

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРУЧЕНИЯ

Клованич С.Ф. (Одесский национальный морской университет)

Безушко Д.И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса, Украина)

В статье представлен анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при действии кручения, произведенный с помощью использования аппарата метода конечных элементов в трехмерной постановке и варианта деформационной теории пластичности.

1. Введение. Одним из актуальных направлений по совершенствованию проектирования современных железобетонных конструкций является повышение качества их расчета при сложных силовых воздействиях. При этом, эффективное использование железобетона в строительных конструкциях невозможно без достоверных, надежных и экономичных методов расчета. На современном этапе развития науки, общая теория железобетона должна учитывать нелинейные свойства материалов и представлять собой систему, базирующуюся на определенных гипотезах, обобщающих данные экспериментальных исследований, фундаментальные законы механики деформируемого твердого тела и методов строительной механики.

Одним из возможных теоретических направлений, позволяющих удовлетворить новым запросам практики проектирования и новым тенденциям современной механики железобетона, может являться использование метода конечных элементов в пространственной постановке, при чем необходимо учесть особенности работы железобетонных конструкций, при сложных видах напряженно-деформированного состояния. Для реализации данного подхода к анализу железобетонных конструкций, необходимо использовать физически обоснованный закон деформирования комплексного материала (железобетон).

Еще одним аспектом повышения качества расчетных моделей конструкций является использование современных критериев прочности материалов, которые позволяют оценить их несущую способность при сложном неравномерном трехосном напряженном состоянии.

Используя расчетные модели, которые основаны на полных диаграммах деформирования материалов и критериях прочности и используя аппарат метода конечных элементов в объемной постановке, можно выйти на качественно новый уровень развития расчета бетонных и железобетонных конструкций, который удовлетворил бы современным требованиям.

Целью работы является представление результатов анализа напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при действии кручения, с использованием аппарата метода конечных элементов [1] и модели материала учитывающей сложные виды напряженного состояния [3]. Следует отметить, что кручение в конструкции приводит к одному из наиболее сложных напряженно-деформированных состояний. Что и послужило поводом для использования этого вида нагружения в качестве тестового примера для тестирования варианта деформационной теории пластичности предложенной в [2].

2. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при действии кручения. В качестве примера рассмотрим анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при действии кручения из экспериментальных исследований Ranchagam и Belardi [4].

Опытный образец, представляет собой железобетонную балку квадратного сечения 279x279мм. Армирование в продольном направлении: по углам граней 4 стержня $\varnothing 12.7$ мм и 4 стержня $\varnothing 9.53$ мм, при этом $A_s = 800 \text{ мм}^2$. Поперечное армирование выполнено замкнутыми хомутами из арматуры $\varnothing 9.53$ мм, с шагом 152.4 мм в центре. Чтобы вызывать разрушение в середине балки, приопорные зоны 0.914 м. длиной на каждом конце армировались хомутами $\varnothing 9.53$ мм, с шагом 38.1 мм. Схема армирования представлена на рис.1. Физико-механические характеристики: бетона $R_b = 26$ МПа, $E_b = 16200$ МПа, арматуры $E_s = 201000$ МПа, $R_s = 320$ МПа.

Для моделирования тела балки используем 8-ми узловой объемный конечный элемент. На рис.2. представлена расчетная модель балки-стенки с цветовым выделением типов жесткости в элементах.

Нагрузка моделируется сосредоточенными силами в узлах по 1кН, которые образуют пары сил. При этом крутящий момент передаваемый на каждой ступени нагружения составляет $M_k = 0.4 \text{ кНм}$.

