

Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Московский государственный строительный университет
Ассоциация московских вузов

Утверждаю
Проректор по УМР и МД

_____ Гагин В.И.
« ____ » _____ 2009 г.

ОТЧЕТ

о выполнении подраздела мероприятий по социальному
обслуживанию населения в части предоставления
образовательных услуг жителям города Москвы

Подраздел №11.5.3.5. «Современные методы исследований
механики грунтов и конструкций фундаментов повышенной
устойчивости для строительства в сложных геологических
условиях»

(Научно-образовательный материал)

Научный руководитель подраздела	Профессор каф. ПММ МГСУ	8-903-783- 70-34		Агапов В.П.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО
Заместитель научного руководителя подраздела				
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии проф. каф. ПММ Агапова В.П. в рамках подраздела 11.5.3.5. были разработаны, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-информационные и научно-образовательные материалы в области применения современных методов механики грунтов и конструкции фундаментов повышенной устойчивости для строительства в сложных геологических условиях Москвы на примере расчета напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин при динамических нагрузках.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
1. Цель подраздела и его актуальность	5
2. Решаемые задачи подраздела	6
3. Исследование динамических характеристик массива шлюза методом конечных элементов	8
4. Исследование напряженного состояния потерны до реконструкции	14
5. Исследование напряженного состояния потерны после реконструкции	52
6. Напряжения в бетоне шлюза в период реконструкции	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
Рекомендуемая литература	65

ВВЕДЕНИЕ

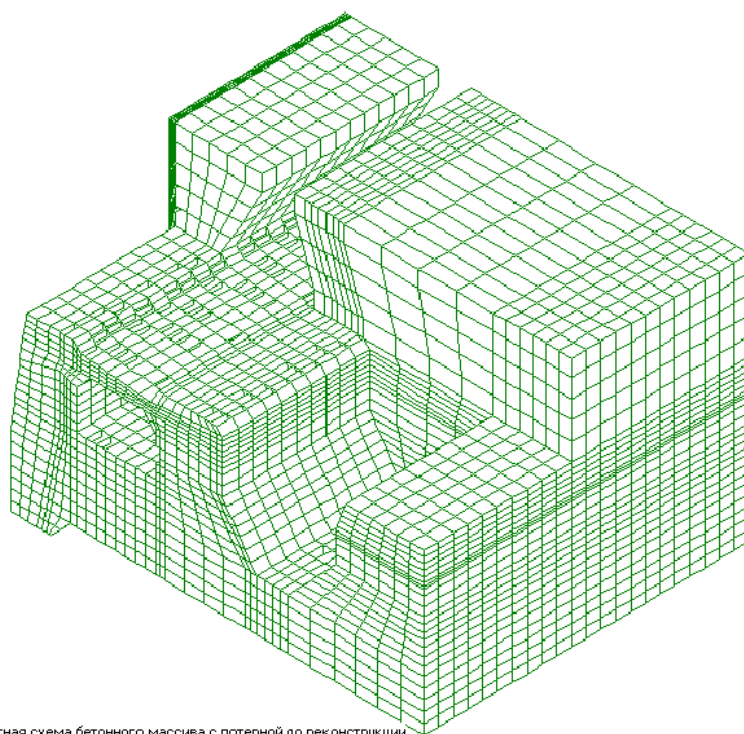
Внедрение электронных вычислительных машин в практику работы проектных и научно-исследовательских организаций в области строительства открывает широкие возможности для расчета конструкций и сооружений с учетом реальных условий их эксплуатации. В частности, становится возможным расчет конструкций на прочность, устойчивость и колебания с учетом их взаимодействия с основанием с использованием пространственных расчетных схем. Для реализации этих возможностей необходима разработка методов, алгоритмов и программ расчета на ЭВМ. Одним из самых распространенных методов расчета в настоящее время является метод конечных элементов. На основе этого метода автором составлена программа ПРИНС. Программа содержит универсальную библиотеку конечных элементов, позволяющую рассчитывать стержневые конструкции, пластинки, оболочки, массивные объекты, а также комбинированные системы. Использование этой программы для расчета строительных сооружений с учетом их взаимодействия с грунтами позволяет существенно развить и усовершенствовать методики, рекомендуемые строительными нормами и правилами по основаниям зданий и сооружений.

1.ЦЕЛЬ ПОДРАЗДЕЛА И ЕГО АКТУАЛЬНОСТЬ

Целью подраздела является разработка методики и исследование напряженного состояния бетонного массива шлюза с учетом взаимодействия фундамента с грунтом. Расчеты проводились методом конечных элементов по программе ПРИНС (сертификат соответствия ГОСТ Р RU.9011.1.3.0016 Госстроя РФ). Для исследования общего напряженного состояния использовалась пространственная расчетная схема. Основание моделировалось дискретными упругими связями. Для исследования местных напряжений применялась плоская схема на сплошном упругом основании. Особое внимание уделялось напряженному состоянию в области потерны. Показана возможность реконструкции существующих объектов и уточнения параметров их напряженно-деформированного состояния при выполнении ремонтных и регламентных работ, что особенно важно ввиду имевших место аварий на сложных инженерных сооружениях.

2. РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ ПОДРАЗДЕЛА

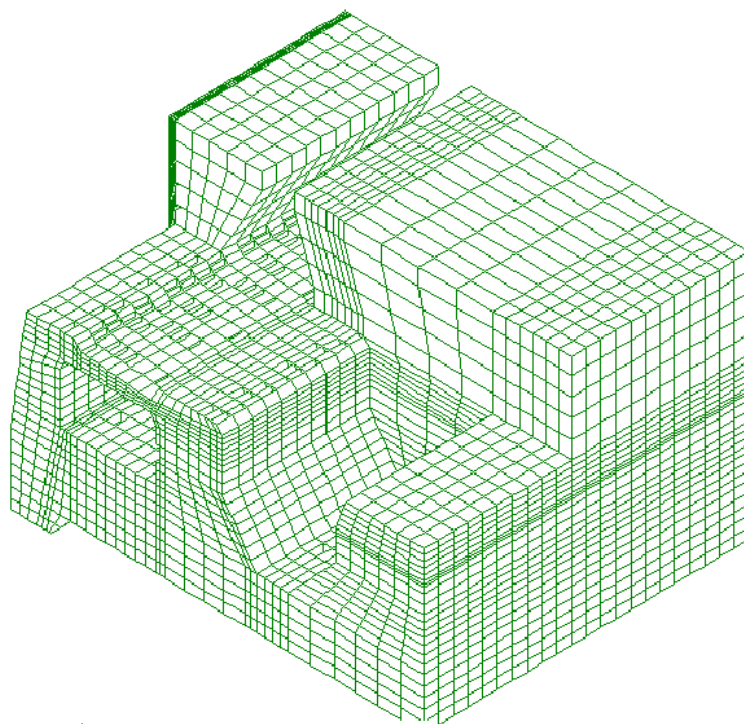
Проведено исследование напряженно-деформированного состояния бетонного массива шлюза с потерной до реконструкции и после. Расчетная схема до реконструкции приведена на рис.1, а после реконструкции – на рис.2. Для моделирования конструкции использовались шестигранные объемные конечные элементы первого порядка. Схема рис.1 содержит 17701, а схема рис.2 – 18529 узлов. Густота сетки конечных элементов определялась, исходя, с одной стороны, из соображений эффективности расчетов на ЭВМ, и из необходимости получения достоверного решения, с другой. Для оценки достоверности получаемых результатов использовались данные натурных наблюдений и эксперименты на фотоупругих моделях. Сопоставительный анализ результатов натурных вибрационных испытаний с динамическими характеристиками, полученными расчетным путем с помощью разработанной расчетной модели, приведен в разделе 3 настоящего отчета.



Расчетная схема бетонного массива с потерней до реконструкции

ВК.ПРИНС

Рис.1



Расчетная схема бетонного массива с потерней после реконструкции

ВК.ПРИНС

Рис.2

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАССИВА ШЛЮЗА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Расчетом по программе ПРИНС были найдены 30 низших частот и соответствующих им форм собственных колебаний. Результаты расчета для десяти первых тонов приведены на рис.3 – 13.

Отметим, что полученные при натурных испытаниях спектральные плотности колебаний имели пики на частотах 1.6 Гц для горизонтальных колебаний и 2.9 Гц для вертикальных. Среди найденных по программе ПРИНС частот собственных колебаний находим частоту 1.75 Гц, связанную с изгибом массива шлюза вдоль его оси, и, следовательно, с горизонтальными перемещениями стен и потолка потерны, и частоту 2.85 Гц, связанную с вертикальными перемещениями потолка. Таким образом, найденные расчетным путем частоты и формы собственных колебаний соответствуют результатам натурных испытаний, что свидетельствует об адекватности разработанной расчетной схемы метода конечных элементов реальной конструкции.

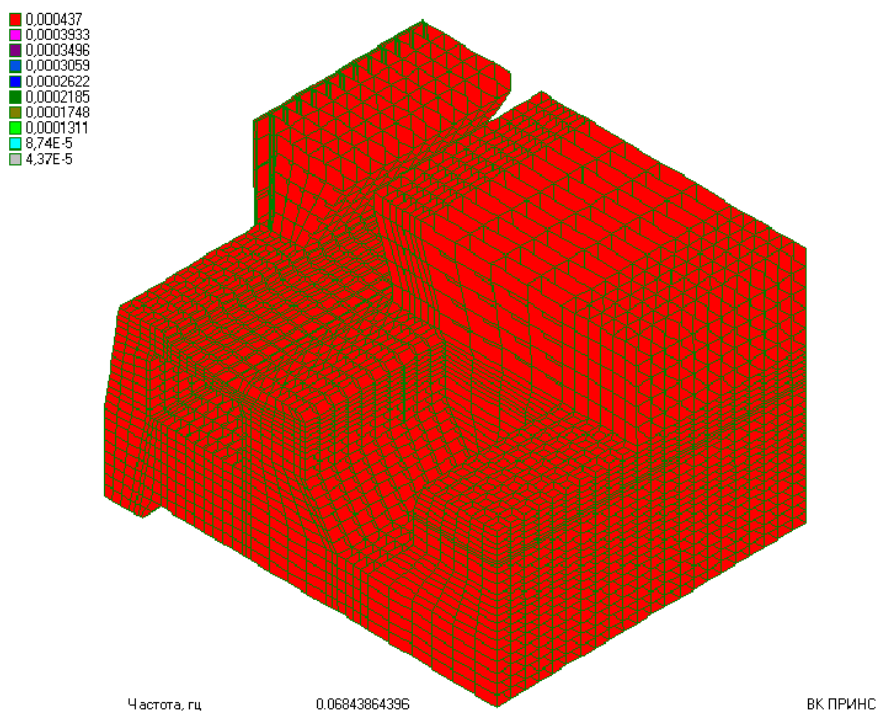


Рис.3

- 0,000627
- 0,0005643
- 0,0005016
- 0,0004389
- 0,0003762
- 0,0003135
- 0,0002508
- 0,0001881
- 0,0001254
- 6,27E-5

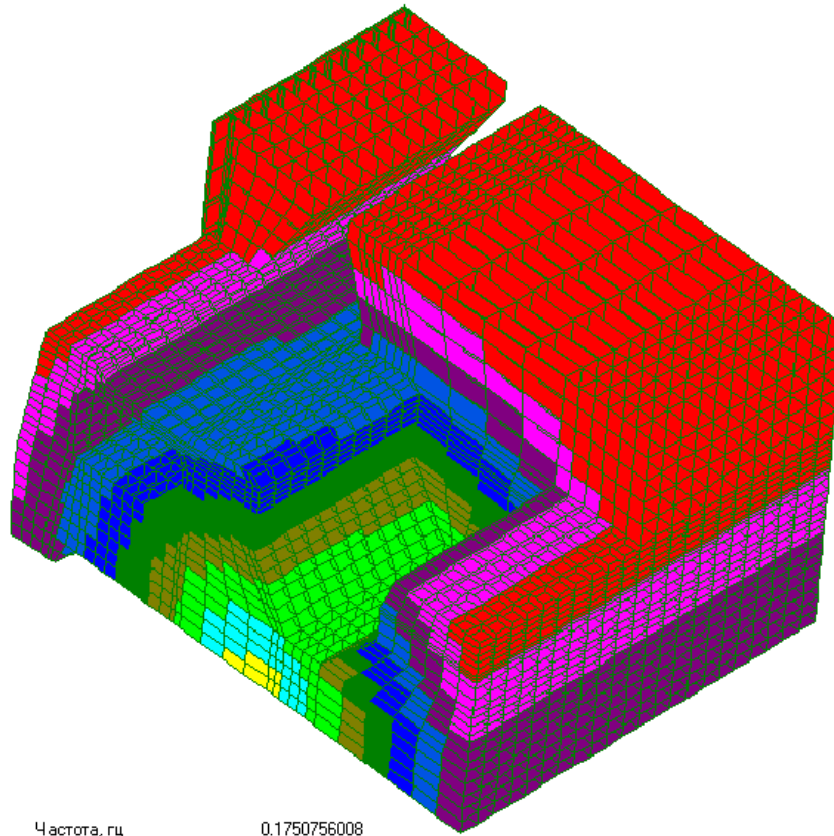


Рис.4

- 0,00249
- 0,002241
- 0,001992
- 0,001743
- 0,001494
- 0,001245
- 0,000996
- 0,000747
- 0,000498
- 0,000249

