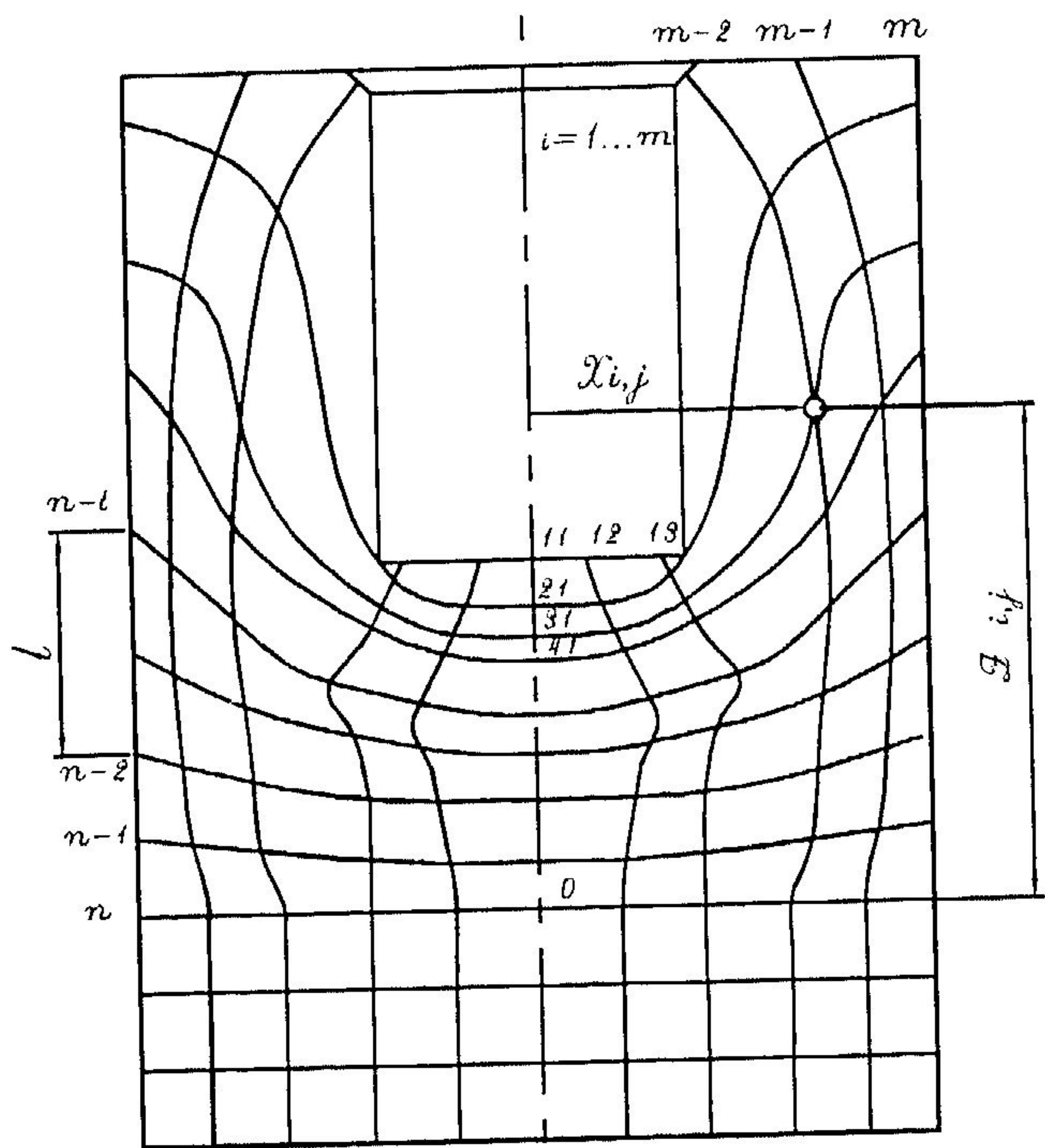


Рис. 3. Искаженная координатная сетка после выдавливания

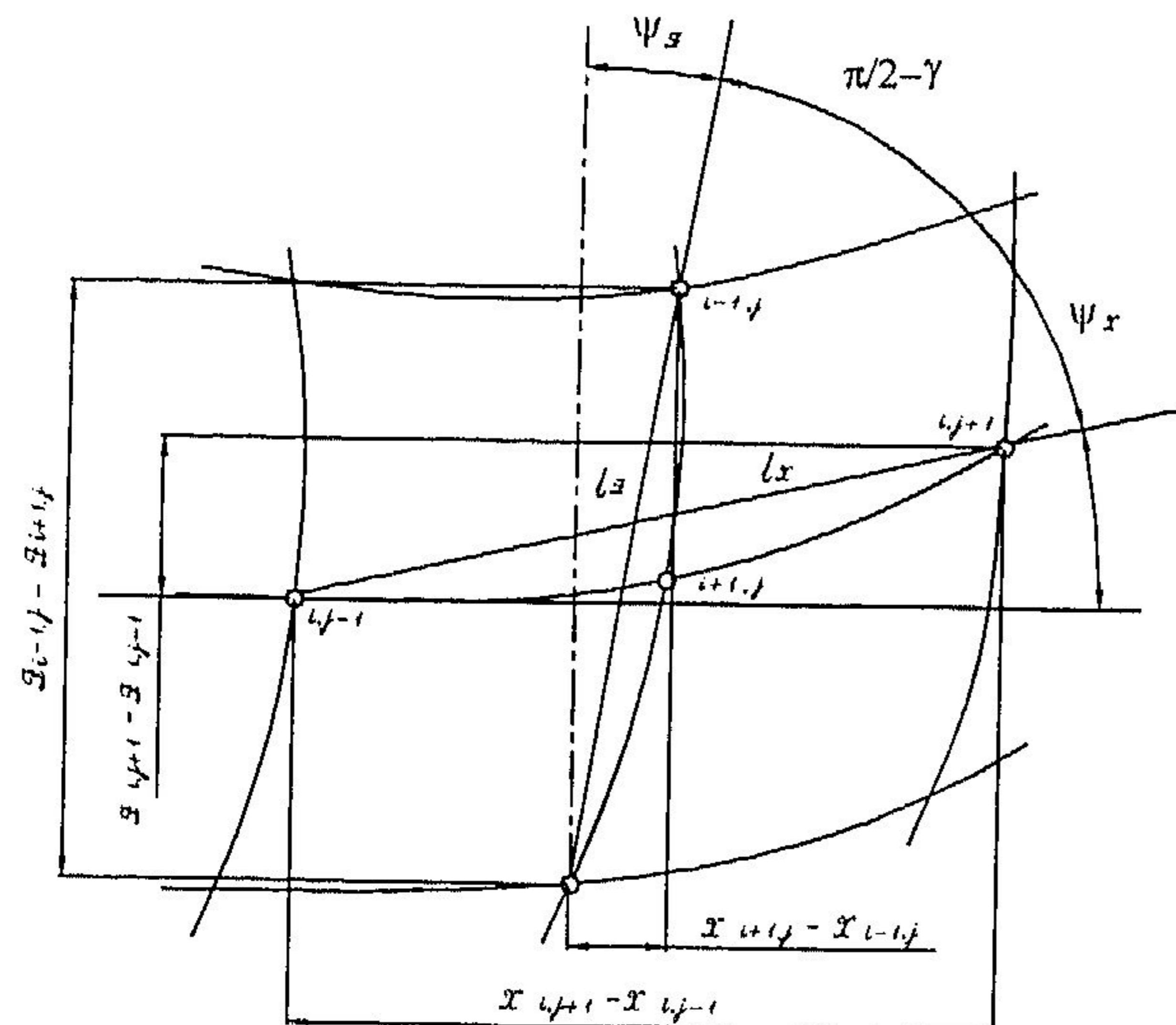


Рис 4. Схема к определению параметров деформированного состояния по искаженной координатной сетке

Далее определим направления главных осей результитивной деформации, для этого определим вспомогательные углы: угол сдвига $\gamma = \psi_z + \psi_x$; и угол $\chi = \psi_z - \psi_x$ из следующих геометрических соотношений (рис. 4):

$$\frac{\chi + \gamma}{2} = \arctg\left(\frac{x_{i+1,j} - x_{i-1,j}}{z_{i+1,j} - z_{i-1,j}}\right) \quad (12)$$

$$\frac{\chi - \gamma}{2} = \arctg\left(\frac{z_{i,j-1} - z_{i,j+1}}{x_{i,j+1} - x_{i,j-1}}\right) \quad (12)$$

откуда:

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{\chi + \gamma - \chi - \gamma}{2} \\ \chi &= \frac{\chi + \gamma + \chi - \gamma}{2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Затем определяем угол α между осью симметрии и направлением первой главной оси результитивной деформации из выражения:

$$2\alpha = \chi + \arctg\left(\frac{l_x^2 + l_z^2}{l_z^2 - l_x^2} \operatorname{tg} \gamma\right) \quad (14)$$

При этом если $l_z^2 - l_x^2 < 0$, то к значениям формулы (14) надо прибавить величину π .

