



SOFiSTiK: Расчет монолитных железобетонных плит с учетом физической нелинейности

Александр Морозов

Аспирант кафедры ЖБК, НГАСУ (Сибстрин)

Общие сведения и не много теории

СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СП 52-101-2003



5.1.2 Расчет бетонных и железобетонных конструкций (линейных, плоскостных, пространственных, массивных) по предельным состояниям первой и второй групп производят по напряжениям, усилиям, деформациям и перемещениям, вычисленным от внешних воздействий в конструкциях и образуемых ими системах зданий и сооружений с учетом физической нелинейности (неупругих деформаций бетона и арматуры), возможного образования трещин и в необходимых случаях - анизотропии, накопления повреждений и геометрической нелинейности (влияние деформаций на изменение усилий в конструкциях).

Физическую нелинейность и анизотропию следует учитывать в определяющих соотношениях, связывающих между собой напряжения и деформации (или усилия и перемещения), а также в условиях прочности и трещиностойкости материала.

В статически неопределимых конструкциях следует учитывать перераспределение усилий в элементах системы вследствие образования трещин и развития неупругих деформаций в бетоне и арматуре вплоть до возникновения предельного состояния в элементе. При отсутствии методов расчета, учитывающих неупругие свойства железобетона, а также для предварительных расчетов с учетом неупругих свойств железобетона усилия и напряжения в статически неопределимых конструкциях и системах допускается определять в предположении упругой работы железобетонных элементов. При этом **влияние физической нелинейности рекомендуется учитывать путем корректировки результатов линейного расчета** на основе данных экспериментальных исследований, нелинейного моделирования, результатов расчета аналогичных объектов и экспертных оценок.

СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СП 52-101-2003



5.2.8 Расчет железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели производят на основе диаграмм состояния бетона и арматуры, исходя из гипотезы плоских сечений. Критерием прочности нормальных сечений является достижение предельных относительных деформаций в бетоне или арматуре.

5.5.3 В тех случаях, когда прогибы железобетонных элементов в основном зависят от изгибных деформаций, значения прогибов определяют по кривизнам элементов или по жесткостным характеристикам.

Кривизну железобетонного элемента определяют как частное деления изгибающего момента на жесткость железобетонного сечения при изгибе.

Жесткость рассматриваемого сечения железобетонного элемента определяют по общим правилам сопротивления материалов: для сечения без трещин - как для условно упругого сплошного элемента, а для сечения с трещинами - как для условно упругого элемента с трещинами (принимая линейную зависимость между напряжениями и деформациями). Влияние неупругих деформаций бетона учитывают с помощью приведенного модуля деформаций бетона, а влияние работы растянутого бетона между трещинами - с помощью приведенного модуля деформаций арматуры.

Расчет деформаций железобетонных конструкций с учетом трещин производят в тех случаях, когда расчетная проверка на образование трещин показывает, что трещины образуются. В противном случае производят расчет деформаций как для железобетонного элемента без трещин.

Кривизну и продольные деформации железобетонного элемента также определяют по нелинейной деформационной модели исходя из уравнений равновесия внешних и внутренних усилий, действующих в нормальном сечении элемента, гипотезы плоских сечений, диаграмм состояния бетона и арматуры и средних деформаций арматуры между трещинами.

6.2.5 Значения нелинейных жесткостей железобетонных элементов следует устанавливать в зависимости от стадии расчета, требований к расчету и характера напряженно-деформированного состояния элемента.

На первой стадии расчета конструктивной системы, характеризуемой тем, что армирование железобетонных элементов неизвестно, нелинейную работу элементов рекомендуется учитывать путем понижения их жесткостей с помощью условных обобщенных коэффициентов.

На последующих стадиях расчета конструктивной системы, когда известно армирование железобетонных элементов, в расчет следует вводить уточненные значения жесткостей элементов, определяемые с учетом армирования, образования трещин и развития неупругих деформаций в бетоне и арматуре согласно указаниям действующих нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций.

6.2.6 ...необходимо учитывать снижение жесткостей в изгибаемых плитных элементах (в результате возможного образования трещин) по сравнению с внецентренно сжатыми элементами. В первом приближении рекомендуется принимать модуль упругости материала равным E_b с понижающими коэффициентами: **0,6 – для вертикальных сжатых элементов; 0,3 – для плит перекрытий (покрытий) с учетом длительности действия нагрузки.**

Расчет балки Крылова в SOFiSTiK

Постановка задачи

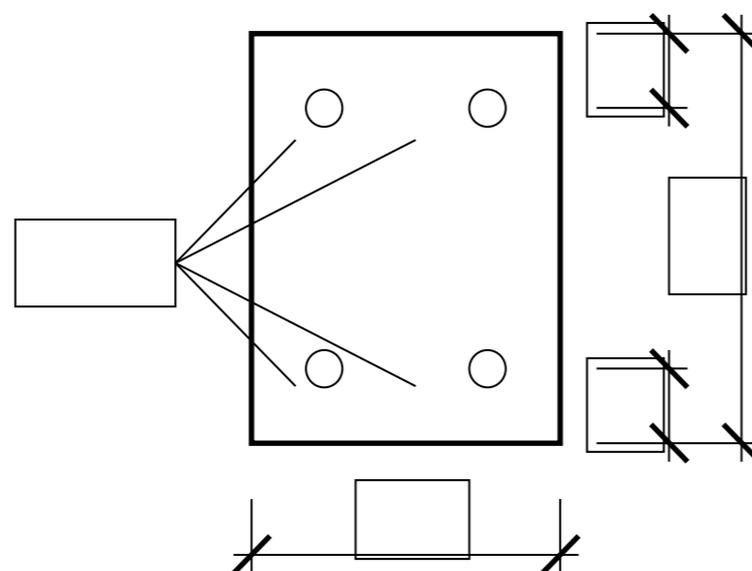
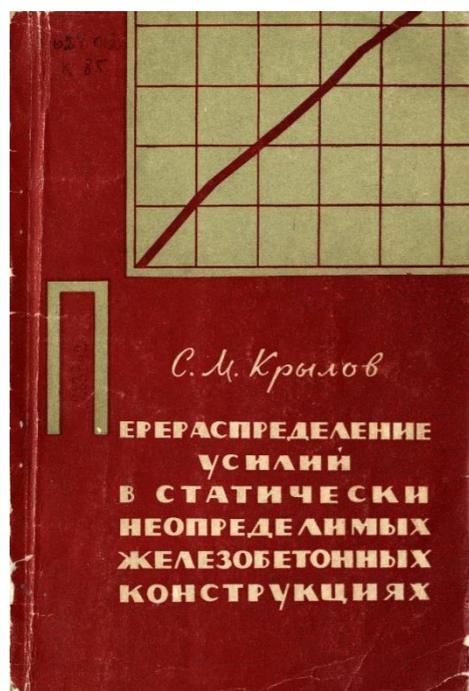
Материалы: Класс бетона В20, Арматура 4d16 А400

Несущая система: двух пролетная балка, пролеты по 2 м.

Граничные условия: шарнирные связи X и Z в трех точках.

Разбиение на конечные элементы: шаг разбиения стержня 0,25 м.

Нагрузки и воздействия: принята узловая сосредоточенная 78,48 кН в третях пролетов.