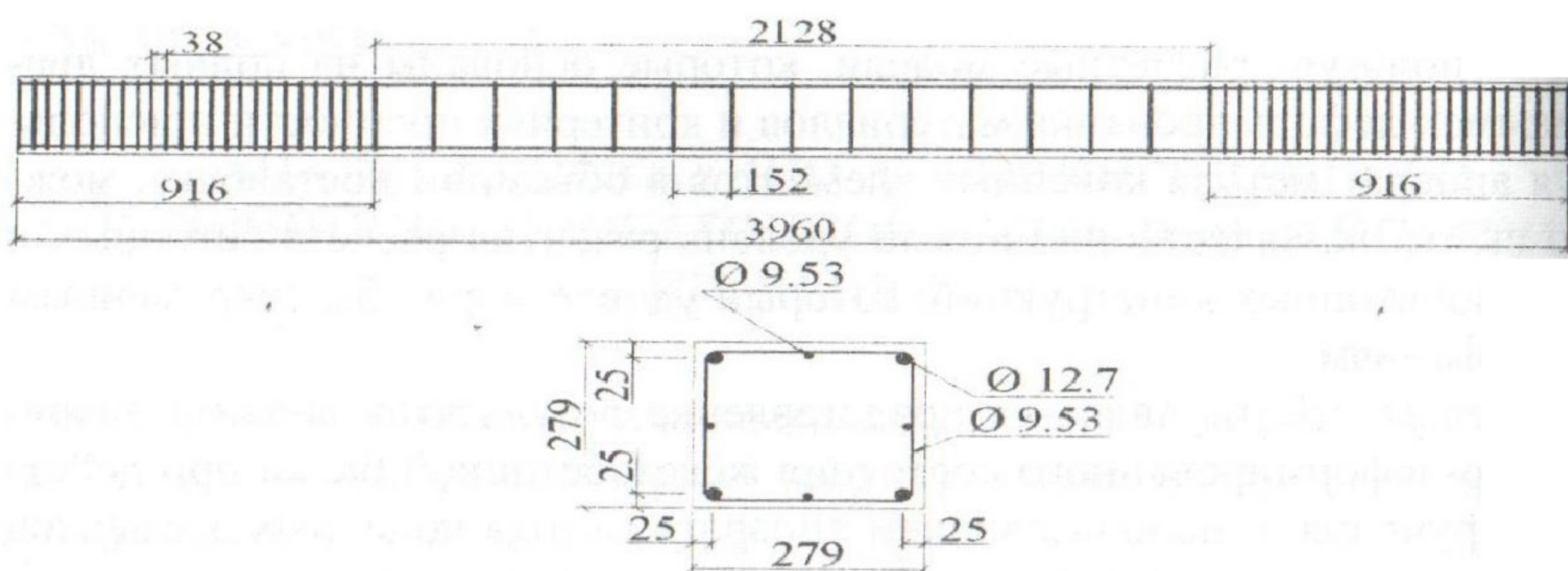


Рис.1. Геометрические размеры и схема армирования балки

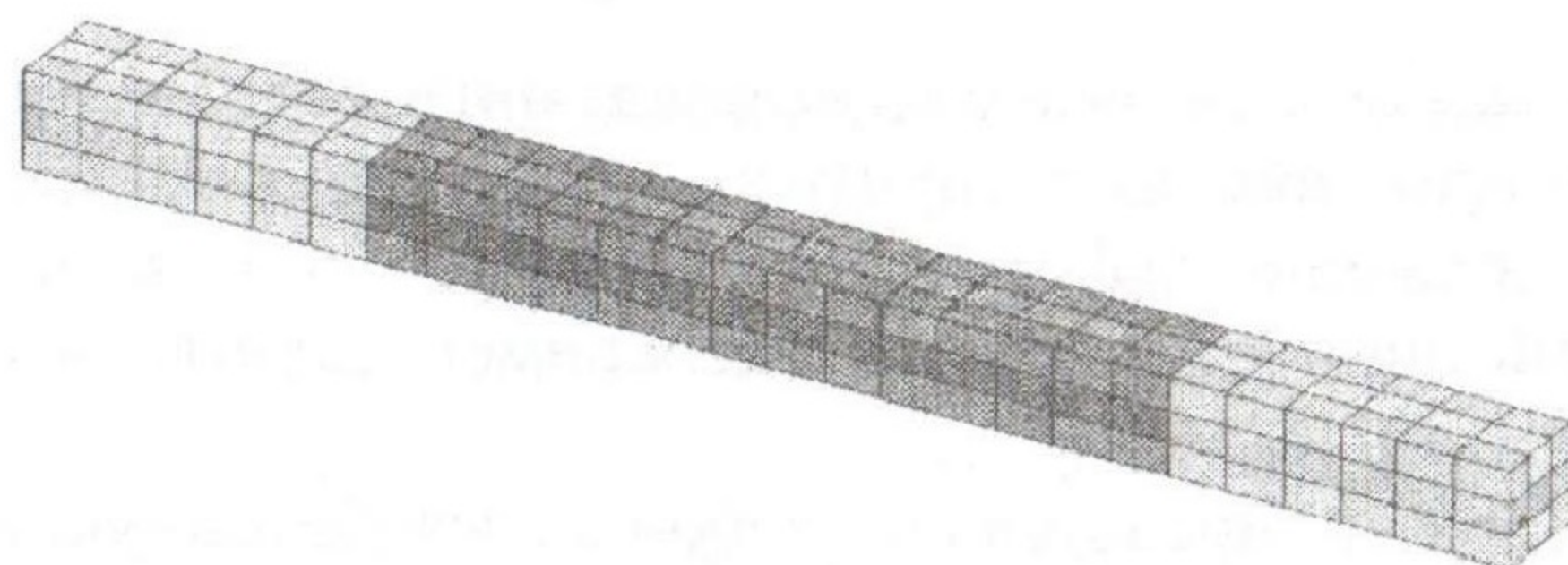


Рис.2 Расчетная модель балки

3. Анализ результатов расчета. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной балки при действии кручения будем вести, рассматривая главные напряжения σ_1 и σ_3 . Так на рис. 3 и 4 представлено распределение главных напряжений σ_1 и σ_3 на 35 степени нагружения. Что характеризуют работ конструкции до образования трещин. Подобное распределение напряжений наблюдается до 39 степени, и характеризуется постепенным увеличением напряжений.