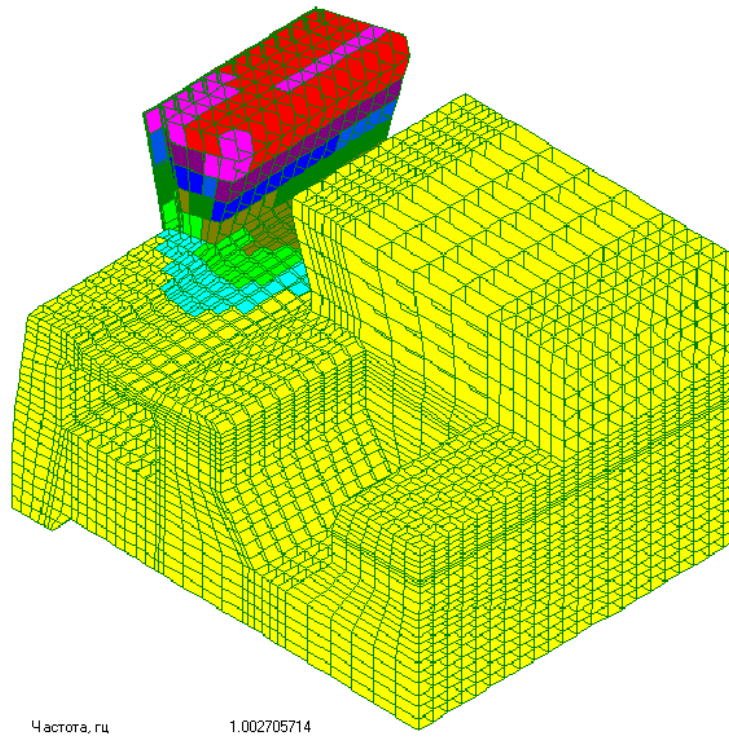


Рис.5

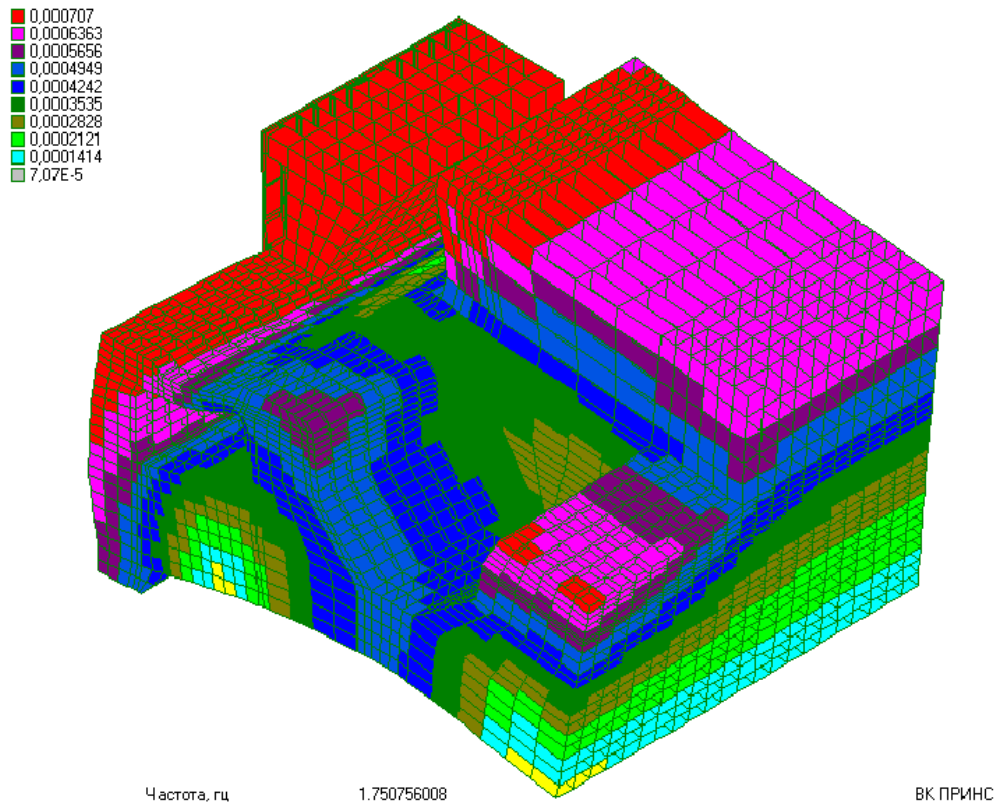


Рис.6

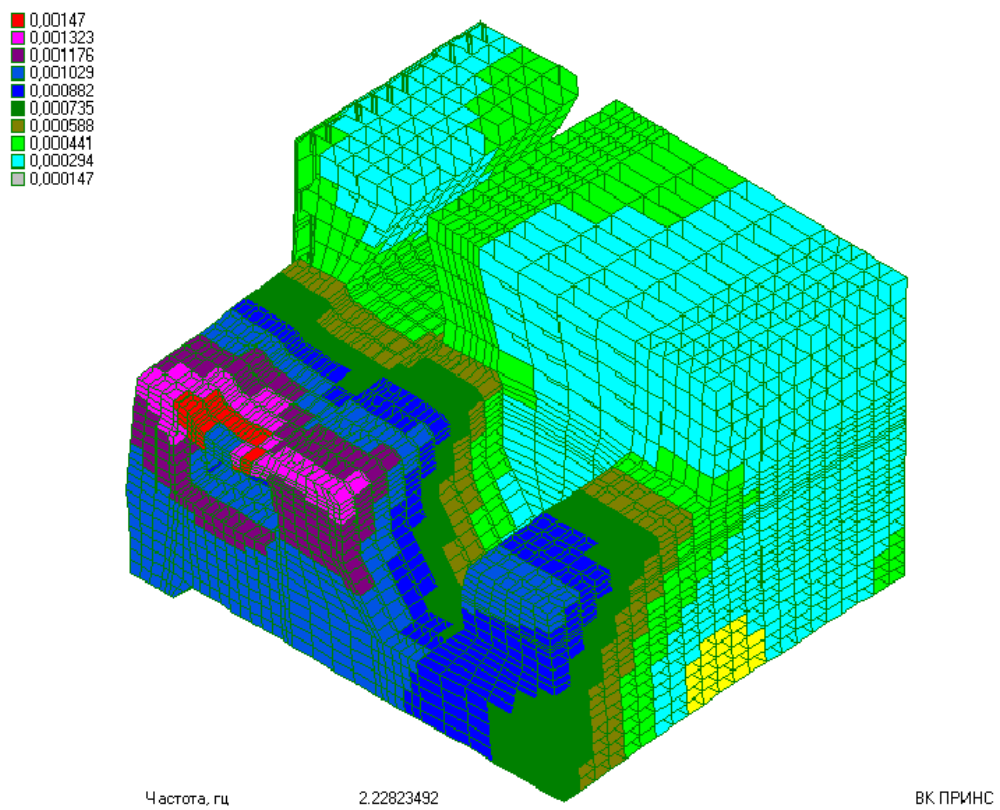
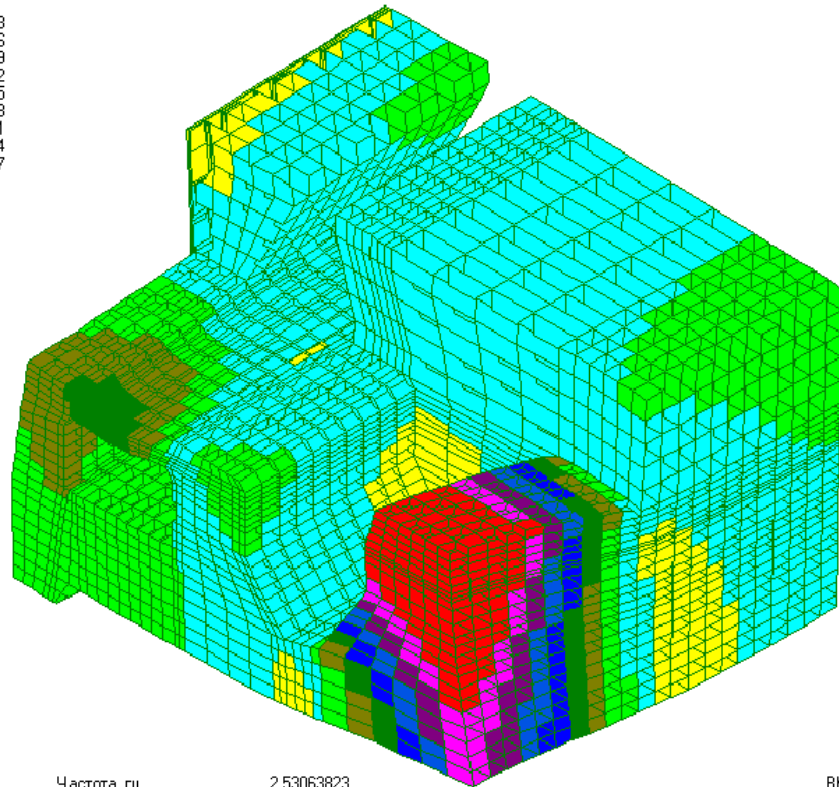


Рис.7

0,00187
 0,001683
 0,001496
 0,001309
 0,001122
 0,000935
 0,000748
 0,000561
 0,000374
 0,000187



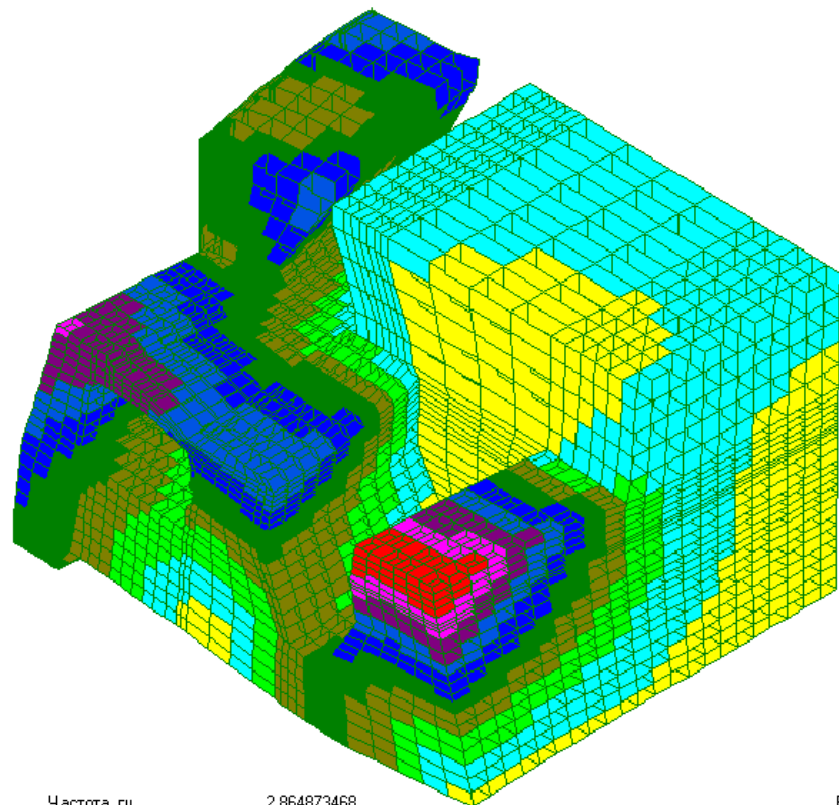
Частота, гц

2.53063823

VK ПРИНС

Рис.8

0,00178
 0,001602
 0,001424
 0,001246
 0,001068
 0,00089
 0,000712
 0,000534
 0,000356
 0,000178



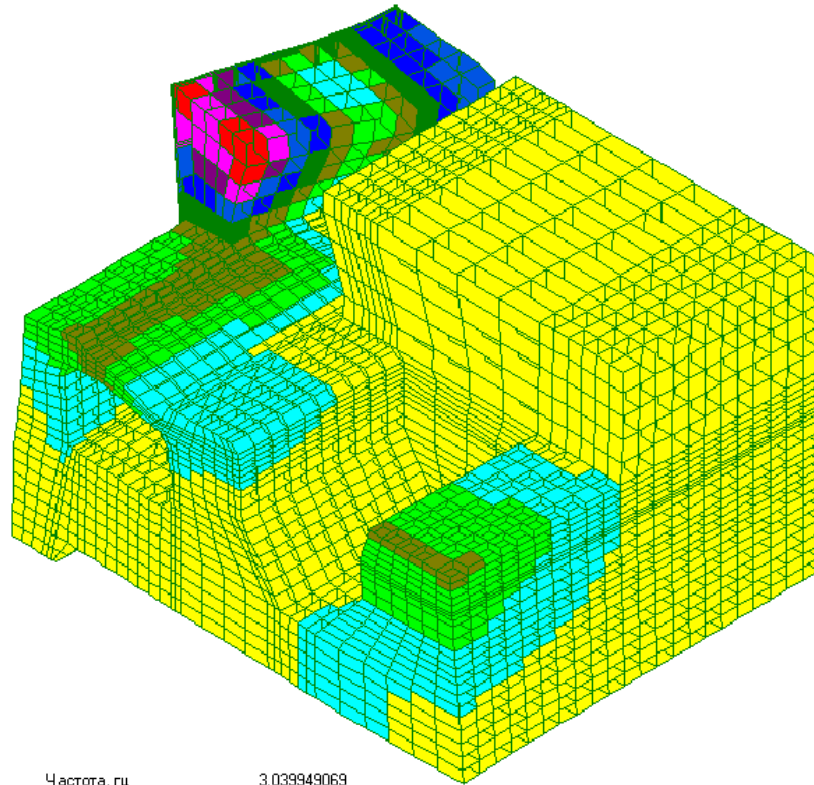
Частота, гц

2.864873468

VK ПРИНС

Рис.9

0,00344
 0,003096
 0,002752
 0,002408
 0,002064
 0,00172
 0,001376
 0,001032
 0,000688
 0,000344