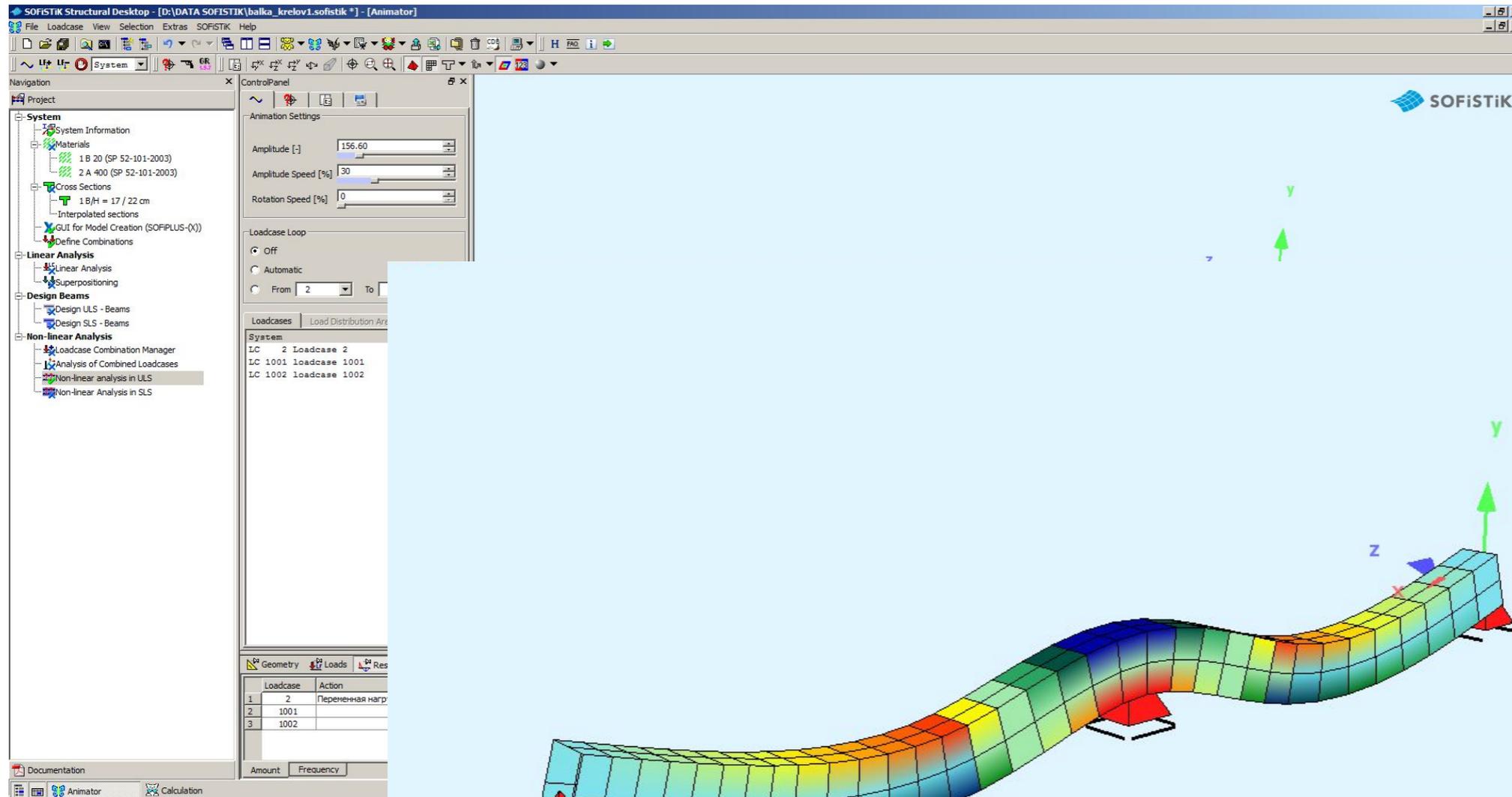


Бетон В20

Арматура А400

R_b , МПа	11,5
E_b , МПа	27500
$\varepsilon_{b1,red}$	0,0015
R_{bt}	0,9
E_s , МПа	200000
$R_s = R_{sc}$, МПа	355

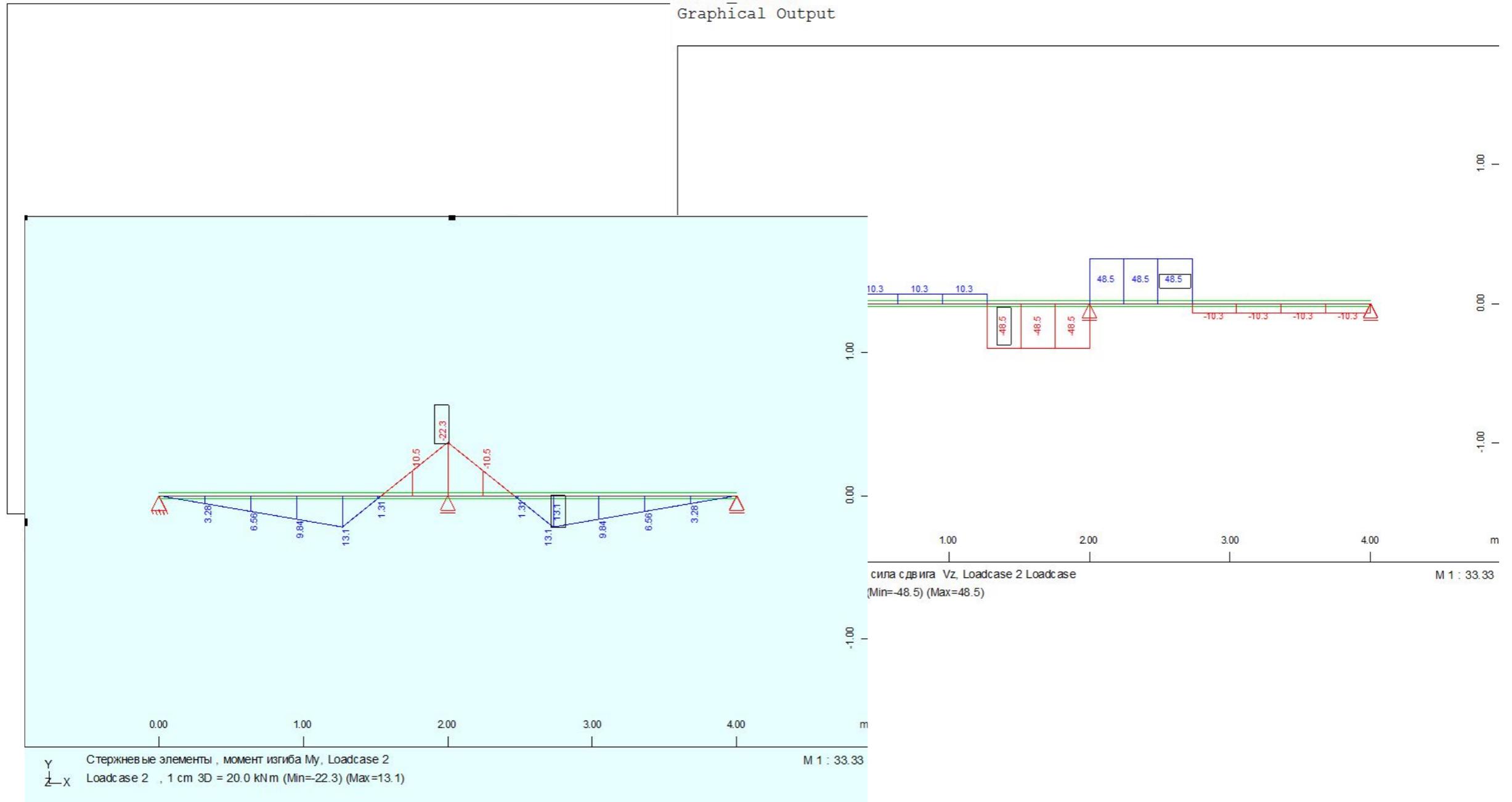
Расчет модель балки Крылова в SOFiSTiK в модули ASE