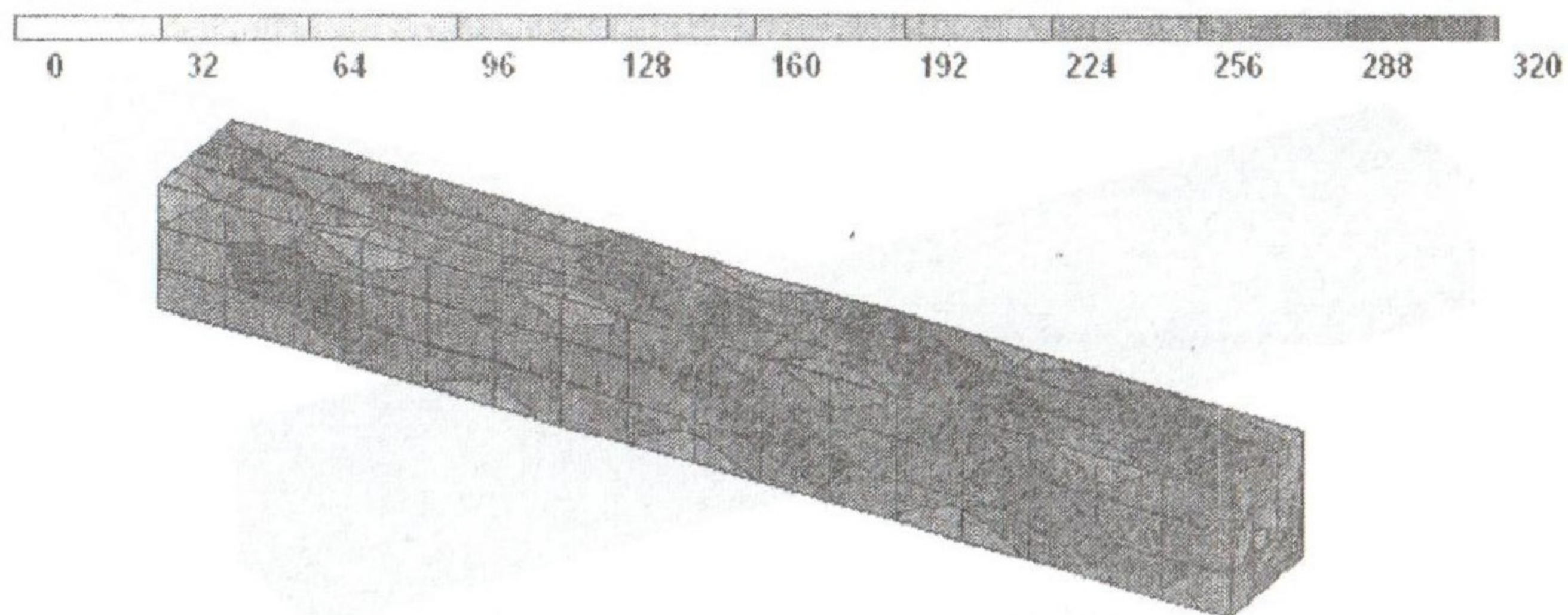


Рис.3 Главные напряжения σ_1 на 35 ступени нагружения, 10^{-2} МПа

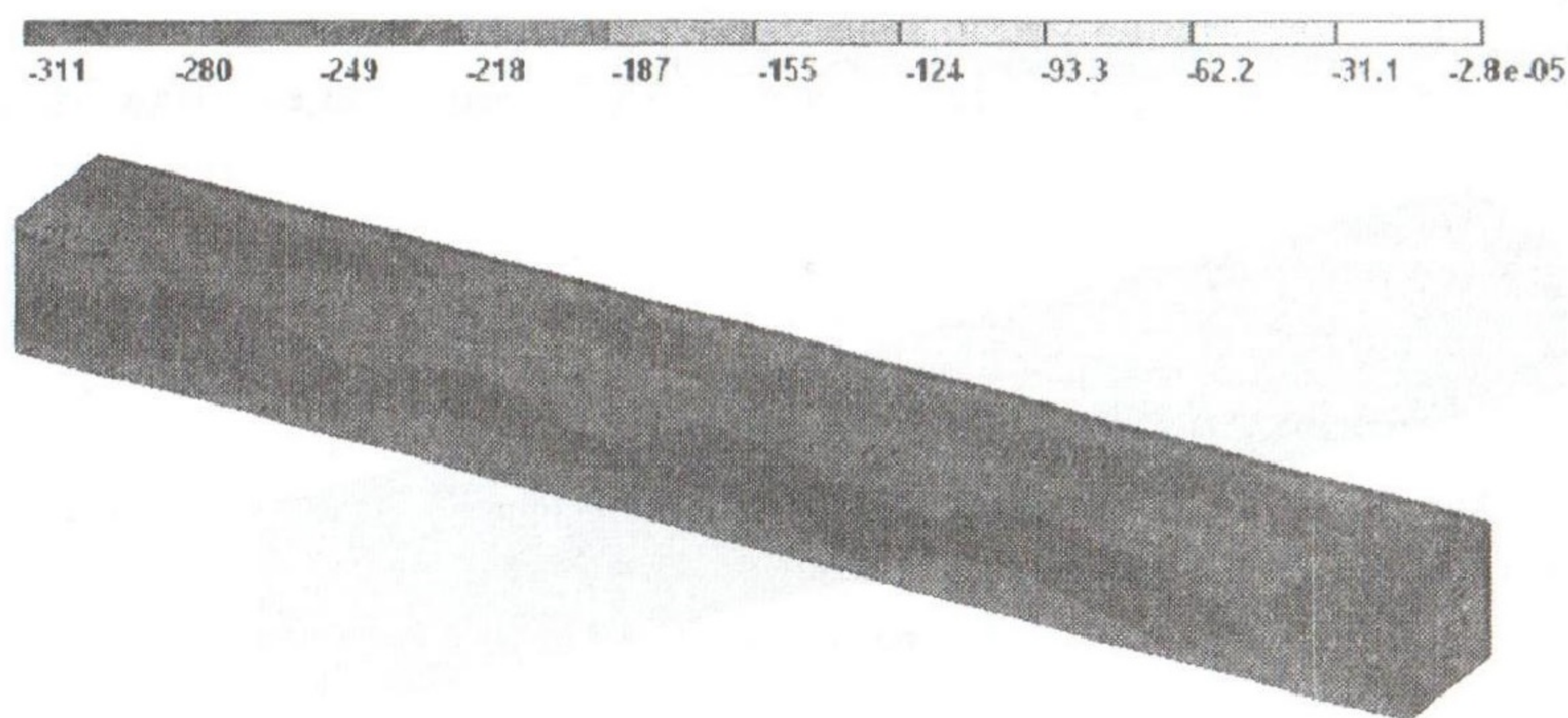


Рис.4 Главные напряжения σ_3 на 35 ступени нагружения, 10^{-2} кН/м²

На 40-ой ступени нагружения образуются трещины о чем свидетельствует падение напряжений в бетоне см. рис.5-6. При дальнейшем увеличении нагрузки, становятся явно выраженными две диагональные трещины, и разрушение происходит после 43 ступени приложения нагрузки рис. 7-8.

Для проверки достоверности полученных результатов, сравним их с известными экспериментальными данными [4]. Во время анализа напряженно-деформированного состояния балки трещины начали образовываться на 40 ступени нагружения, чему соответствует крутящий момент $M_k = 16 \text{ кНм}$, а по результатам заимствованным из [4] $M_k = 17 \text{ кНм}$, при этом отклонение составляет 5.9%.