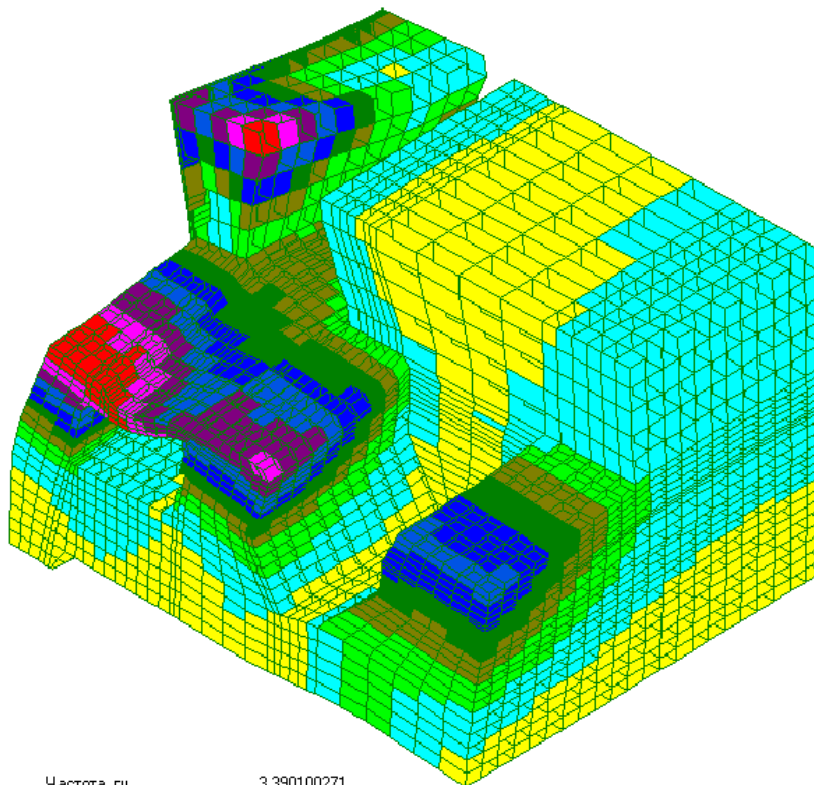
Частота, гц

3.039949069

ВК ПРИНС

Рис.10

0,00213
 0,001917
 0,001704
 0,001491
 0,001278
 0,001065
 0,000852
 0,000639
 0,000426
 0,000213



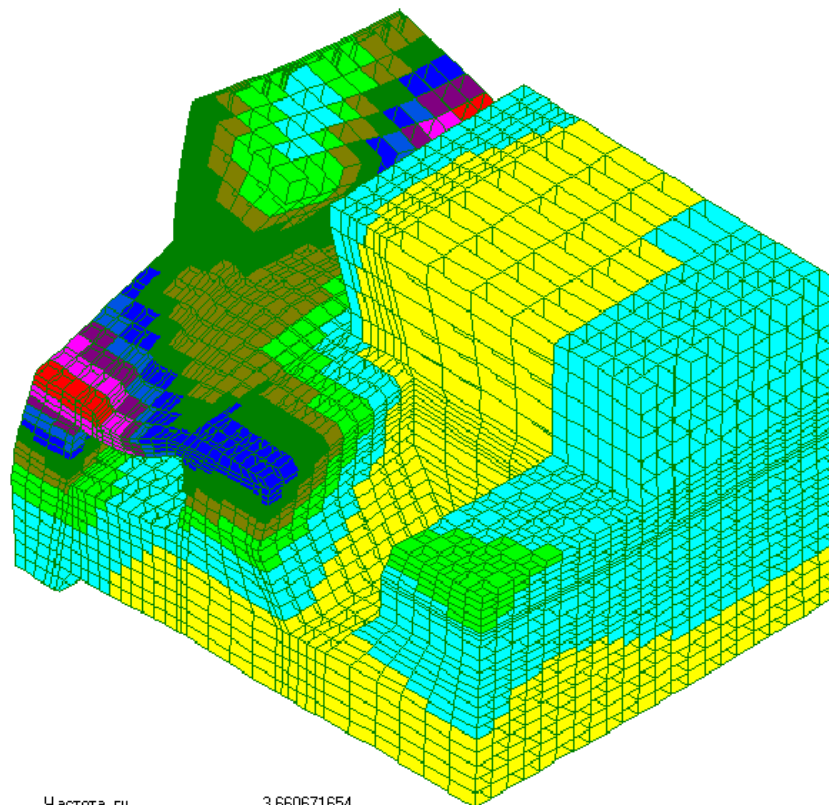
Частота, гц

3.390100271

ВК ПРИНС

Рис.11

0.00226
 0.002034
 0.001808
 0.001582
 0.001356
 0.00113
 0.000904
 0.000678
 0.000452
 0.000226



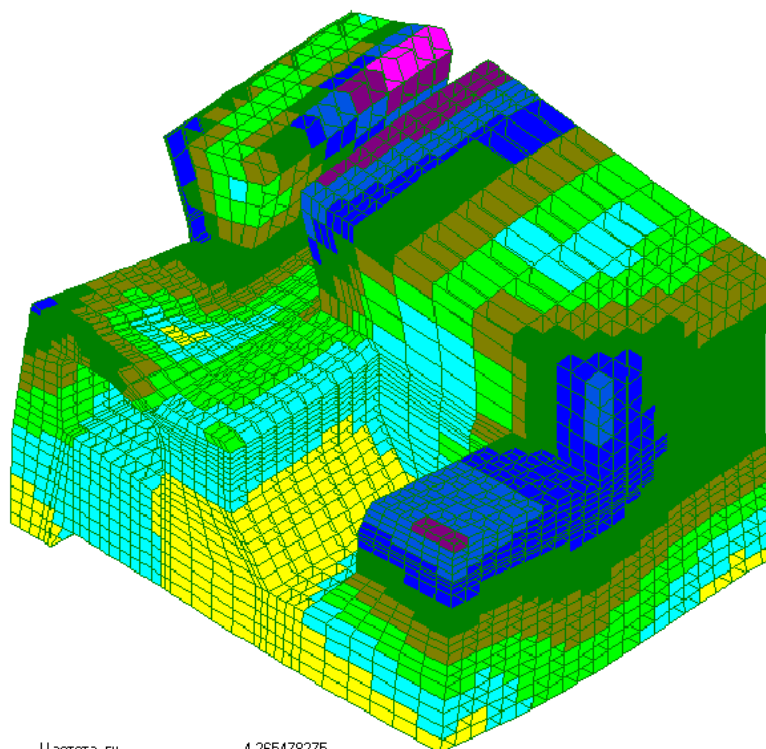
Частота, гц

3.660671654

ВК ПРИНС

Рис.12

0.00133
 0.001197
 0.001064
 0.000931
 0.000798
 0.000665
 0.000532
 0.000399
 0.000266
 0.000133



Частота, гц

4.265478275

ВК ПРИНС

Рис.13

4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕРНЫ ДО РЕКОНСТРУКЦИИ

Расчеты тела шлюза на статическую нагрузку проводились для трех вариантов нагружения.

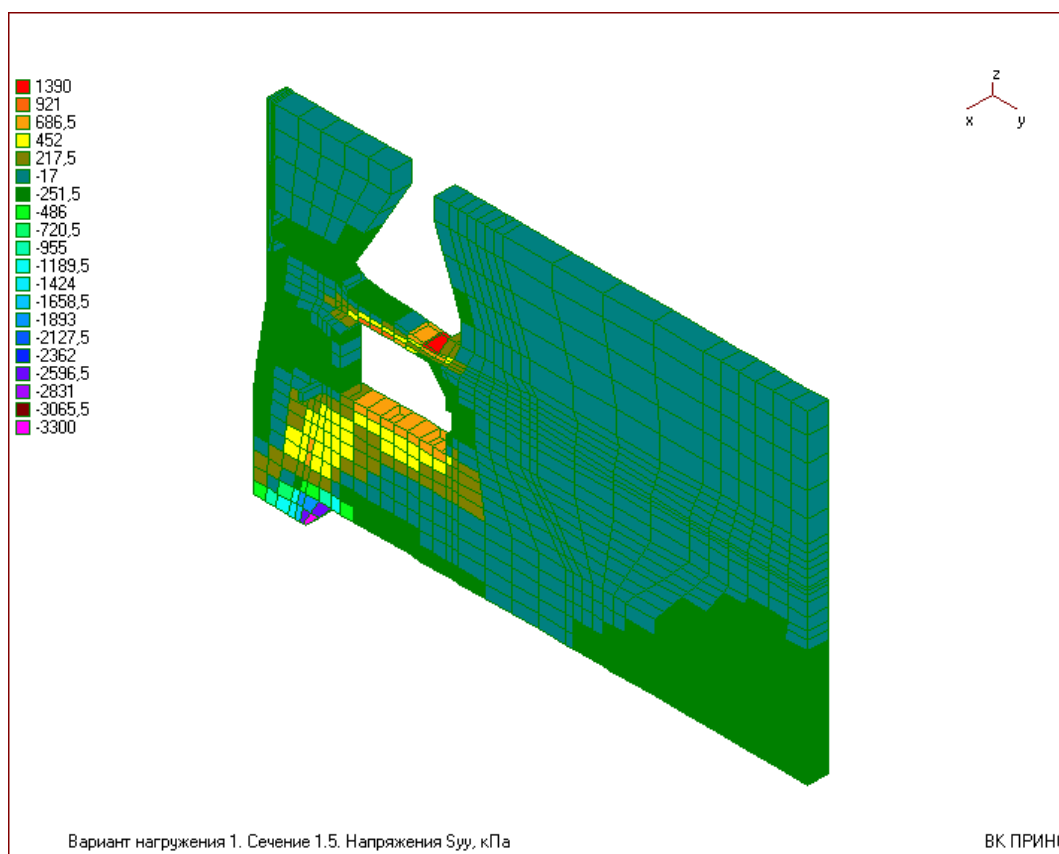
Вариант 1. Сегментный затвор находится в крайнем левом положении.