Результаты расчета в SOFiSTiK

balka_krelov1
Graphical Output

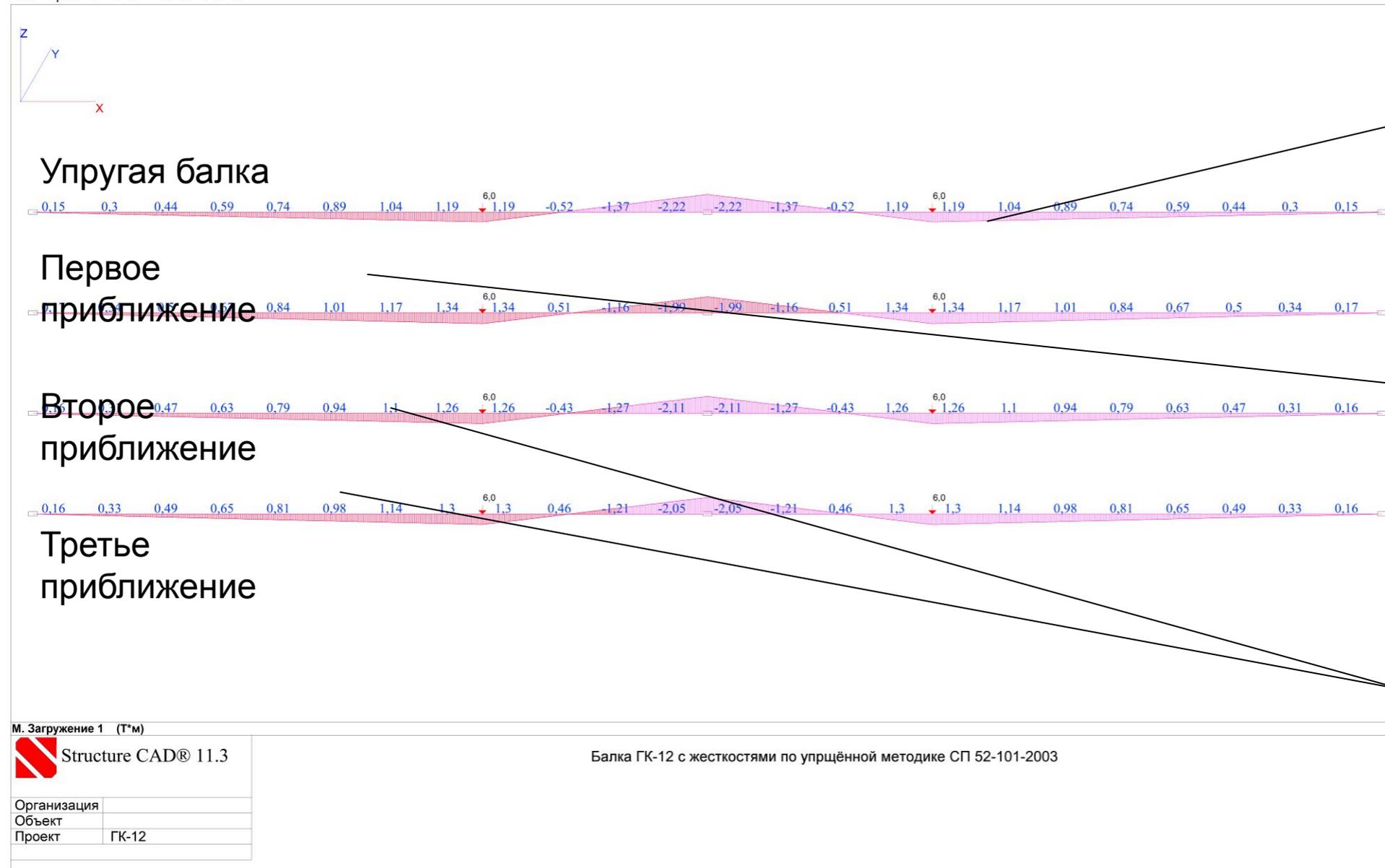
balka_krelov1
Graphical Output



Сравнение результатов SCAD и SOFiSTiK



Файл проекта : C:\SDATA\ГК-12.SPR



$$\frac{M_{on}}{M_{np}} = 1,7$$

$$\frac{M_{on}}{M_{np}} = 1,55$$

$$\frac{M_{on}}{M_{np}} = 1,4$$

М. Загрузка 1 (Т*м)

Structure CAD® 11.3

Организация	
Объект	
Проект	ГК-12

Балка ГК-12 с жесткостями по упрощённой методике СП 52-101-2003

Сравнение результатов

SCAD Office	SOFISTiK
Отсутствие физической нелинейности	Наличие физической нелинейности, различные законы деформирования для бетона, стали и грунта.
Полностью ручная работа с моделью.	Создание модели в интерфейсе схожем с AutoCAD
Полностью ручная корректировка модуля деформации, единого для всего сечения	Автоматический пересчет физических параметров сечения послойно (фибровая модель).
Необходимо две различные расчётные модели для РС1 и РС2 либо трудоемка функция “Вариация моделей”	Учет физической нелинейности для обоих предельных состояний в одной модели
Оценка системы в состоянии с трещинами только по косвенным результатам	Графическое отображение схем трещинообразования
Время расчета 8 с, для одной итерации	Время полного расчета 6 с, на многоядерных ПК ощутимый прирост производительности

Моделирование плит в ЛИРА-САПР и SOFiSTiK

Постановка задачи

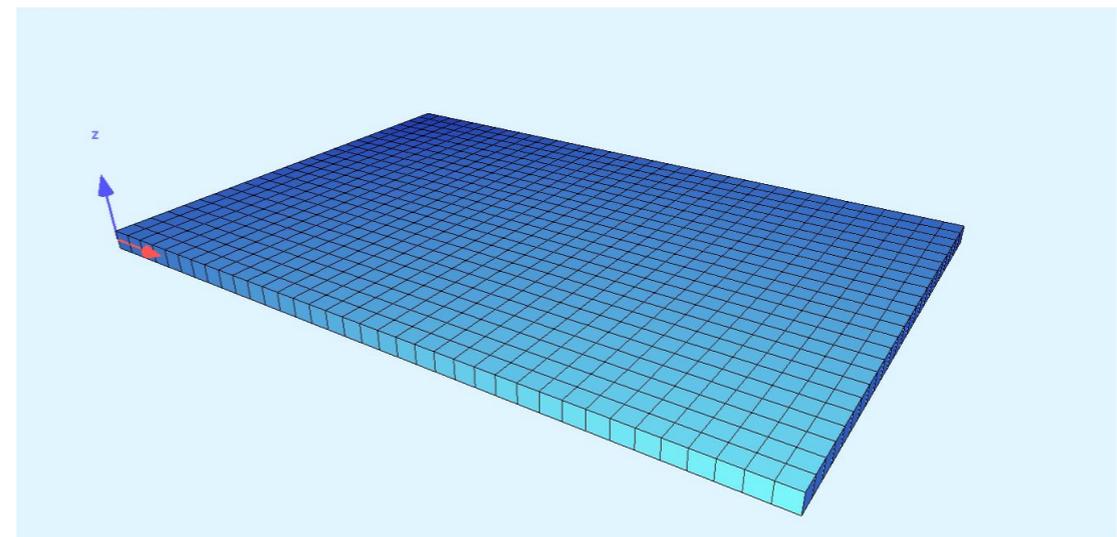
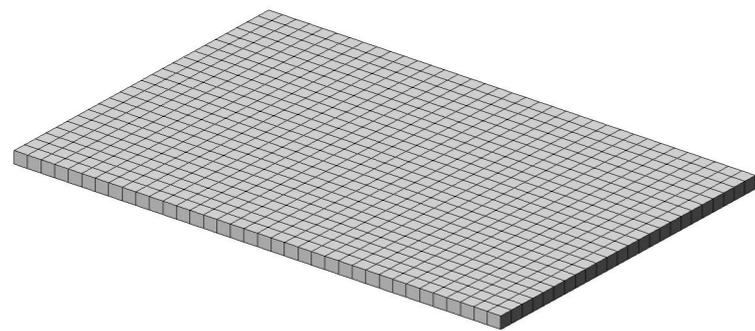
Материалы: Класс бетона В25, Арматура А400

Несущая система: Размер ячейки плиты 9х6 м , толщина 24 см, соотношение сторон $l_2/l_1=1,5$

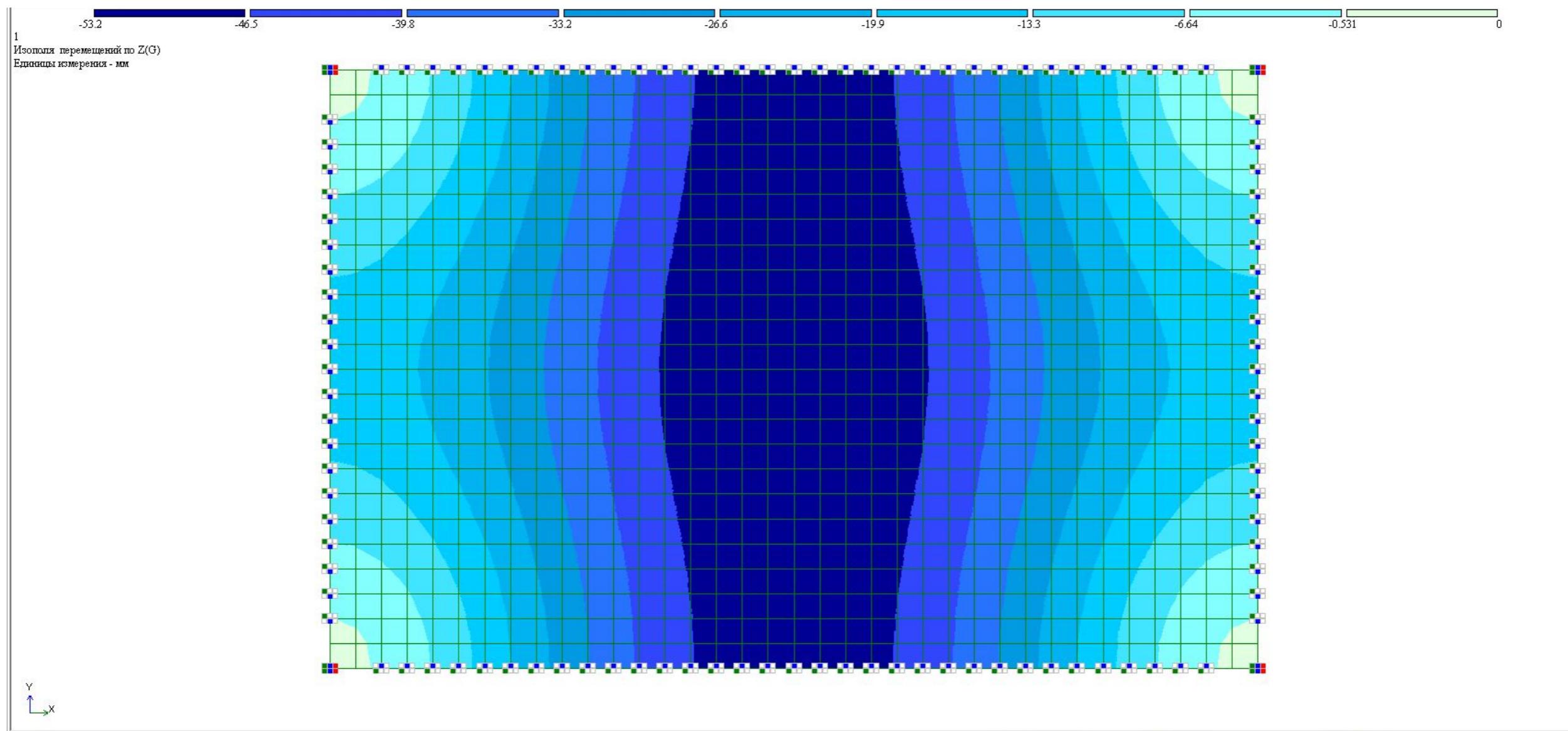
Граничные условия: жесткое защемление на углах плиты, по 9м стороне связи X и UY , по 6м стороне связи Y и UX, в стыке колонны и плиты АЖТ.