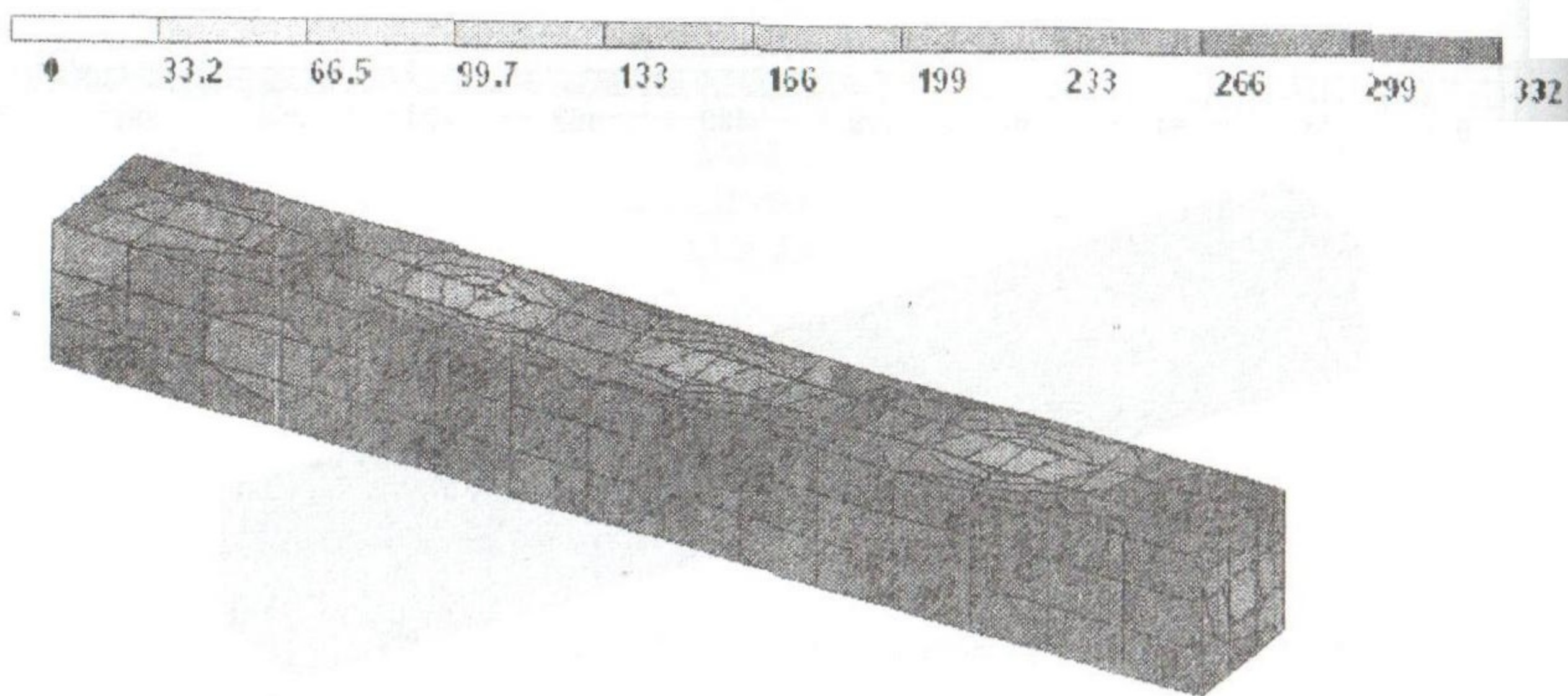


Рис.5. Главные напряжения σ_1 на 40 ступени нагружения, 10^{-2} МПа

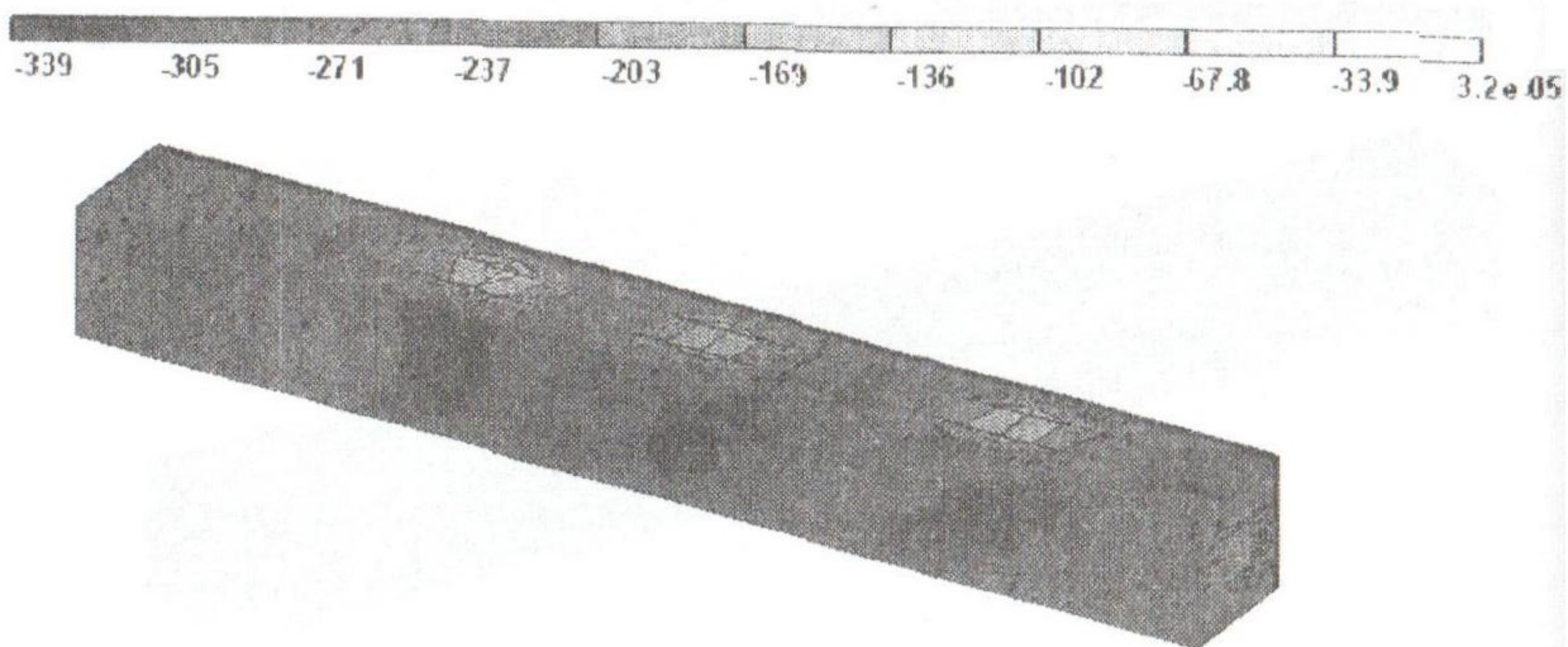


Рис.6. Главные напряжения σ_2 на 40 ступени нагружения, 10^{-2} МПа

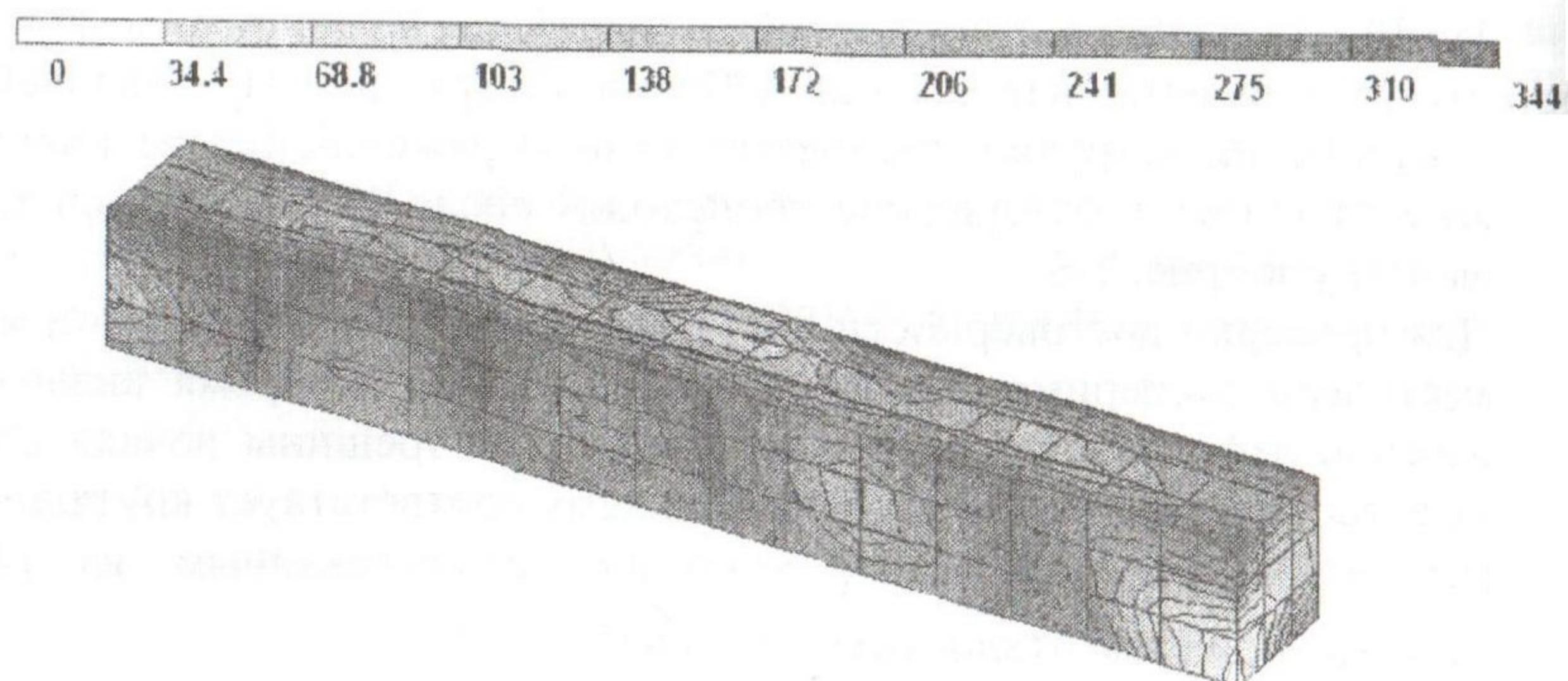


Рис.7. Главные напряжения σ_1 на 43 ступени нагружения, 10^{-2} МПа

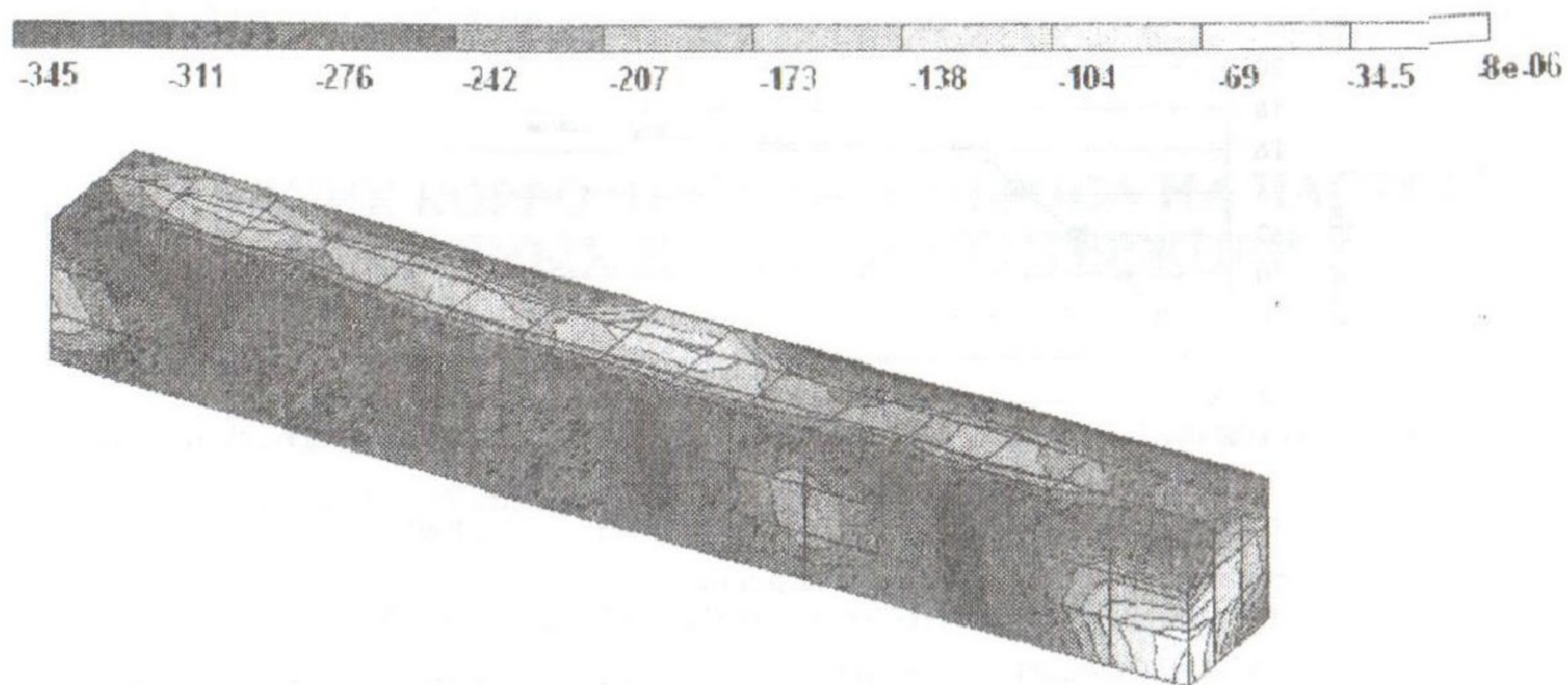


Рис.8. Главные напряжения σ_1 на 43 ступени нагружения, 10^{-2} МПа