При определении параметров деформации в узлах координатной сетки, лежащих на оси симметрии заготовки z , необходимо учитывать погрешности измерения и возможного искривления осевой линии, то есть в формулы (10) вместо значений l_x и l_z надо подставить уточненные значения $l'_x = l_x + \Delta l_x$ и $l'_z = l_z + \Delta l_z$, где Δl_x и Δl_z определяются из системы уравнений:

$$\Delta l_x = \left(l_x + \Delta l_x \right)^5 - 16\delta^3 [8\delta^3 - l_z(l_x + \Delta l_x)^2] = 0 \quad (15)$$

$$\Delta l_z = \left[8\delta^3 / (l_x - \Delta l_x)^2 \right] - l_z$$

Следует учитывать, что на оси симметрии

$$\left(\frac{x_{i,j}}{X_{i,j}} \right) = l_x / 2\delta \quad \text{и} \quad \gamma = \chi = 0, \quad 2\alpha = \pi.$$

На границе между заготовкой и матрицей нельзя замером установить величину хорды l_x , однако, так как

$$\chi = \arctg\left(\frac{z_{i,m-1} - z_{i,m}}{x_{i,m} - x_{i,m-1}}\right)$$

и учитывая, что здесь $\gamma = \chi$ (так как $\psi_z = 0$) на основе условия несжимаемости получим:

$$(l_x)_m = \frac{4\delta^2}{l_z \cos \gamma} \quad (16)$$

Компоненты тензора деформации в системе координат XYZ определяют, используя уравнения (10,11) и (14) по следующим зависимостям:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{2} [-\varepsilon_c + (\varepsilon_a - \varepsilon_b) \cos 2\alpha] \quad (17)$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} [-\varepsilon_c - (\varepsilon_a - \varepsilon_b) \cos 2\alpha]$$

В приложениях представлен пример расчета деформированного состояния образца по данной методике.

В приложении 1 представлен вид координатной сетки после деформирования (прессования) пустотелого профиля.