Разбиение на конечные элементы: шаг разбиения составляет 0,25 м.

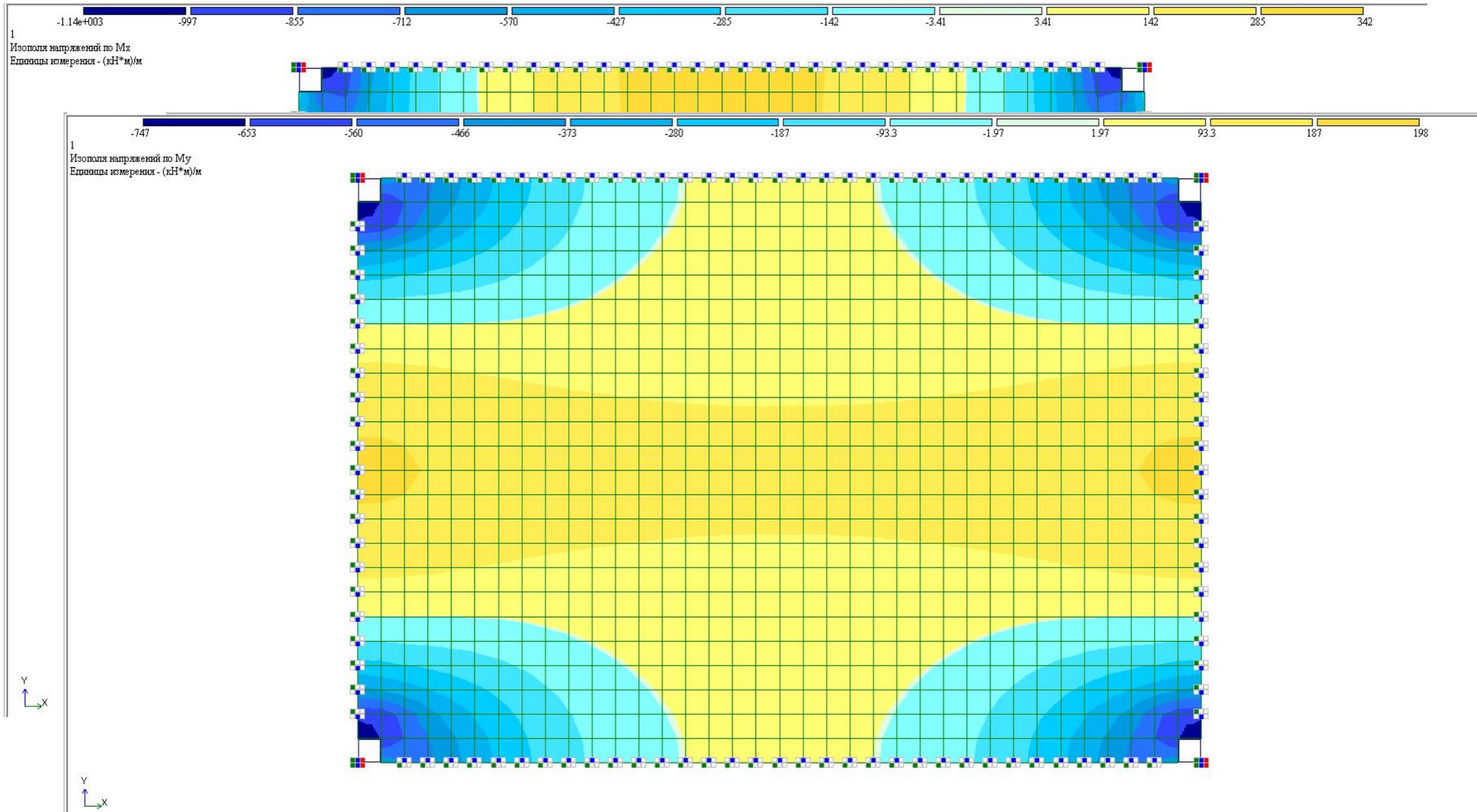
Нагрузки и воздействия: принята нагрузка 100 kN/m^2 .



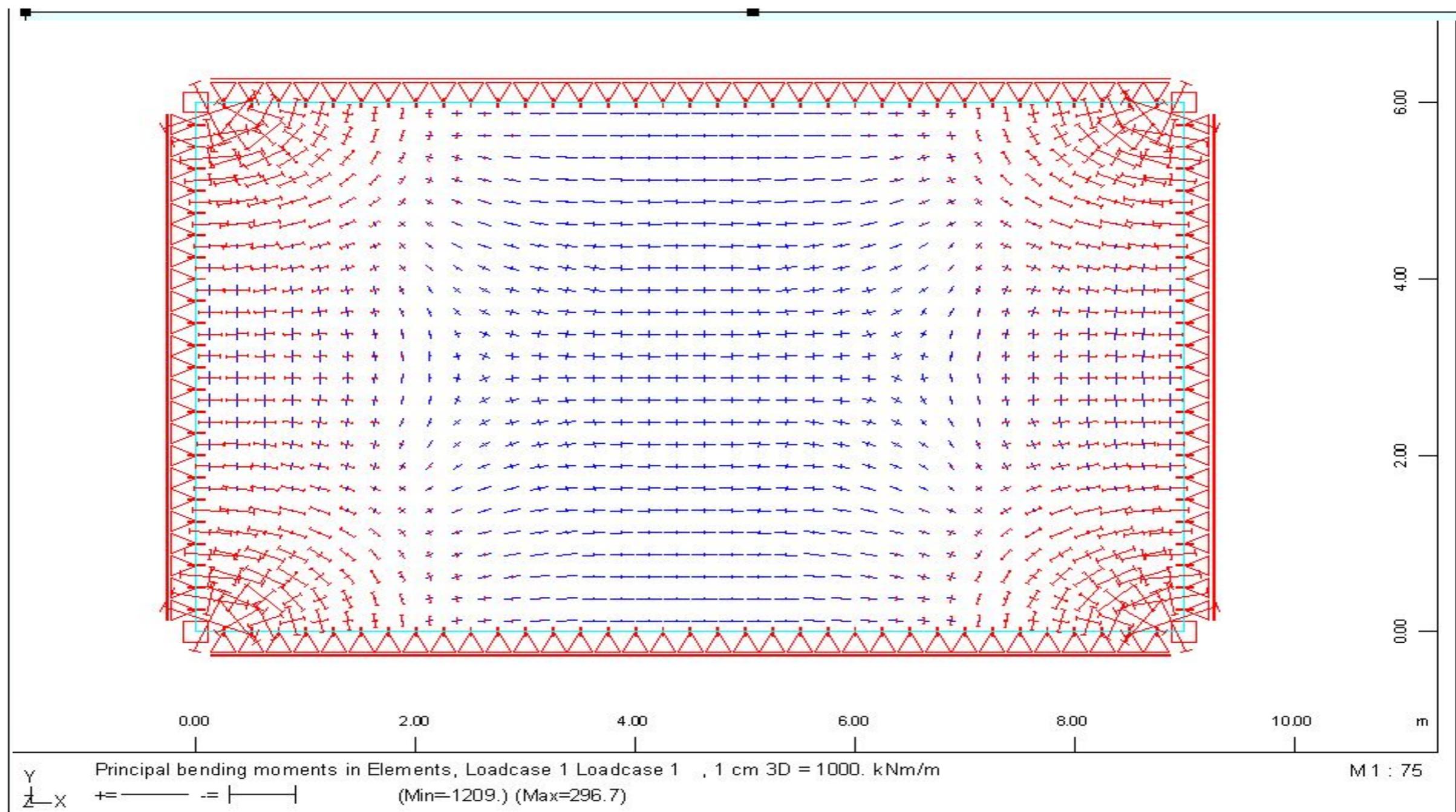
Вертикальные перемещения



Изополя моментов и перемещений



Изолинии моментов в SOFiSTiK



Результаты расчета по деформациям

	Перемещение по Z, мм		Армирование в центре пролета см ² /м		
			ЛИРА-САПР	SOFiSTiK	СП.63.13330.2012
“Гвоздев”	-50,8	Нижнее по X, см ²	28,21	28,06	28,14
ЛИРА-САПР	-52,7	Нижнее по Y, см ²	10,86	10,75	10,8
SOFiSTiK	-52,5	Верхнее по X, см ²	1,2	1,12	1,16
		Верхнее по Y, см ²	1,2	1,12	1,16