По данным численного эксперимента разрушение наступило на 43 ступени нагружения, чему соответствует $M_k = 17.2 \text{ кНм}$, а по данным [4], крутящий момент при разрушении составляет $M_k = 18 \text{ кНм}$, при этом относительное отклонение 4.4%.

Деформированное состояние, балки при кручении можно оценить используя угол поворота φ сечения. Результаты сравнения представлены в таблице.

В таблице так же представлено сравнение относительных углов поворота полученных при расчете и экспериментальных [4]. В графическом виде сравнение результатов см. рис.9.

Углы поворота

Нагрузка, кНм	φ , рад.	$\frac{\varphi}{l}$, $\frac{\text{рад.}}{\text{мм}}$		Отн. от- клон., %
		расчет	из [4]	
2	0.0013	3.28E-07	3.30E-07	0.6
4	0.0041	1.04E-06	1.08E-06	3.8
6	0.0085	2.14E-06	2.24E-06	4.7
8	0.0144	3.65E-06	3.54E-06	3.0
10	0.0219	5.54E-06	5.28E-06	4.7
12	0.0309	7.8E-06	7.58E-06	2.8
14	0.0415	1.05E-05	1.13E-05	7.6
16	0.0543	1.37E-05	1.29E-05	5.8
16.4	0.0940	2.37E-05	2.28E-05	3.8
16.8	0.1194	3.01E-05	2.90E-05	3.7
17.2	0.1398	3.53E-05	3.38E-05	4.2