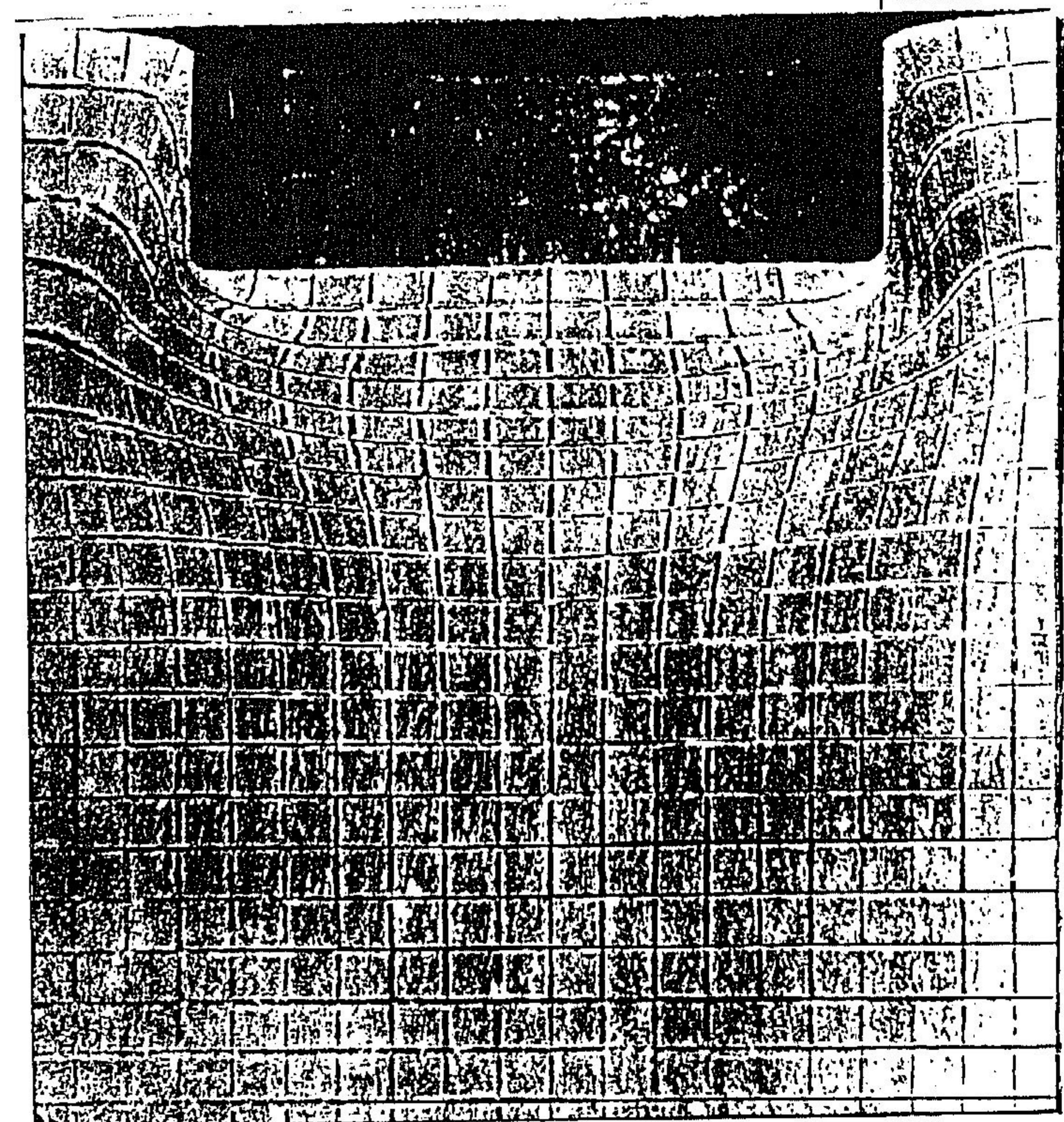
В приложении 2 представлены результаты расчета деформированного состояния.

В приложении 3 представлены эпюры распределения деформаций по осям Z и X.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Ляников А.В., Агеев Н.П., Кузнецов Д.П.*. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением. Под ред. А.В.Ляникова – СПб: Внешторгиздат., 1995. 528 с.
2. *Смирнов-Аляев Р.А., Чикидовский В.П.* Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1972. 360 с.
3. *Дель Г.Д., Новиков Н.А.* Метод делительных сеток. М.: Машиностроение, 1979. 144 с.

Деформированный образец с искаженной координатной сеткой



Приложение 2

Приложение 2 (продолжение)

Результаты расчета деформированного состояния

X	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

1.590	1.730	1.790	1.800	1.830	1.800	1.780	1.720	1.640
1.590	1.580	1.570	1.560					
3.310	3.460	3.540	3.650	3.730	3.660	3.560	3.440	3.290
3.180	3.140	3.100	3.080					
5.050	5.170	5.350	5.660	5.730	5.630	5.460	5.230	4.990
4.830	4.700	4.680	4.660					
6.710	6.860	7.360	7.680	7.700	7.550	7.260	6.930	6.580
6.390	6.270	6.220	6.190					
8.400	8.850	9.540	9.660	9.600	9.400	8.950	8.490	8.130
7.890	7.760	7.680	7.680					
10.250	10.590	10.990	11.330	11.210	10.990	10.510	10.030	9.660
9.400	9.250	9.210	9.190					

②	13.910	12.720	11.650	10.620	9.610	8.660	7.640	6.590	5.390
4.110	2.770	1.420	.000						
13.910	12.730	11.650	10.620	9.630	8.680	7.660	6.600	5.410	
4.120	2.790	1.430	.000						
13.910	12.730	11.650	10.610	9.660	8.730	7.750	6.650	5.480	
4.210	2.830	1.460	.020						
13.910	12.730	11.650	10.690	9.790	8.890	7.910	6.800	5.590	
4.270	2.880	1.510	.060						
13.910	12.740	11.770	10.020	10.170	9.240	8.210	7.000	5.710	
4.360	2.950	1.590	.070						
13.910	12.990	12.590	11.800	10.810	9.740	8.550	7.240	5.830	
4.450	2.990	1.620	.090						
17.330	16.450	15.140	13.460	11.840	10.420	8.910	7.470	5.990	
4.550	3.040	1.650	.120						