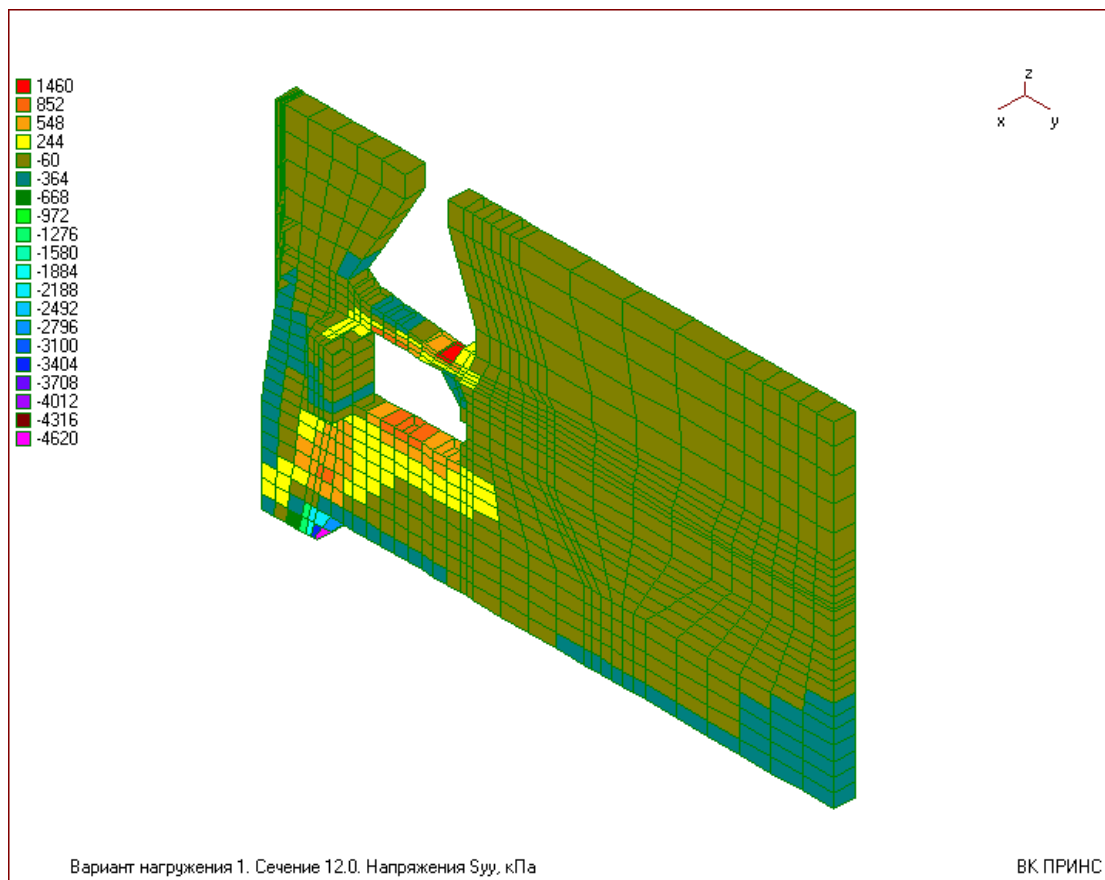
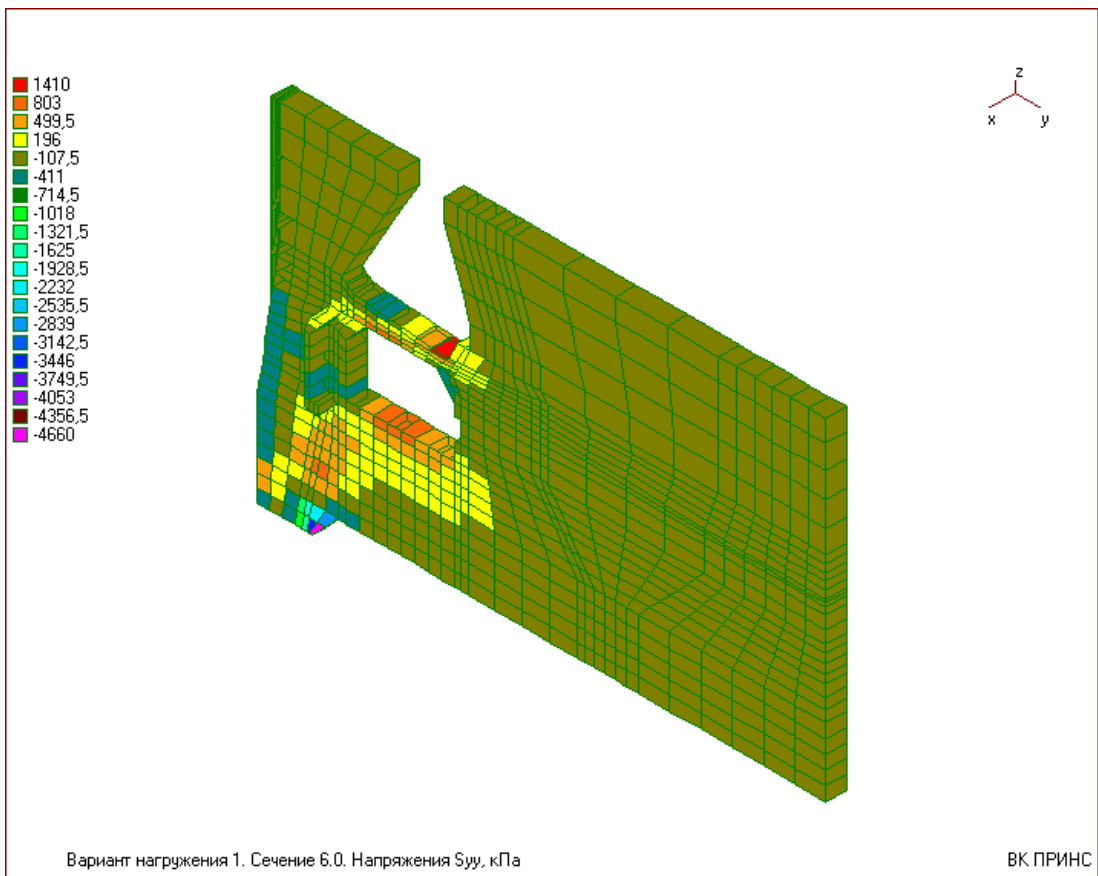
Вариант 2. Сегментный затвор находится в среднем положении.

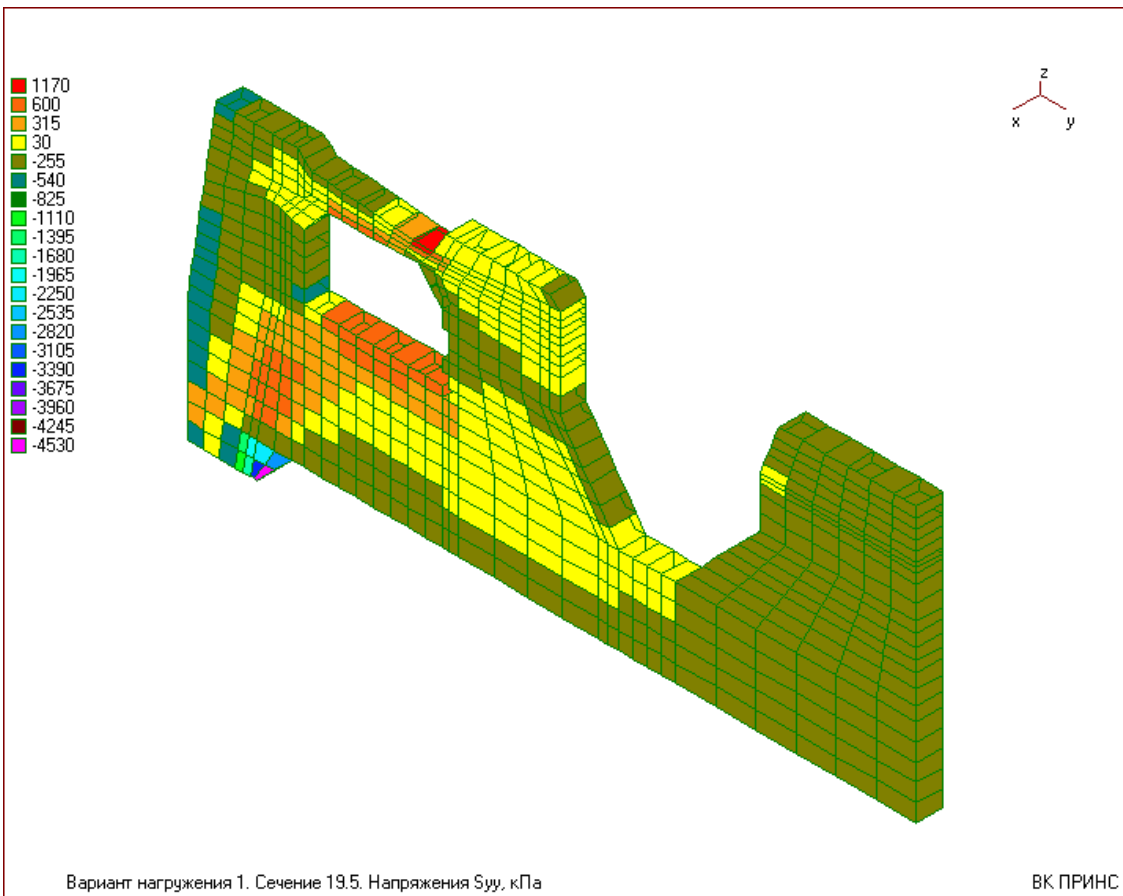
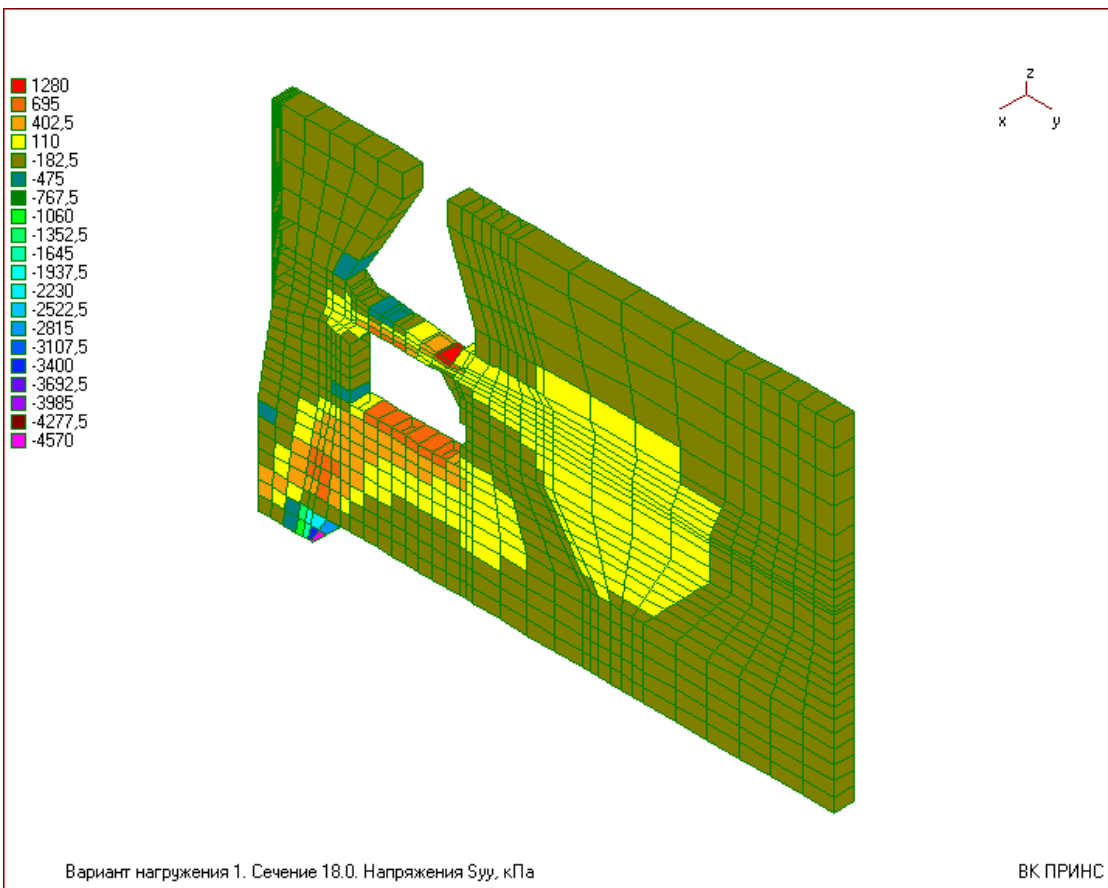
Вариант 3. Сегментный затвор опущен.

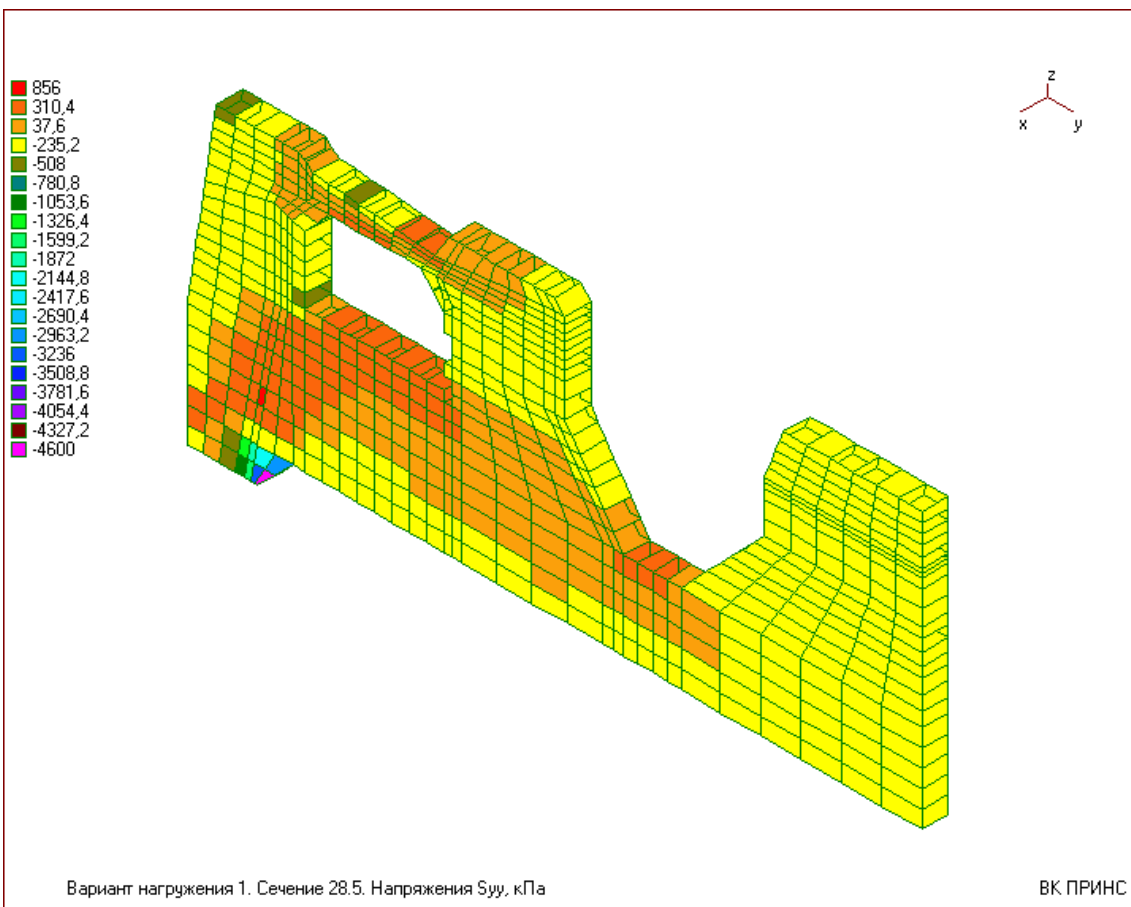
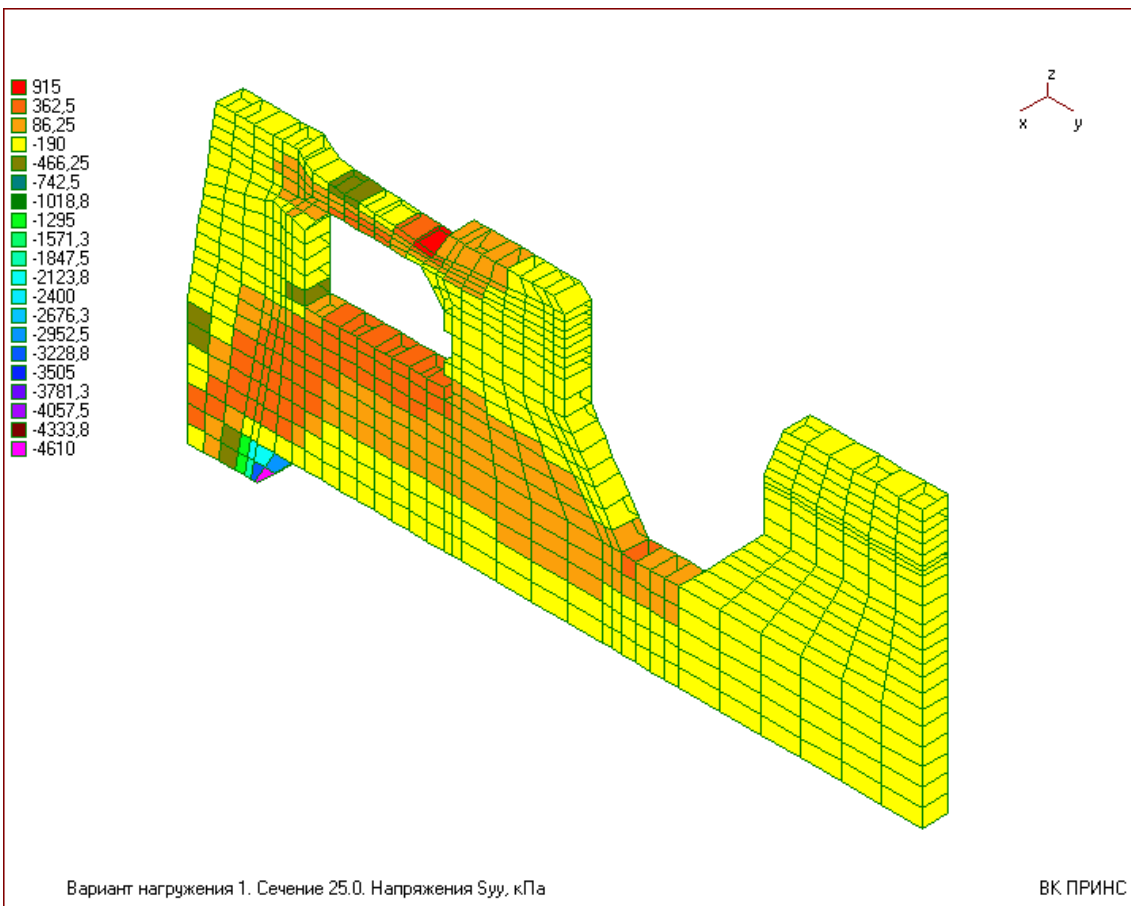
Каждый из этих трех вариантов характеризуется определенным давлением со стороны грунта.