Без балочное без капитальное перекрытие в SOFiSTiK

Исходные данные

Материалы: Класс бетона В25, Арматура А400

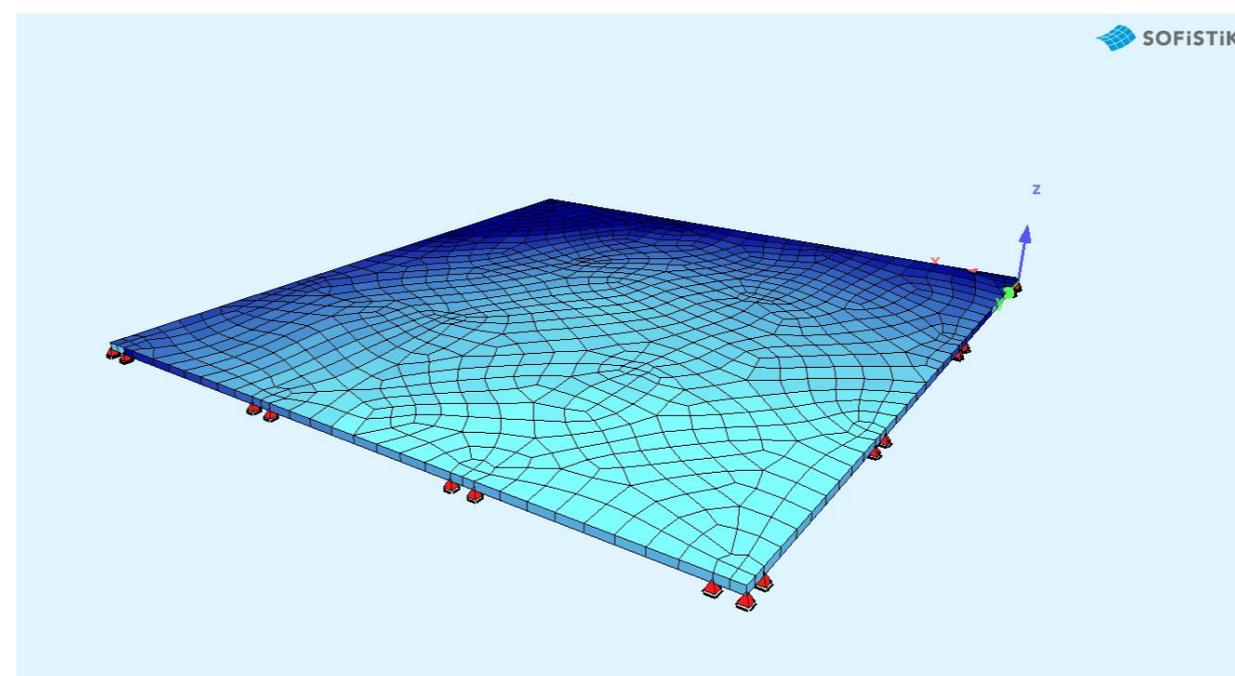
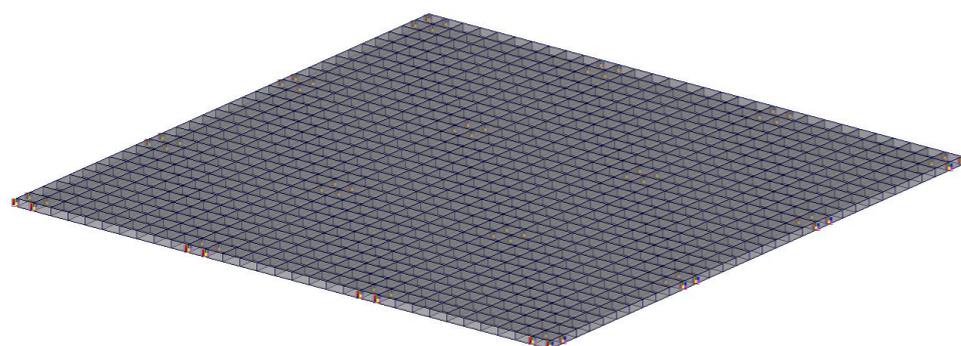
Несущая система: Размер ячейки плиты 6х6 м , толщина 20 см, соотношение сторон $l_2/l_1=1$

Граничные условия: жесткое защемление на углах плиты.

Разбиение на конечные элементы: шаг разбиения составляет 0,6 м.

Нагрузки и воздействия: принята нагрузка $15,7 \text{ кН/м}^2$.

Используемые модули SOFiSTiK: ASE, MAXIMA, URSULA



SOFISTIK Structural Desktop

File View SOFISTIK Help

Created by **BB FlashBack**
This image removed when licensed

Projects

- New Project
- Open Project

Recent File List

- D:\DATA SOFISTIK\plita 123.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\bezbalochbezkap1.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\primer45_sp_bal.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\balka_krelov 1.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\slab example 11.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\My steel5.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\My steel123.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\MySteel.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\SteelExample12.sofistik
- D:\DATA SOFISTIK\SteelExample.sofistik

Resources

- SOFISTIK Infoportal
- FAQ Frequently asked questions

Movies

- Chapter 0: Welcome
- Chapter 1: Starting a new Project
- Chapter 2: Input of Materials and Cross Sections
- Chapter 3: Graphical Input of System and Loads
- Chapter 4: Define Combinations
- Chapter 5: Linear Analysis and Superpositioning
- Chapter 6: Desing of Area and Beam Elements
- Chapter 7: Result Documentation
- Chapter 8: Help

 **SOFISTIK** www.sofistik.com

SOFISTIK Structural Desktop - [D:\DATA SOFISTIK\plita8.sofistik *] - [Animator]

File Loadcase View Selection Extras SOFISTIK Help

Created by **BB FlashBack**
This image removed when licensed

Navigation

- Project
 - System
 - System Information
 - Materials
 - 1 B 20 (SP 52-101-2003)
 - 2 A 400 (SP 52-101-2003)
 - Cross Sections
 - Interpolated sections
 - GUI for Model Creation (SOFIPLUS-(X))
 - Define Combinations
 - Linear Analysis
 - Linear Analysis
 - Superpositioning
 - Design Area Elements
 - Design parameters of area elements
 - Design ULS - area elements

ControlPanel

Animation Settings

Amplitude [-] 0.00

Amplitude Speed [%] 0

Rotation Speed [%] 0

Loadcase Loop

Off

Automatic

From [] To []