LR	LZ	EA	EB	EC	EI	ER	EZ
J= 2							
3.4600	2.2688	.1470	-.2897	.1427	.2897	.1461	-.2889
3.5400	2.1112	.1603	-.3371	.1768	.3372	.1602	-.3369
3.6500	2.0204	.1883	-.3706	.1823	.3706	.1883	-.3706
3.7303	1.9400	.2104	-.4093	.1989	.4093	.2104	-.4093
3.6607	1.9706	.1814	-.3637	.1823	.3637	.1814	-.3637
3.5617	2.0815	.1589	-.3301	.1711	.3301	.1589	-.3301
3.4405	2.2544	.1276	-.2644	.1369	.2645	.1274	-.2642
3.2912	2.4834	.0826	-.1719	.0892	.1719	.0826	-.1719
3.1816	2.6207	-.0126	-.0457	.0583	.0613	-.0126	-.0457
3.1406	2.6901	-.0080	-.0440	.0520	.0560	-.0090	-.0440
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

LR	LZ	EA	EB	EC	EI	ER	EZ
J= 3							
3.4400	2.2717	.1380	-.2806	.1427	.2806	.1369	-.2795
3.5600	2.1285	.1674	-.3329	.1655	.3329	.1664	-.3319
3.8606	1.9990	.2663	-.4625	.1961	.4642	.2640	-.4601
3.9033	1.8800	.2672	-.4850	.2178	.4859	.2668	-.4846
3.8358	1.9176	.2448	-.4436	.1989	.4444	.2446	-.4434
3.6885	2.0916	.2143	-.3855	.1711	.3863	.2141	-.3853
3.5157	2.2860	.1744	-.3113	.1369	.3120	.1740	-.3103
3.3548	2.4538	.1153	-.2076	.0923	.2080	.1151	-.2073
3.2435	2.6542	.1016	-.1599	.0583	.1618	.1016	-.1599
3.1213	2.7512	.0347	-.0803	.0456	.0806	.0347	-.0803
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