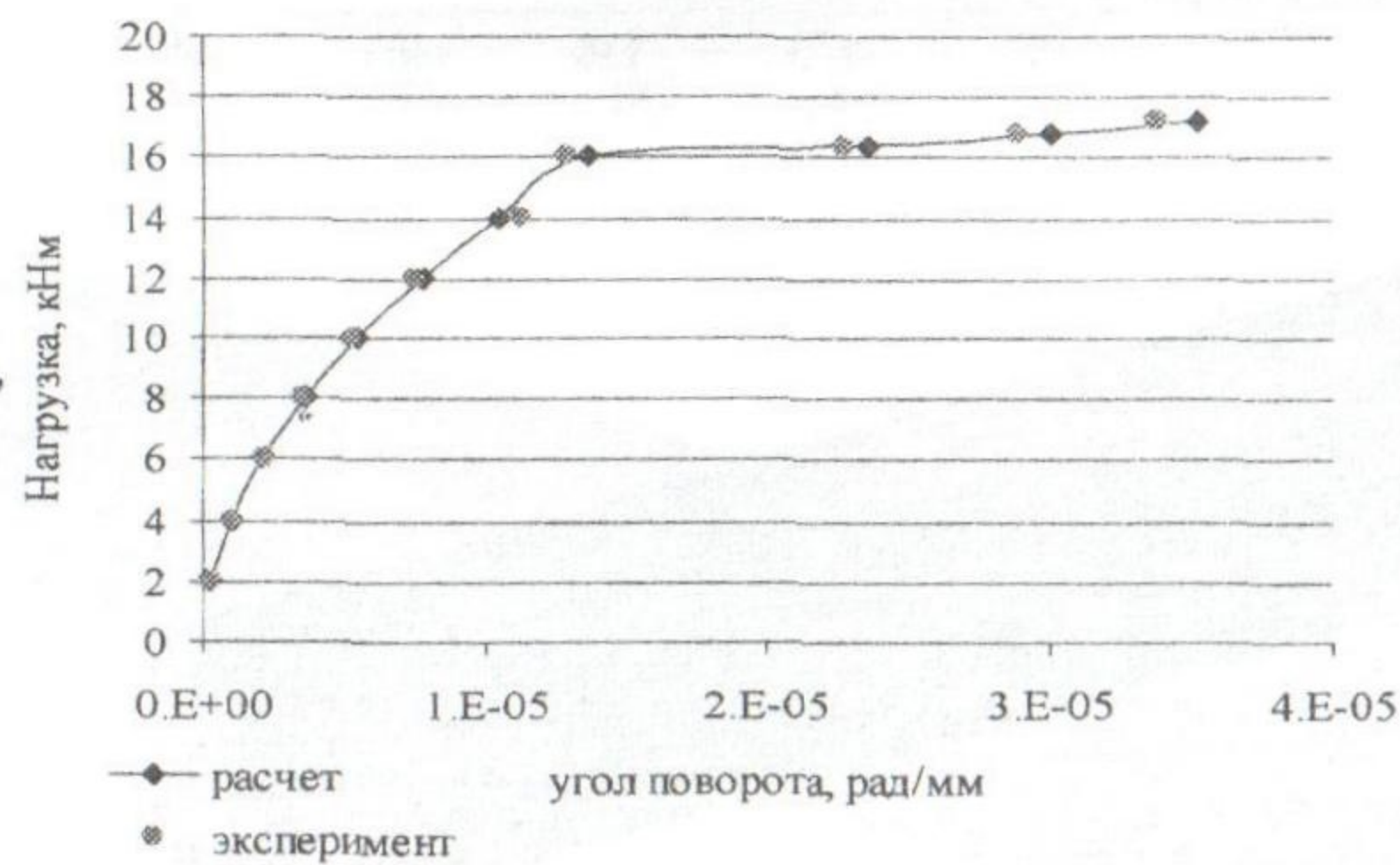


Рис.9. Углы поворота

Вывод. При сравнении результатов расчета с известными экспериментальными данными, среднее относительное отклонение составляет для: предела трещинообразования 5.9%; разрушения конструкции 4.4%. Анализ деформаций рассматриваемых конструкций показывает среднее отклонение, между расчетными и экспериментальными данными 7.6%. Полученные данные свидетельствуют о удовлетворительном совпадении результатов численного анализа напряженно-деформированного состояния конструкции и известных экспериментальных данных.

Литература

1. Клованич С.Ф. Программа "CONCORD" для решения геотехнических задач методом конечных элементов//Вісник ОНМУ, №10.2003.-С.39-46.
2. Клованич С.Ф., Безушко Д.І. Варіант деформаційної теорії пластичності та методика її тестування//Будівельні конструкції.-вип.65.-2006.-С.28-35.
3. Клованич С.Ф., Безушко Д.И. Численный эксперимент по исследованию деформационных теорий пластичности бетона//Вестник Одесской госакадемии строительства и архитектуры. - вып. 22, 2006. – С. 122-130.
4. Panchacharam S., Belardi A. Torsional behavior of reinforced concrete beams strengthened with FRP composites//Proceedings of the 1st fib Congress, Session 5. 2003.-P.207-216.