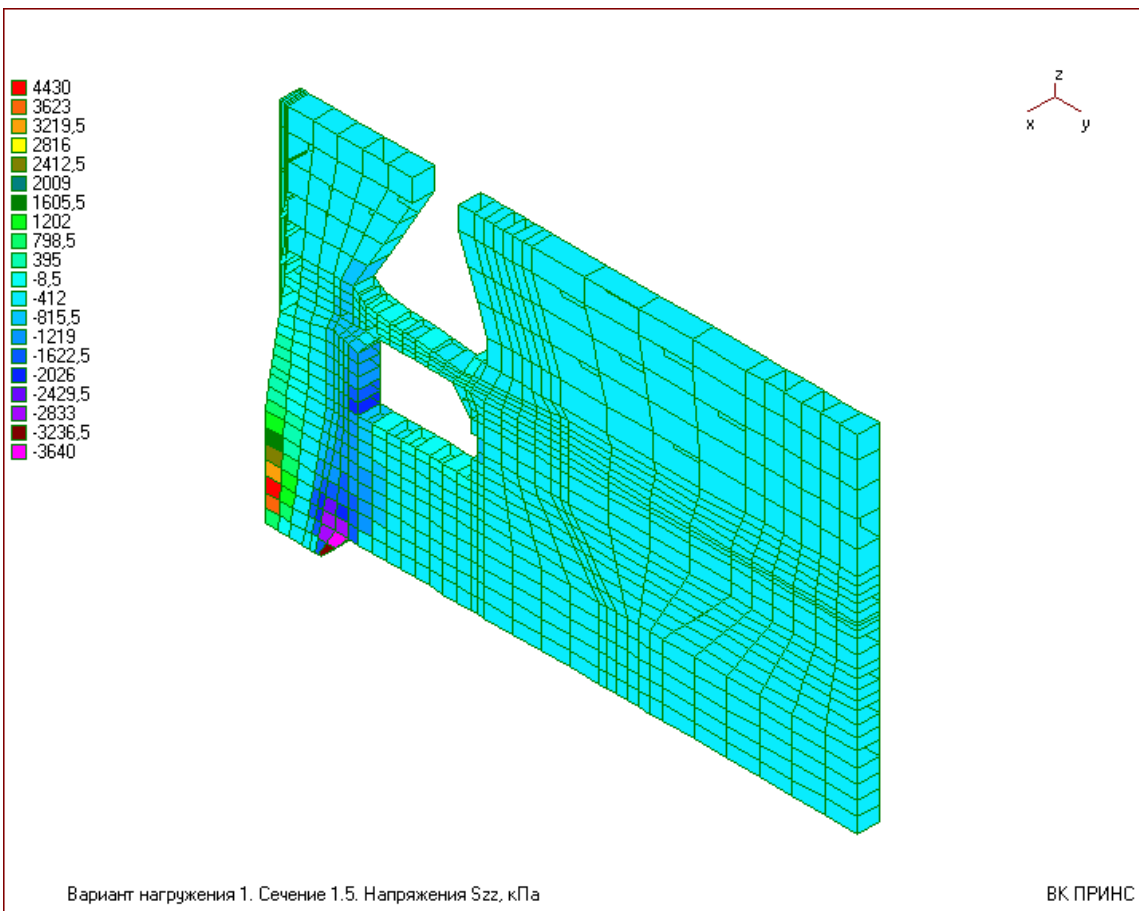
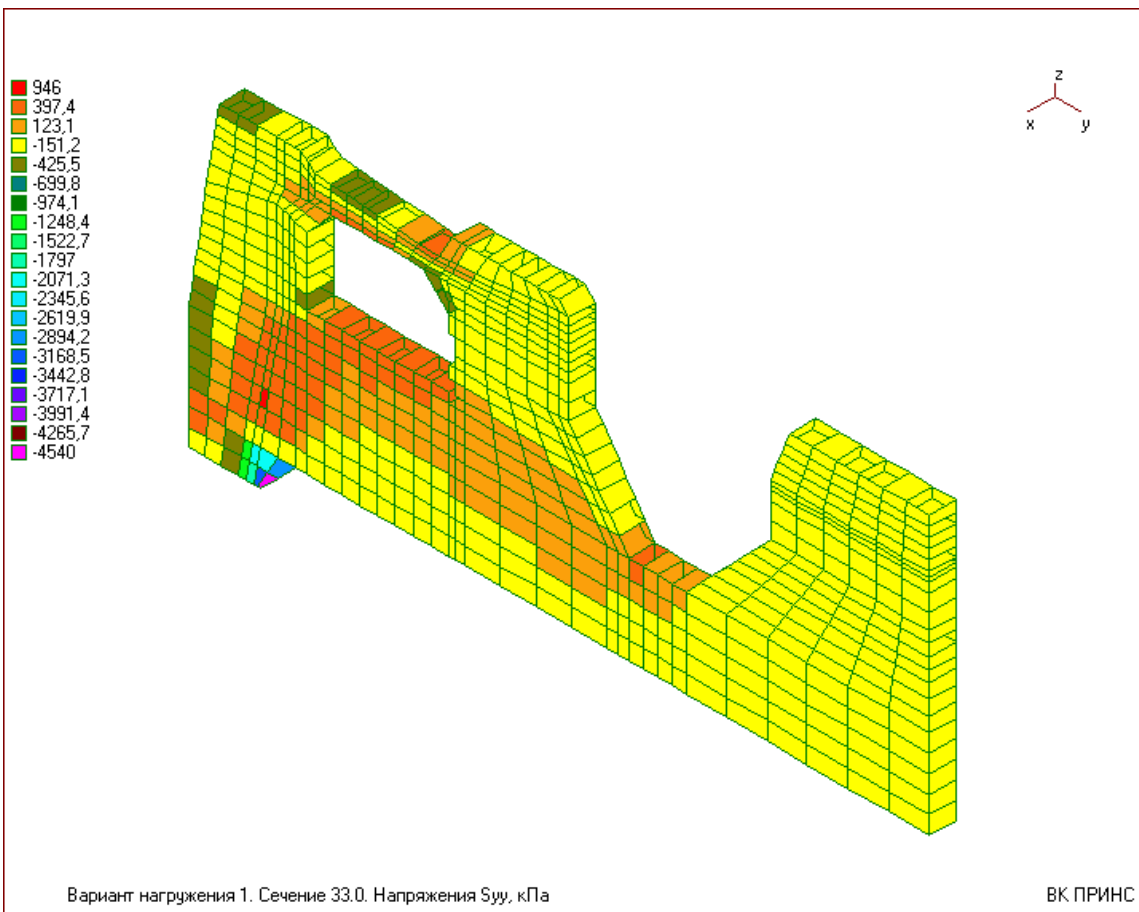
Вариант нагружения 1. Результаты расчета по программе ПРИНС.

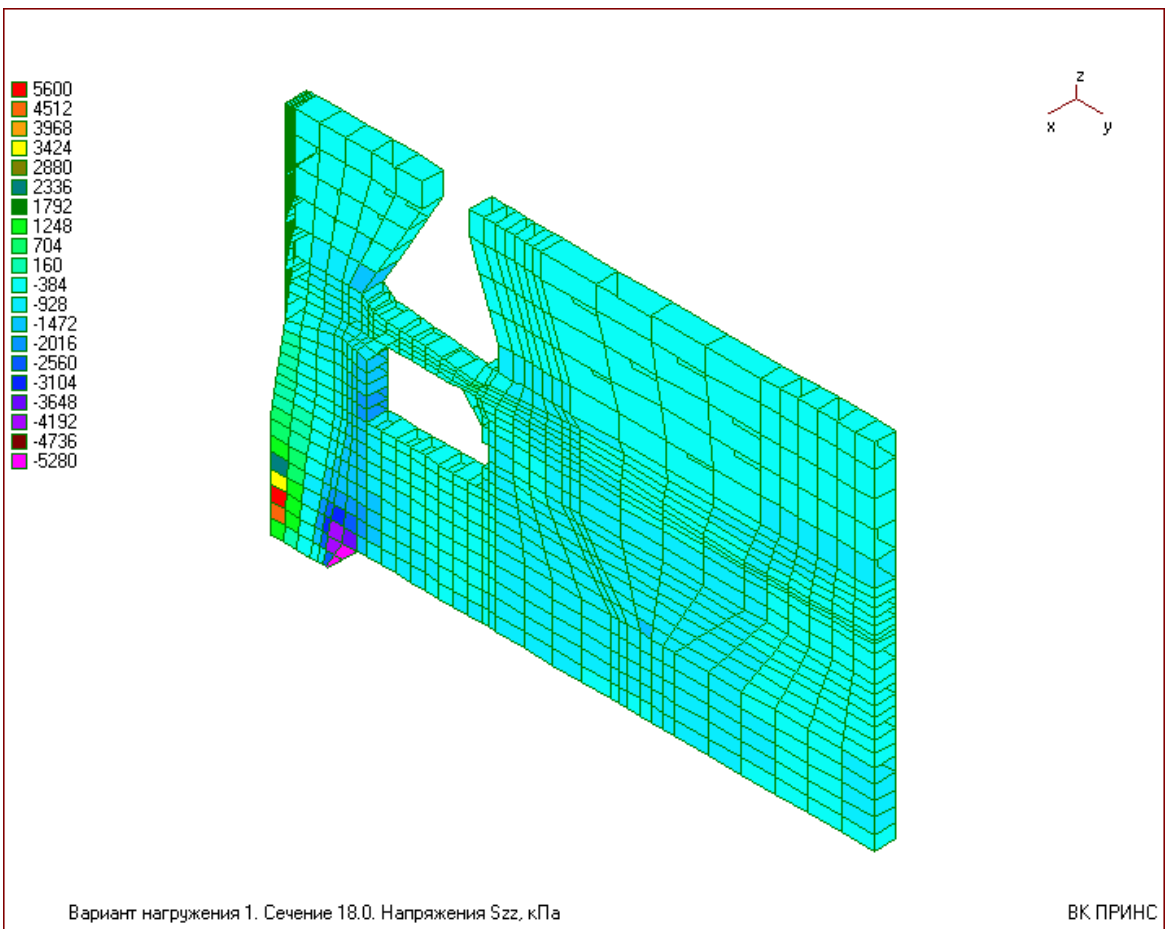
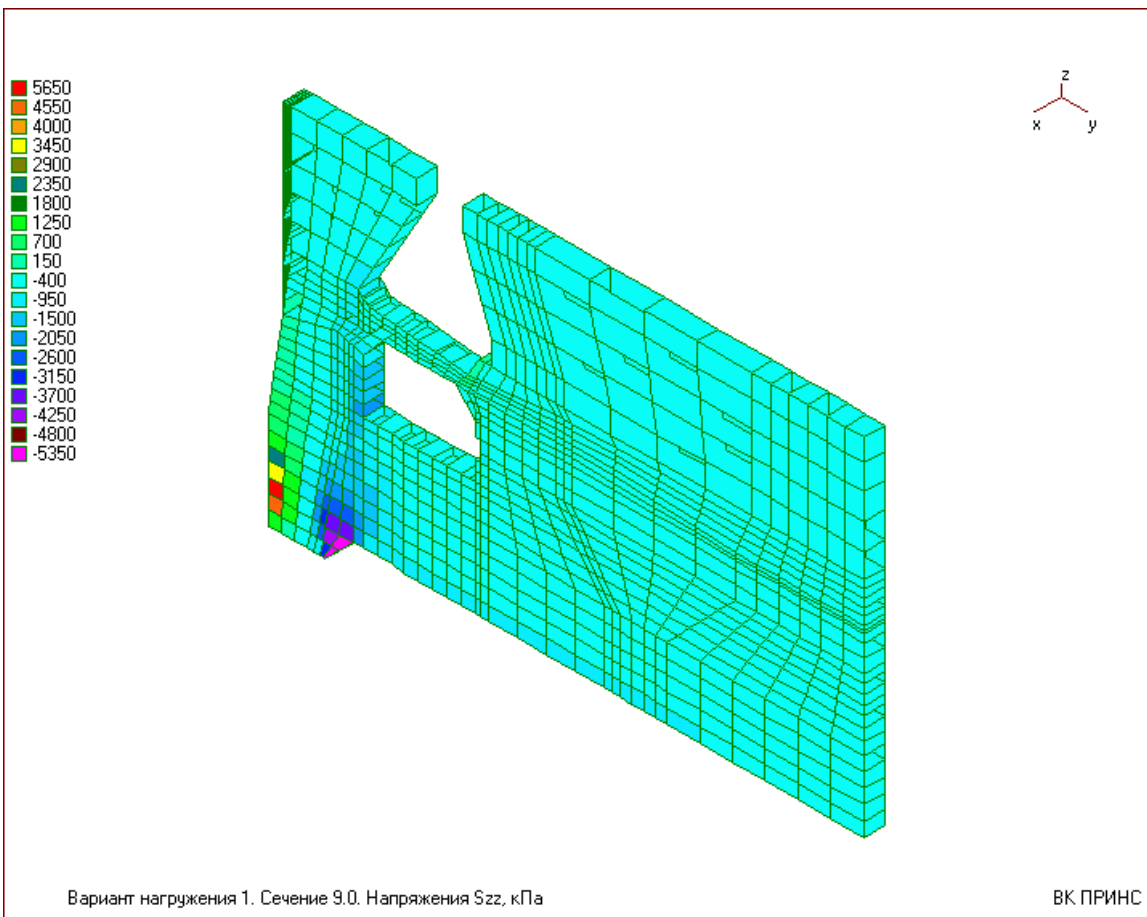