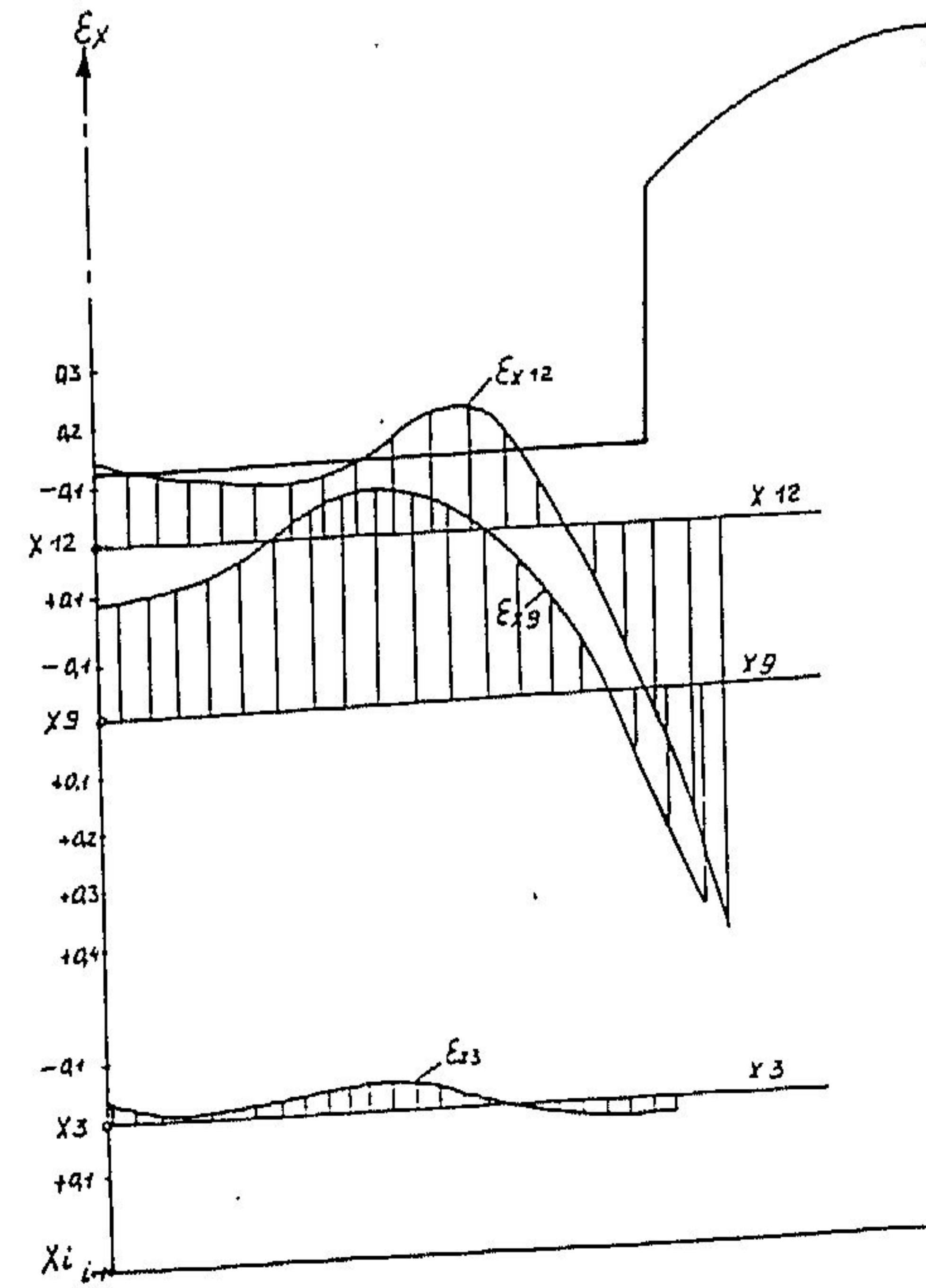
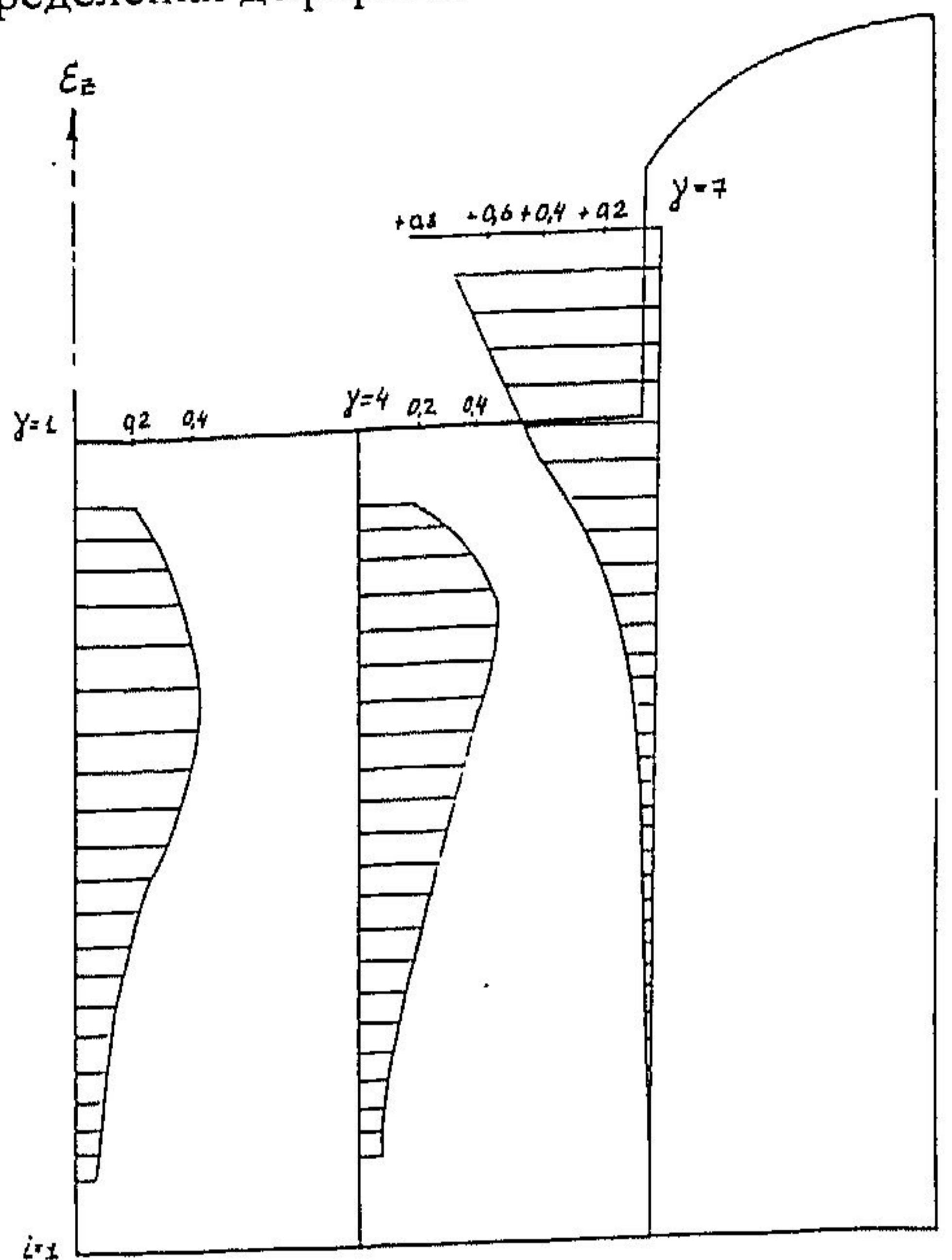
LR	LZ	EA	EB	EC	EI	ER	EZ
J= 4							
3.4000	2.2798	.1161	-.2549	.1388	.2552	.1144	-.2532
3.8219	2.0980	.2637	-.4367	.1730	.4399	.2513	-.4243
4.0730	1.8984	.3244	-.5538	.2293	.5565	.3237	-.5531
4.0026	1.8002	.2931	-.5347	.2416	.5355	.2905	-.5321
3.9233	1.8993	.2784	-.5024	.2240	.5034	.2783	-.5024
3.7285	2.1279	.2447	-.4381	.1934	.4391	.2440	-.4374
3.5075	2.3671	.2007	-.3511	.1503	.3523	.1994	-.3497
3.2980	2.5614	.1398	-.2432	.1034	.2441	.1391	-.2425
3.2135	2.7255	.1351	-.2059	.0708	.2092	.1348	-.2056
3.1323	2.7641	.0576	-.1011	.0435	.1014	.0576	-.1011
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