Loadcases Load Distribution Area

System

Geometry Loads Results Update

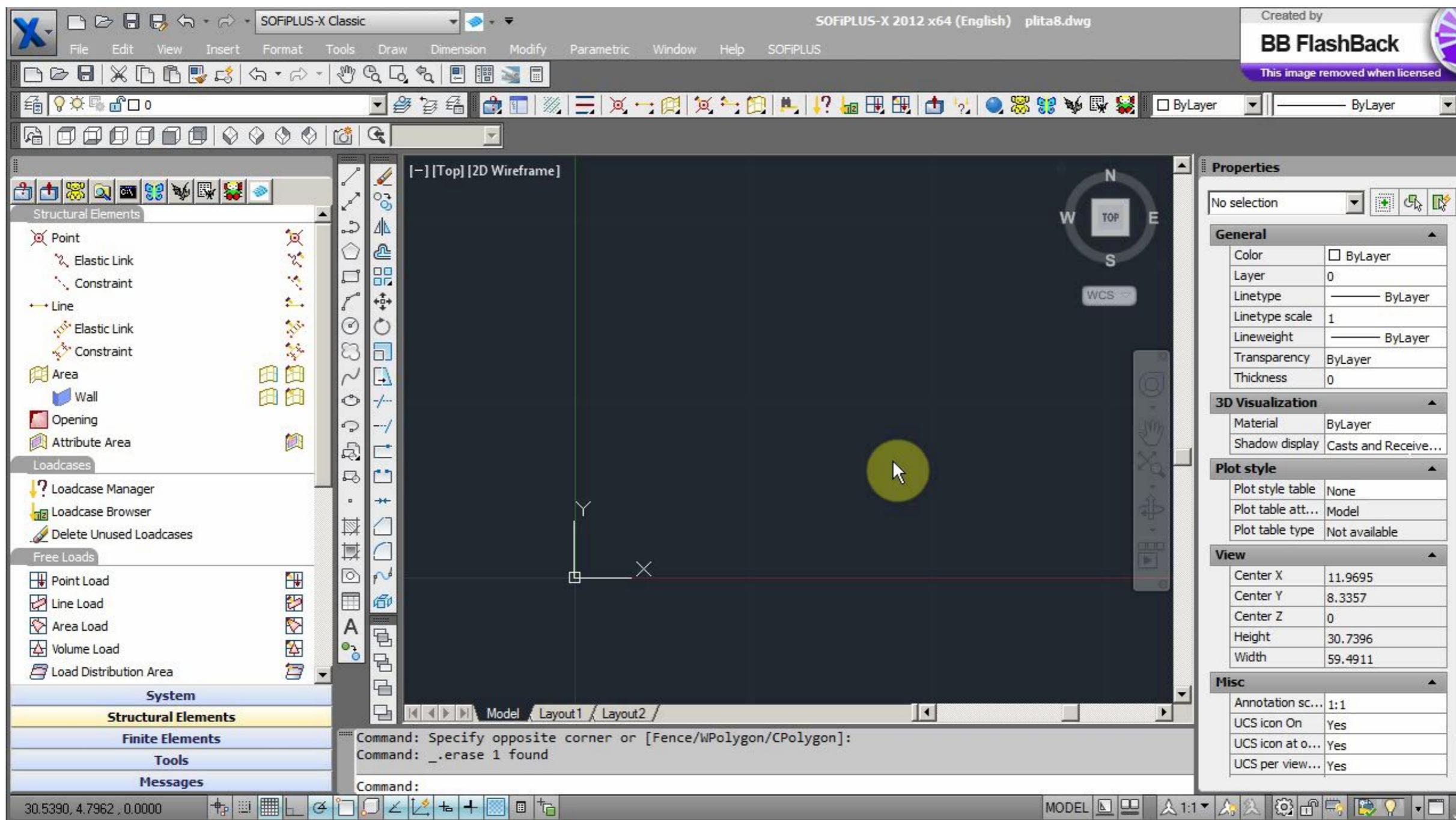
Project:	plita8
User:	Alex
Accessed:	Вт 28. май 11:13:20 2013, Alex
Code:	SNIP 52101

Documentation

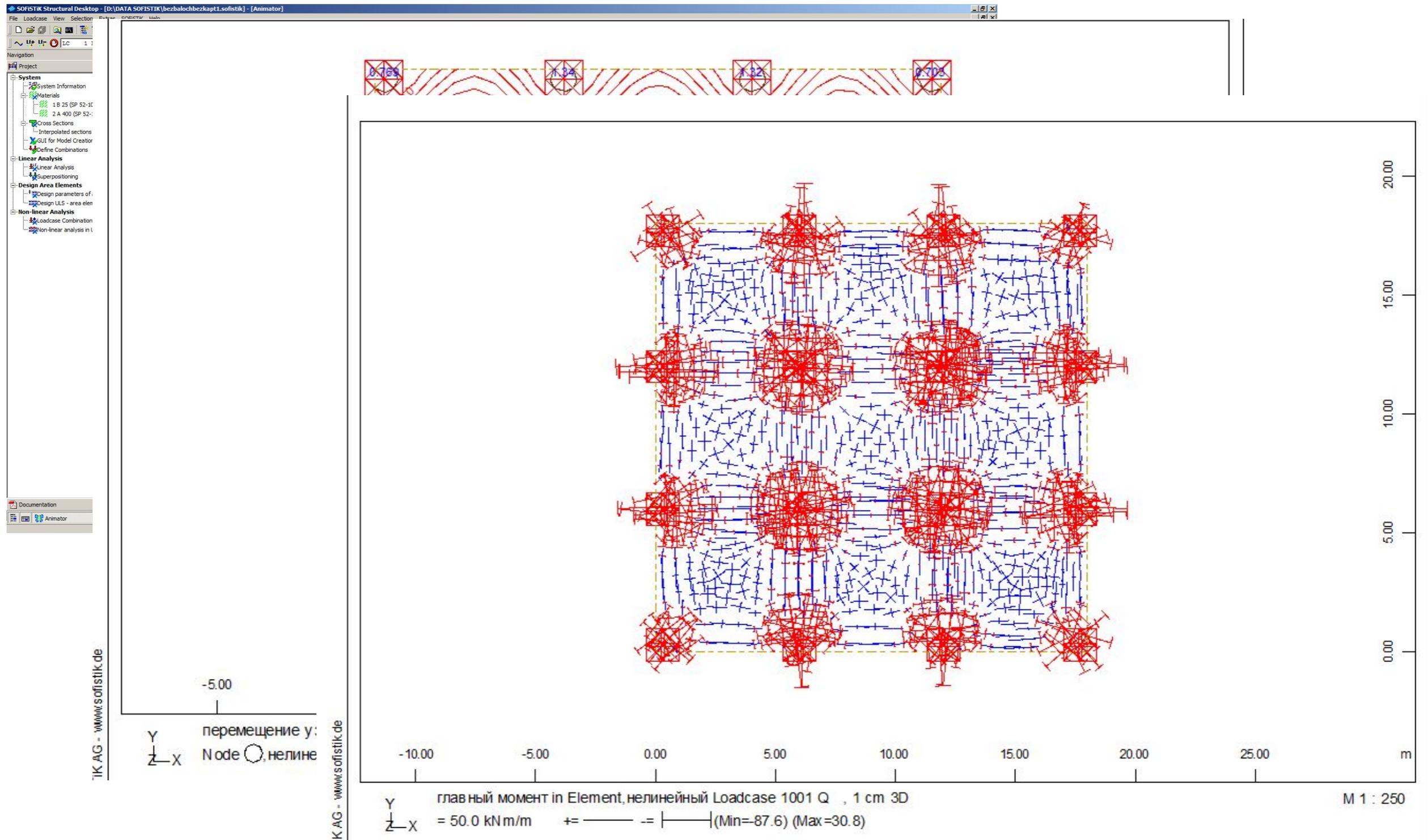
Animator

Project Nodes Beams Trusses Cables Continuous Beams Elements Solid Elements Springs Groups