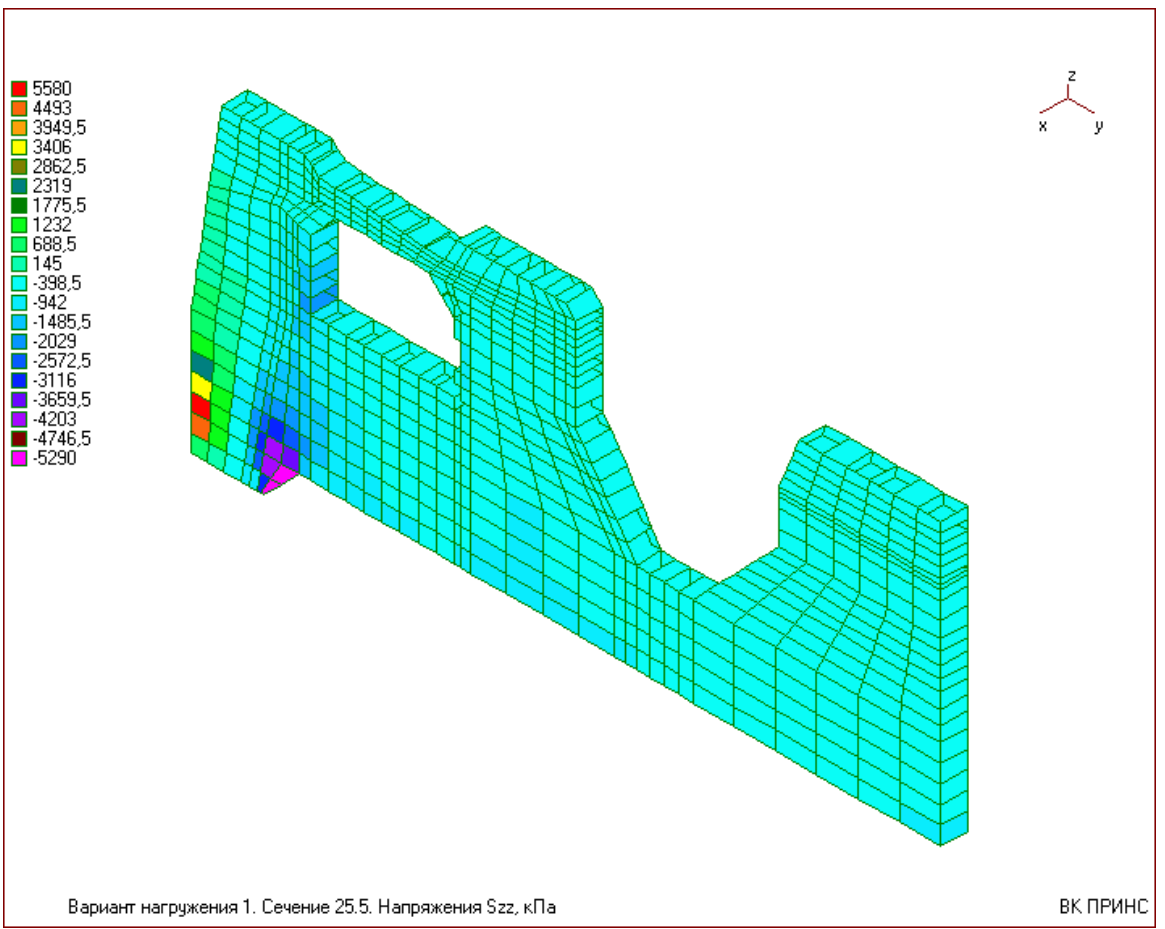
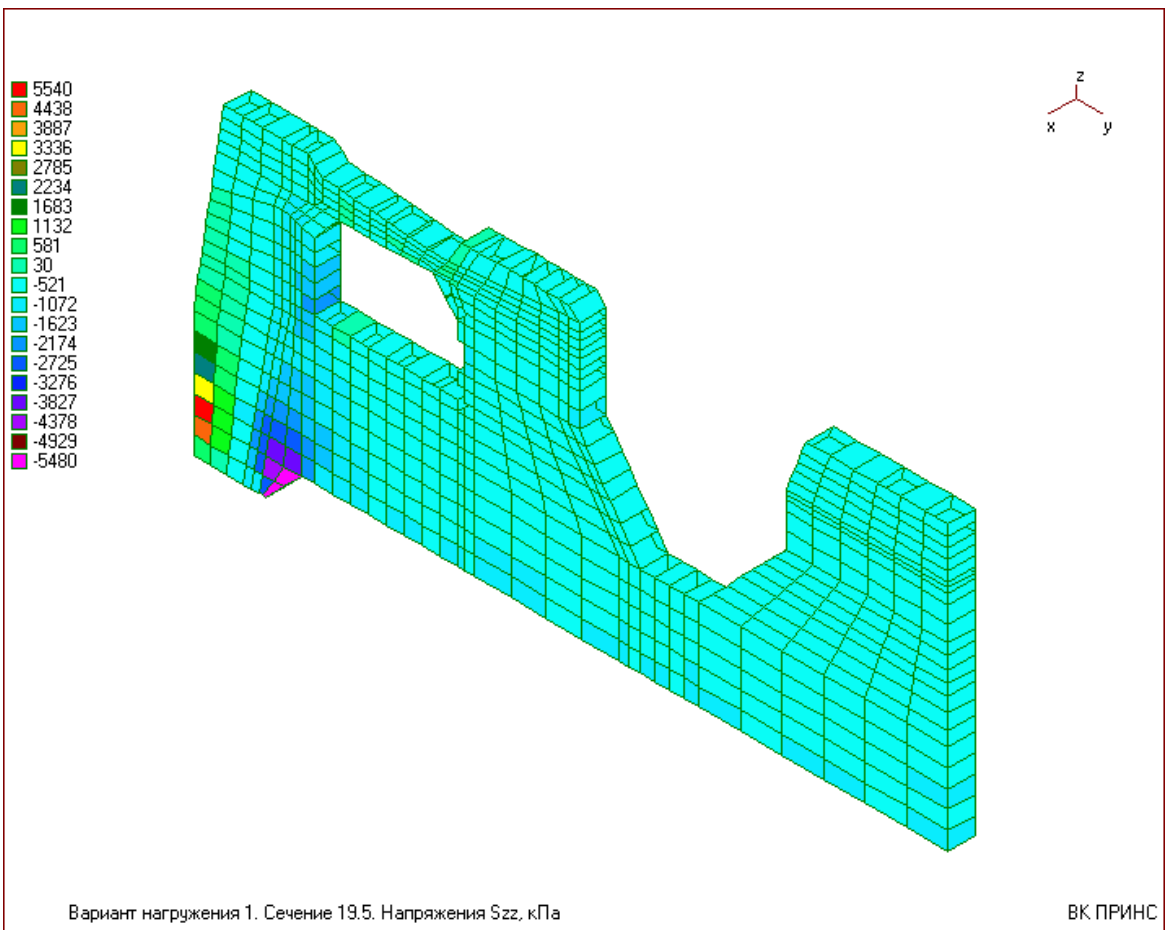