LR	LZ	EA	EB	EC	EI	ER	EZ
J= 5							
3.6892	2.2365	.2305	-.3644	.1339	.3686	.2108	-.3448
4.2941	2.8409	.4965	-.7008	.2043	.7208	.4193	-.6236
4.1512	1.6357	.3180	-.5648	.2469	.5663	.2681	-.5149
4.0022	.7908	.1761	-.4256	.2495	.4277	.1748	-.4243
3.8646	2.0088	.2787	-.5085	.2298	.5093	.2787	-.5085
3.5482	2.3242	.2229	-.4135	.1906	.4139	.2216	-.4123
3.2896	2.5908	.1755	-.3196	.1441	.3201	.1734	-.3175
3.1492	2.6947	.1059	-.1982	.0923	.1984	.1047	-.1970
3.0653	2.7774	.0469	-.1099	.0630	.1103	.0468	-.1093
3.0620	2.7752	-.0242	-.0242	.0440	.0440	-.0220	-.0220
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

LR	LZ	EA	EB	EC	EI	ER	EZ
J= 6							
5.2609	1.7441	.5797	-.7452	.1655	.7826	-.0326	-.1329
4.9532	1.4395	.5021	-.7427	.2406	.7579	.0185	-.2591
5.0156	1.7810	.5397	-.7928	.2531	.9098	.3426	-.5957
3.8870	2.0763	.3002	-.5471	.2469	.5480	-.5259	-.5259
3.6368	2.3516	.2689	-.4947	.2258	.4953	.2684	-.4942
3.3245	2.6605	.2243	-.4011	.1768	.4020	.2214	-.3981
3.1354	2.8						

Приложение 3

Эпюры распределения деформаций по осям Z и X



СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Теоретические основы метода координатной сетки.....	4
1.1 Назначение и краткая характеристика метода.....	4
1.2 Основные теоретические положения методик расчета деформированного состояния.....	4
2. Расчет деформированного состояния по координатной сетке с квадратными (до деформации) ячейками.....	8
Список литературы.....	12
Приложение 1. Деформированный образец с искаженной координатной сеткой.....	13
Приложение 2. Результаты расчета деформированного состояния	14
Приложение 3. Эпюры распределения деформаций по осям Z и X.....	16