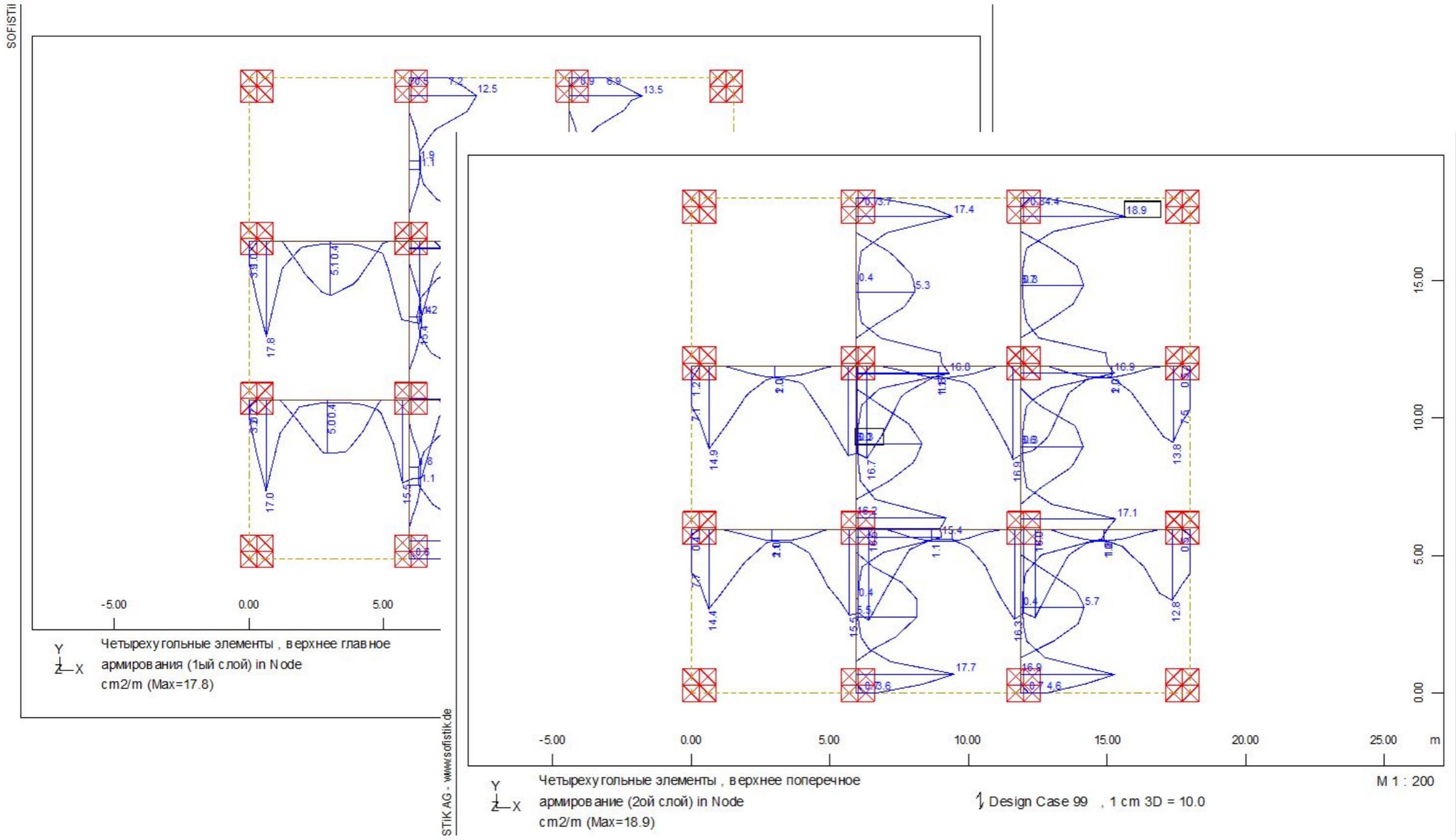
Currently no system available



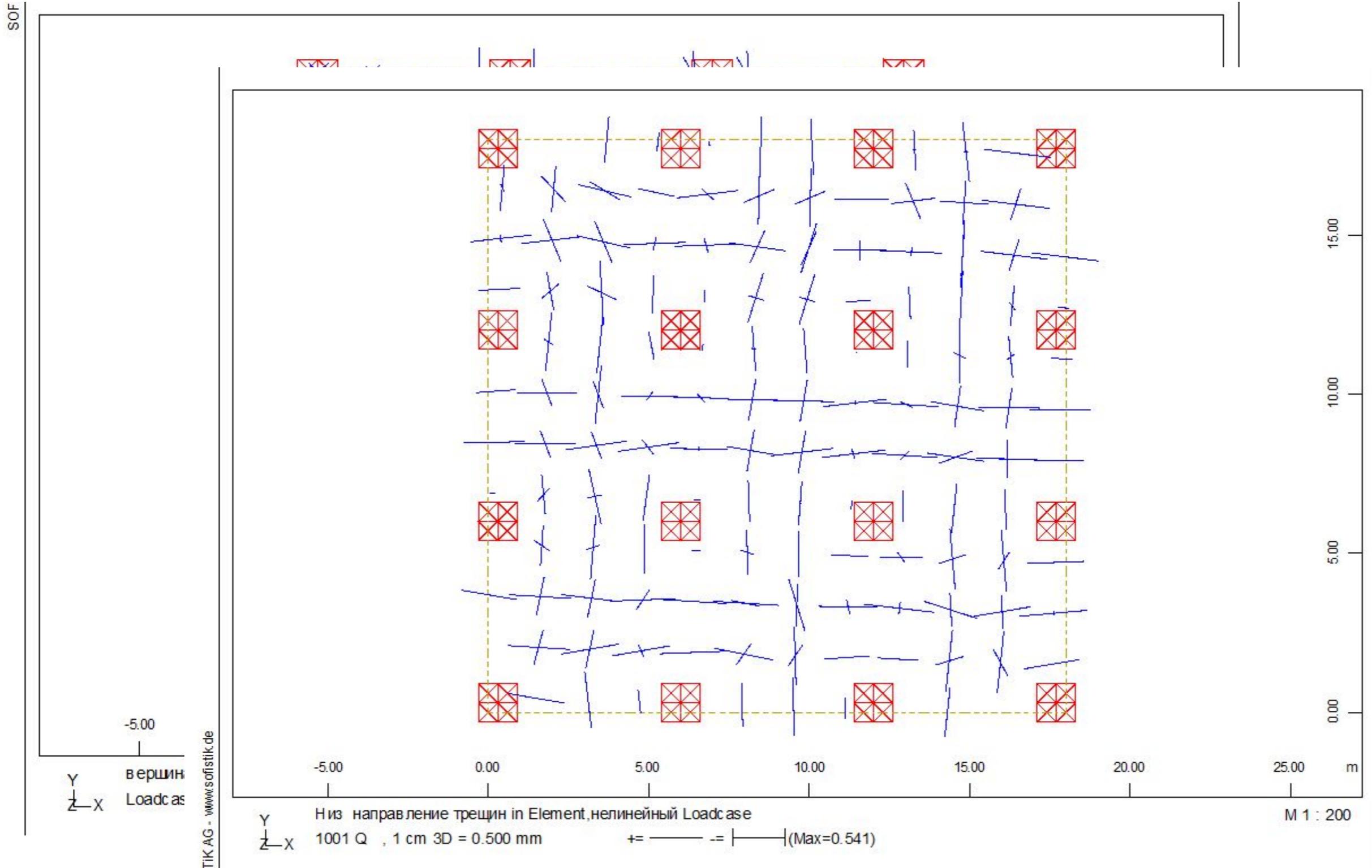
Результаты нелинейного расчета плиты и графический вывод через модуль URSULA