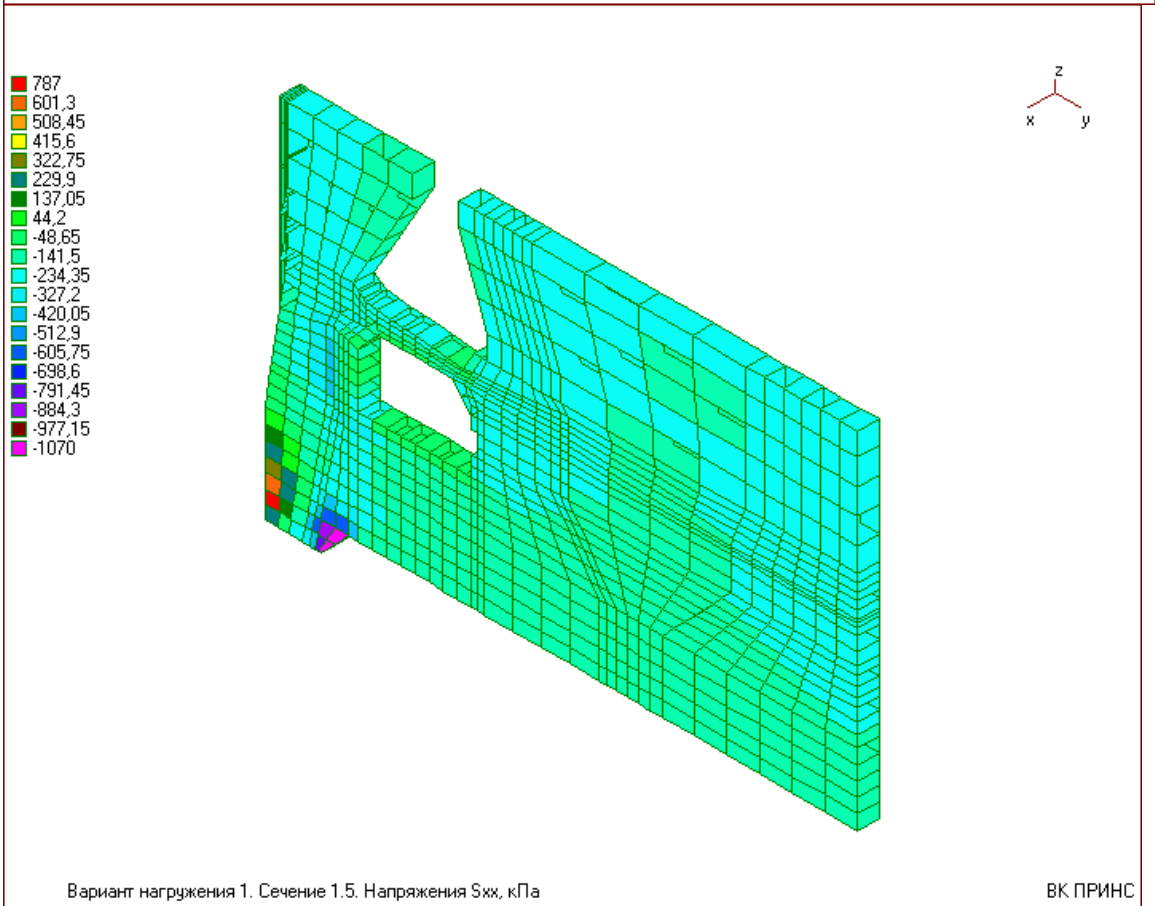
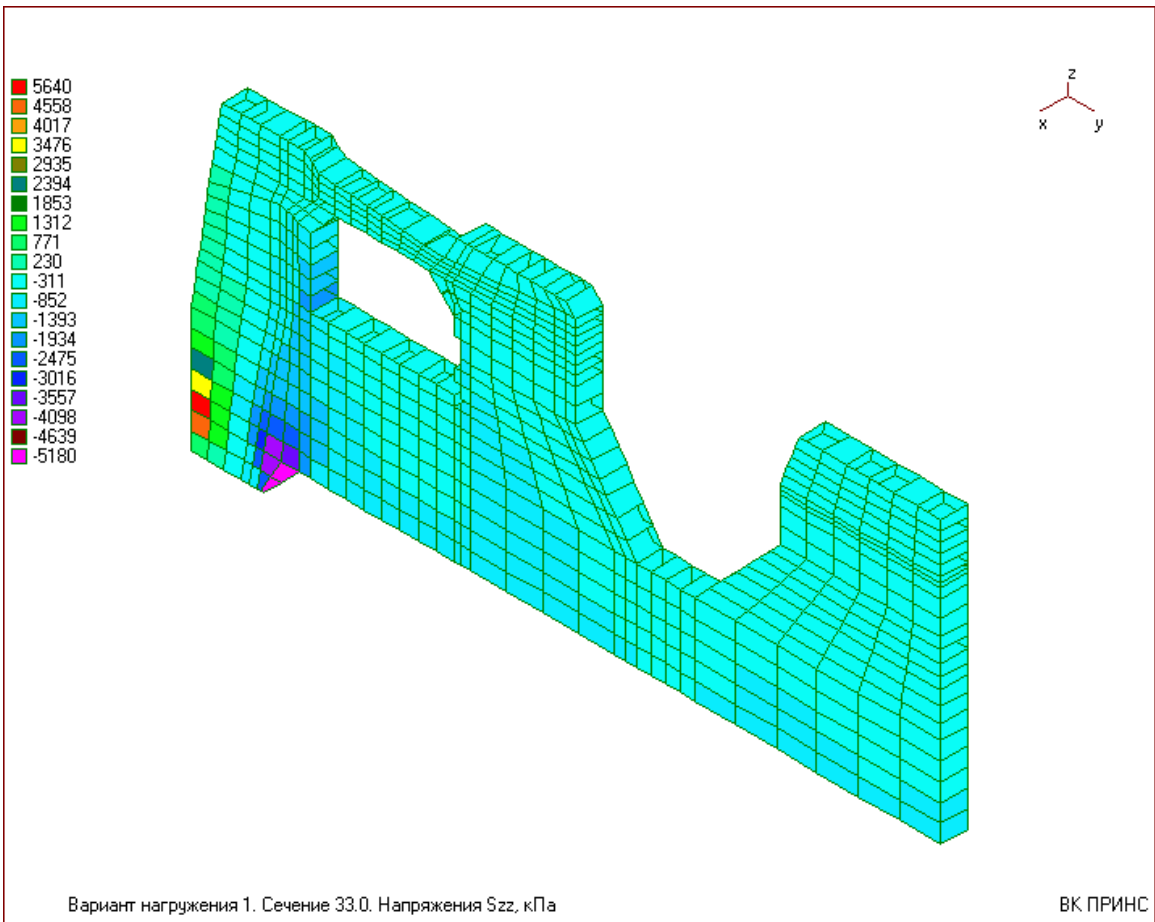


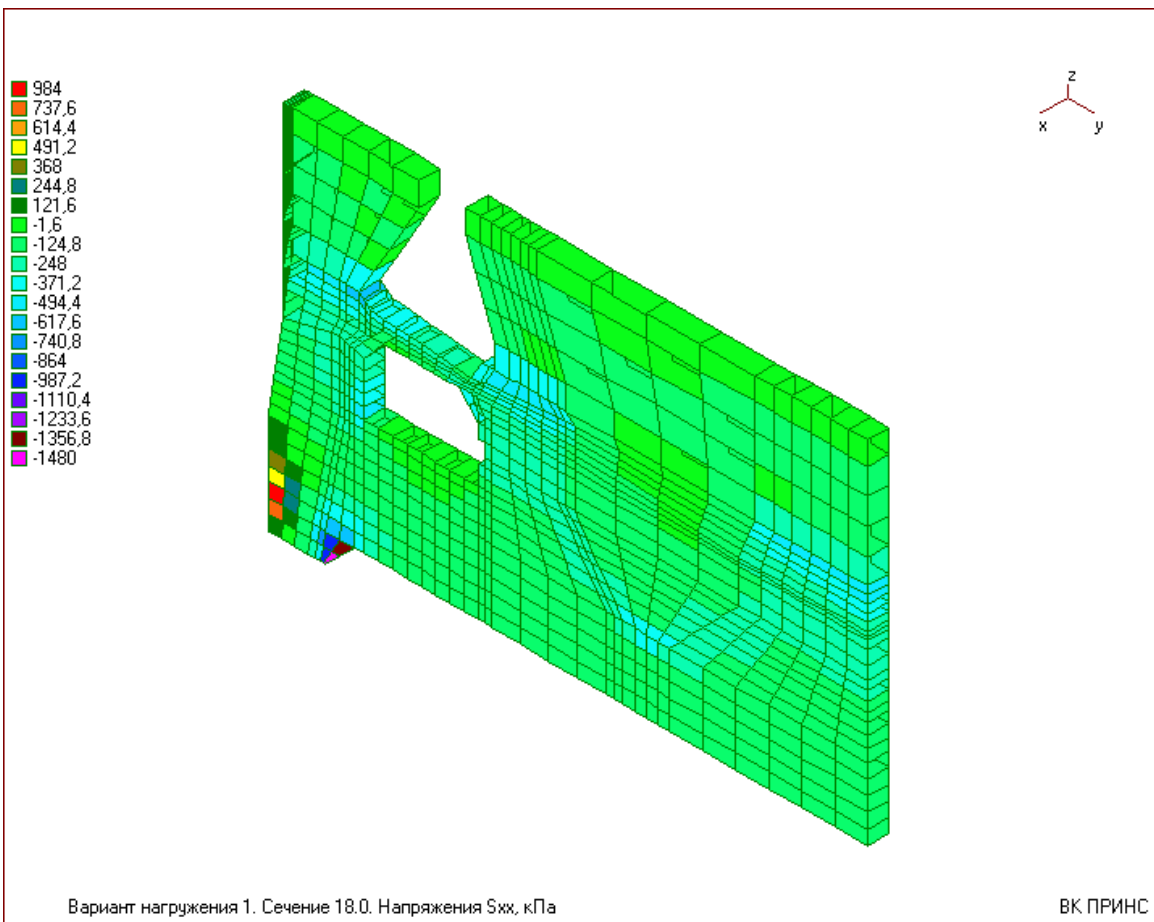
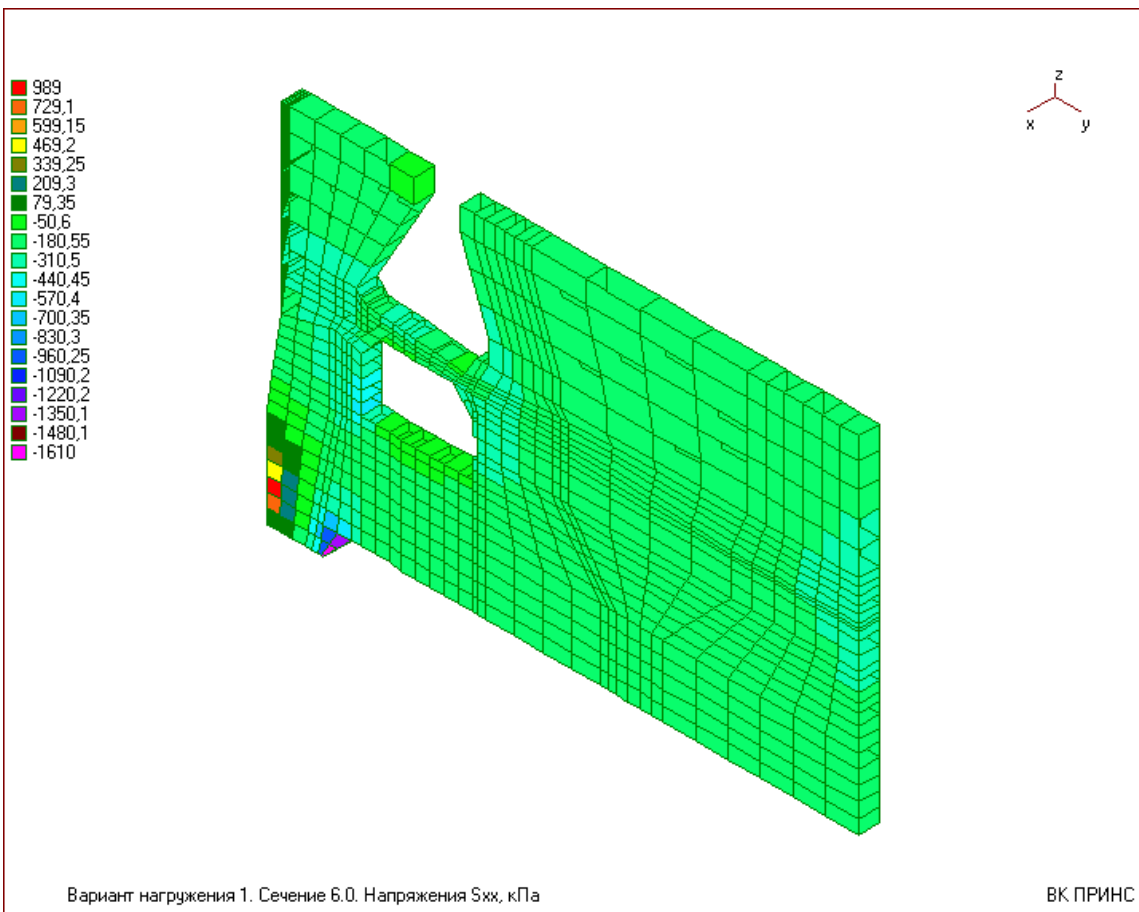