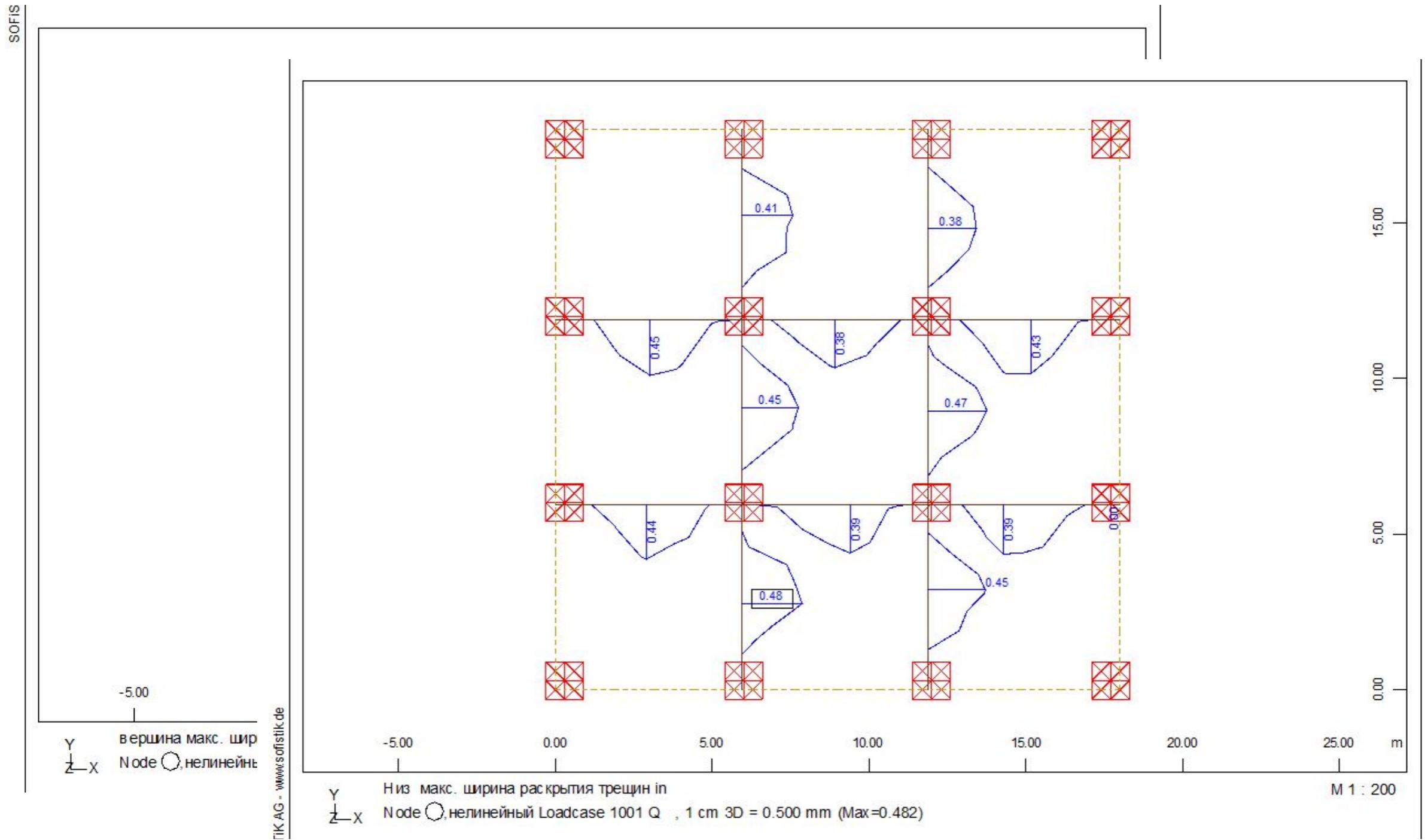
Армирование



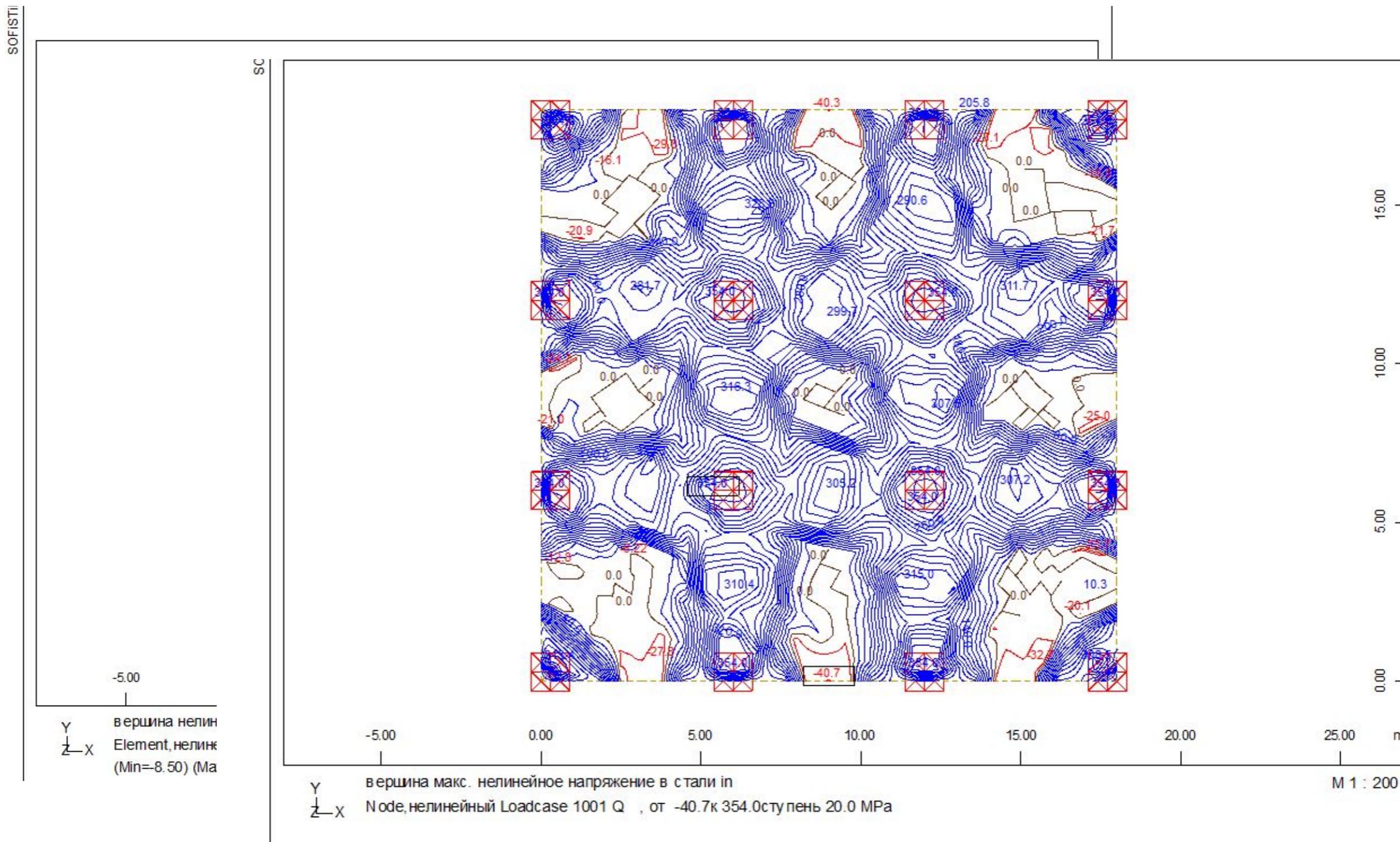
Схемы трещинообразования



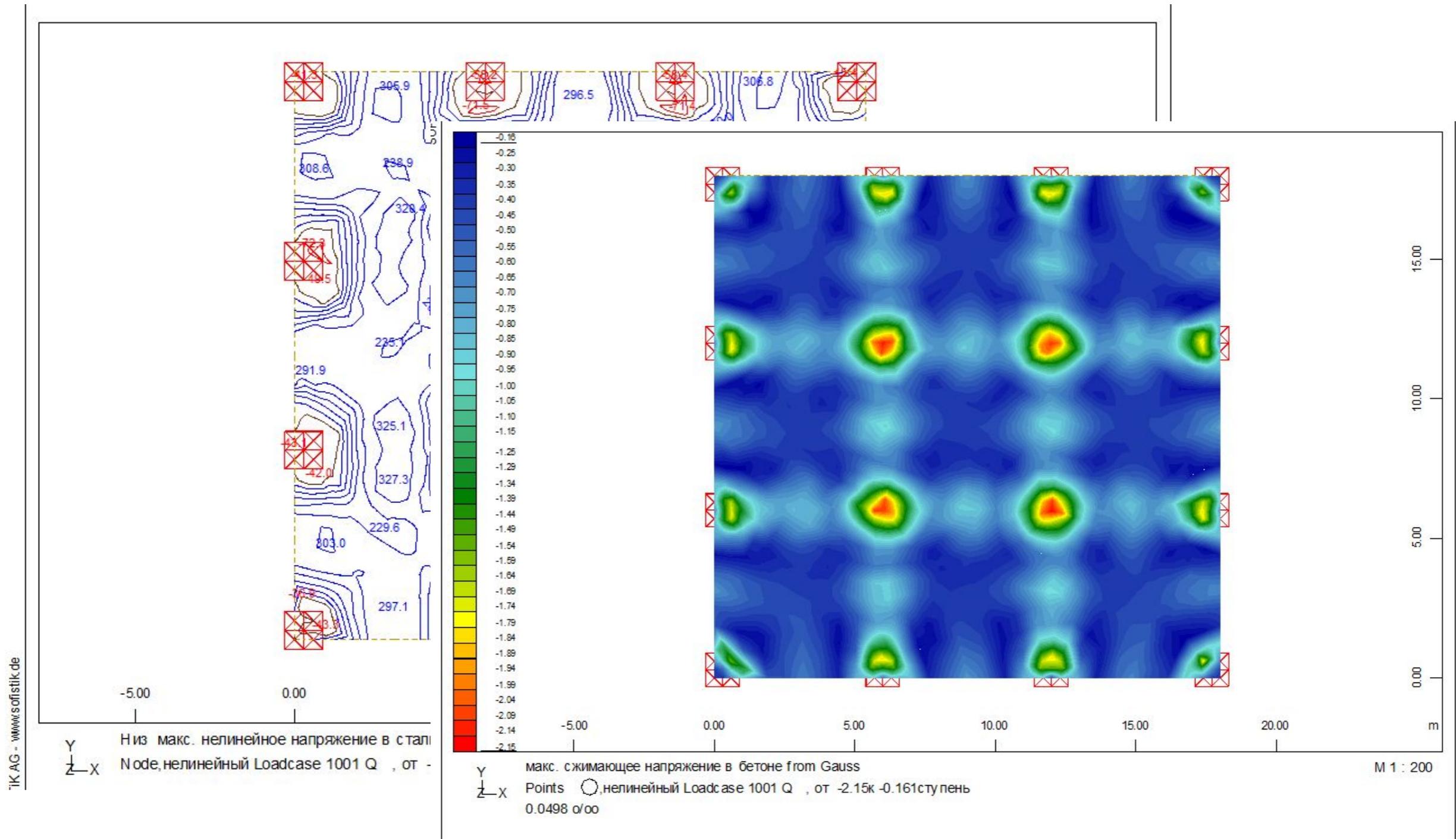
Ширина раскрытия трещин



Результаты нелинейного расчета ПЛИТЫ



Напряжения при нелинейном расчете в SOFiSTiK



Визитная карточка

Морозов Александр Александрович

Аспирант кафедры ЖБК

Расчет и проектирование строительных конструкций

E-mail: bim-fea@gmail.com

Моб.: +7-913-938-00-99

Блог <http://bim-fea.blogspot.ru/>