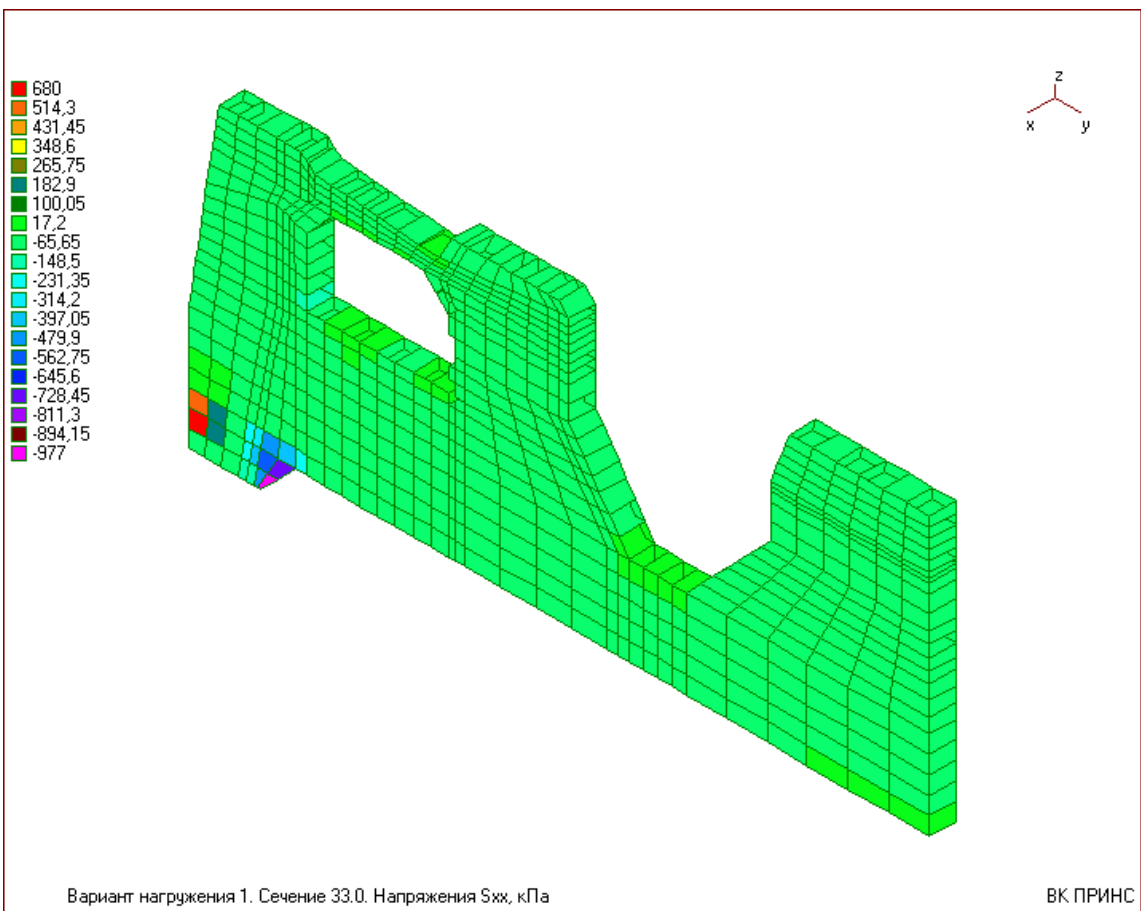
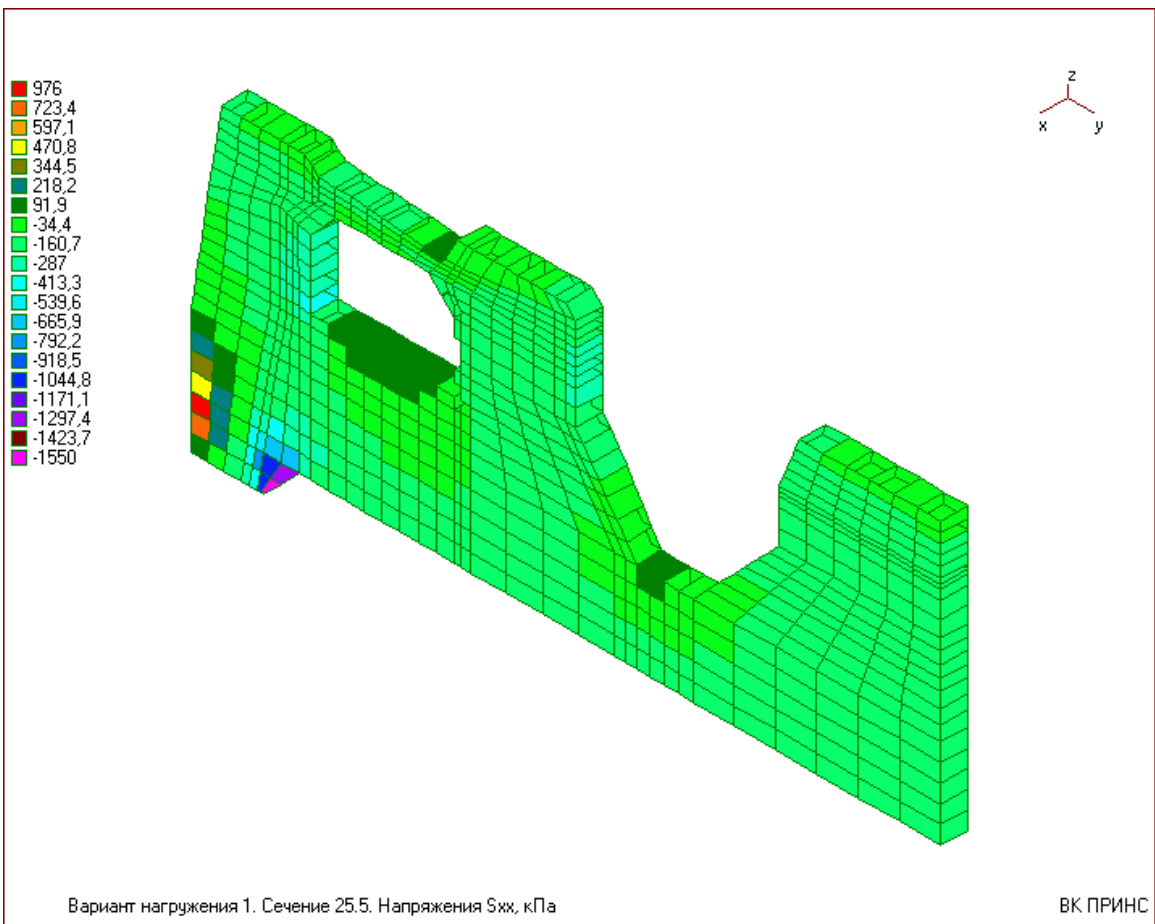




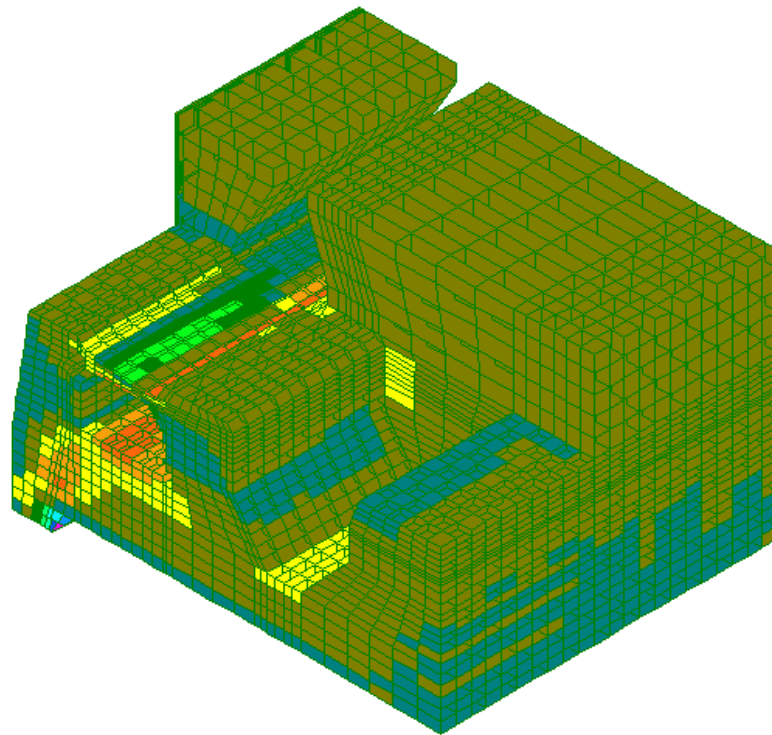
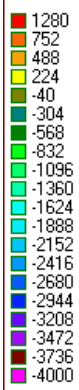






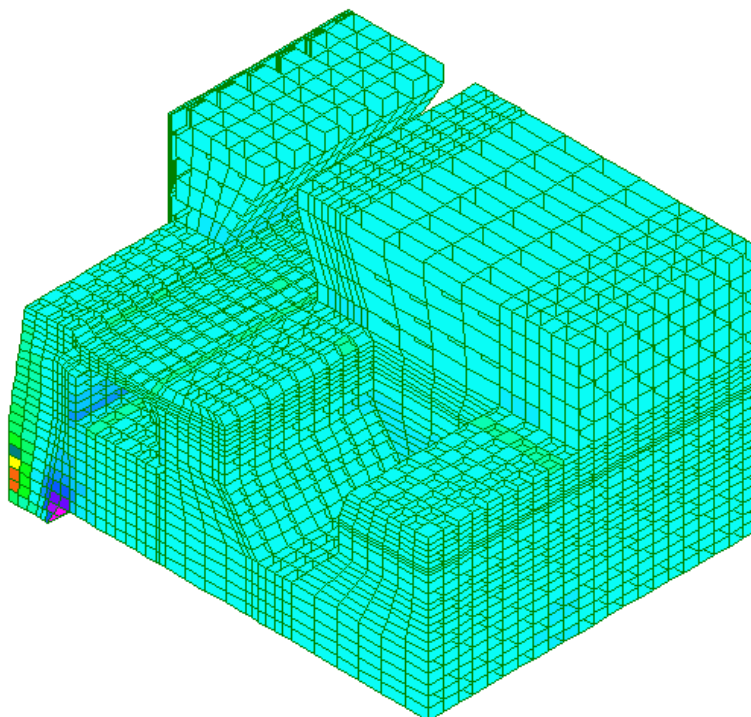
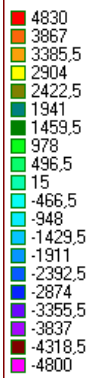


Вариант нагружения 2. Результаты расчета по программе ПРИНС.



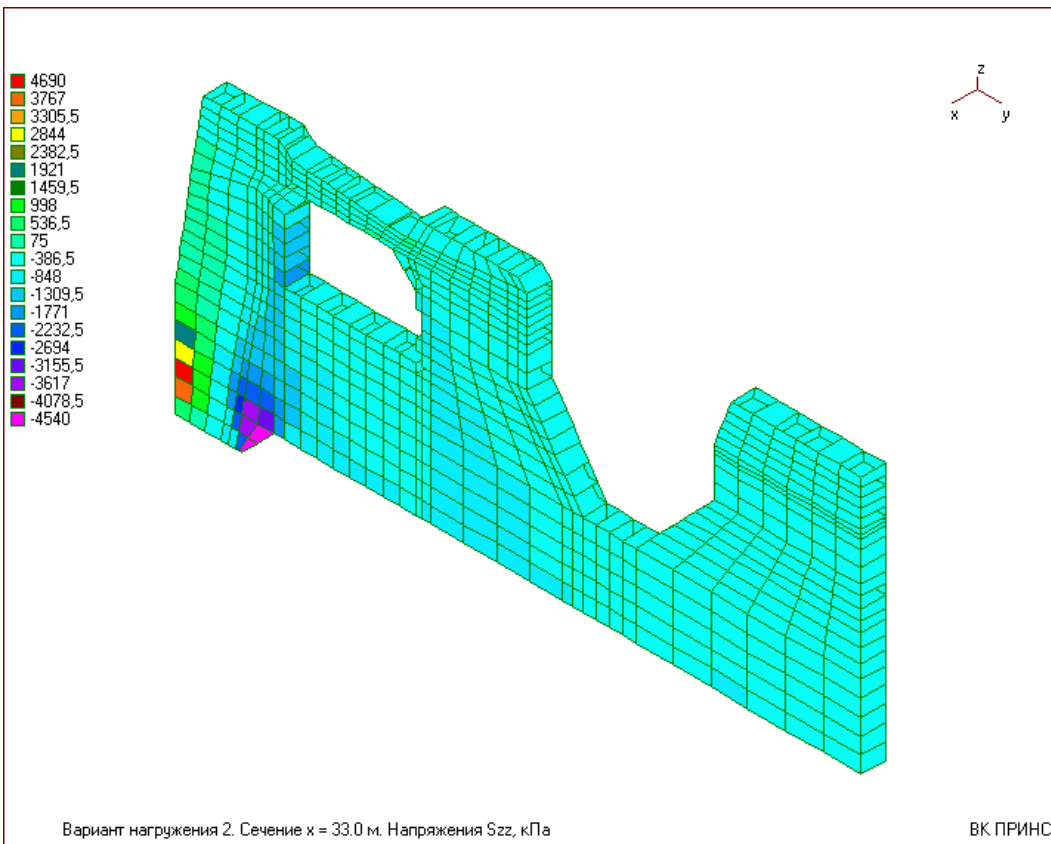
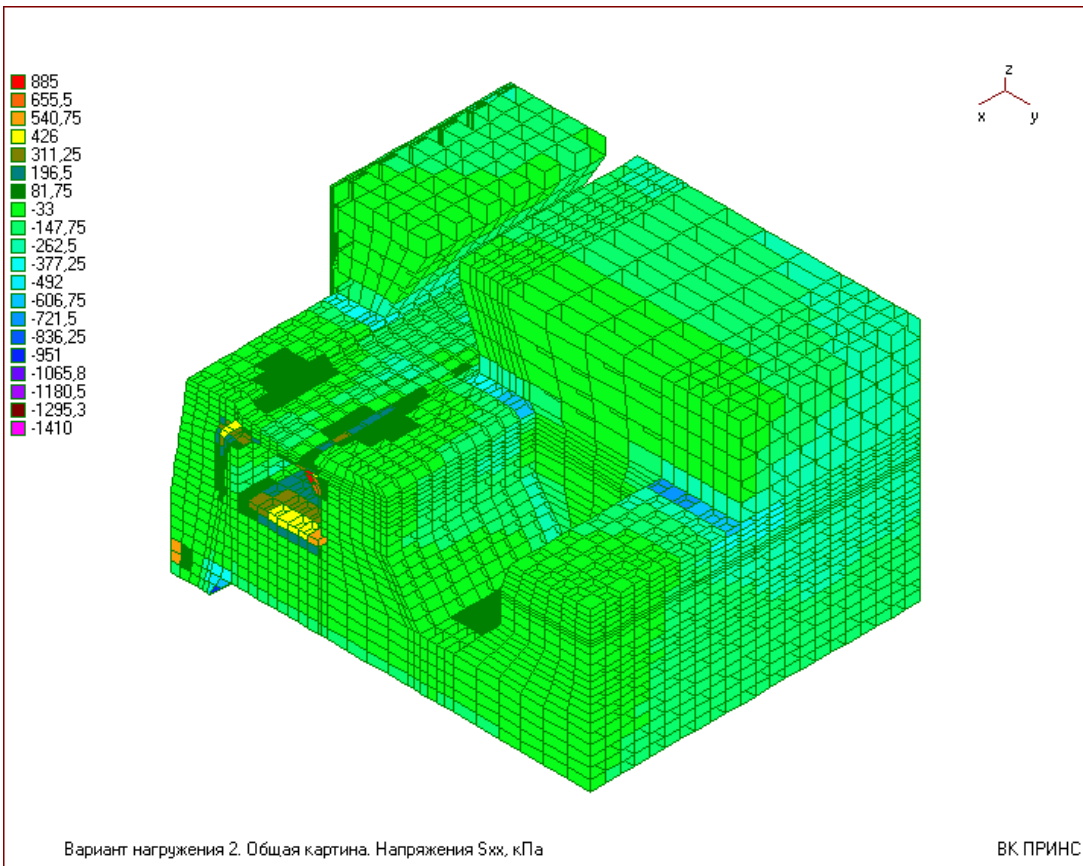
Вариант нагружения 2. Общая картина. Напряжения S_{xx} , кПа

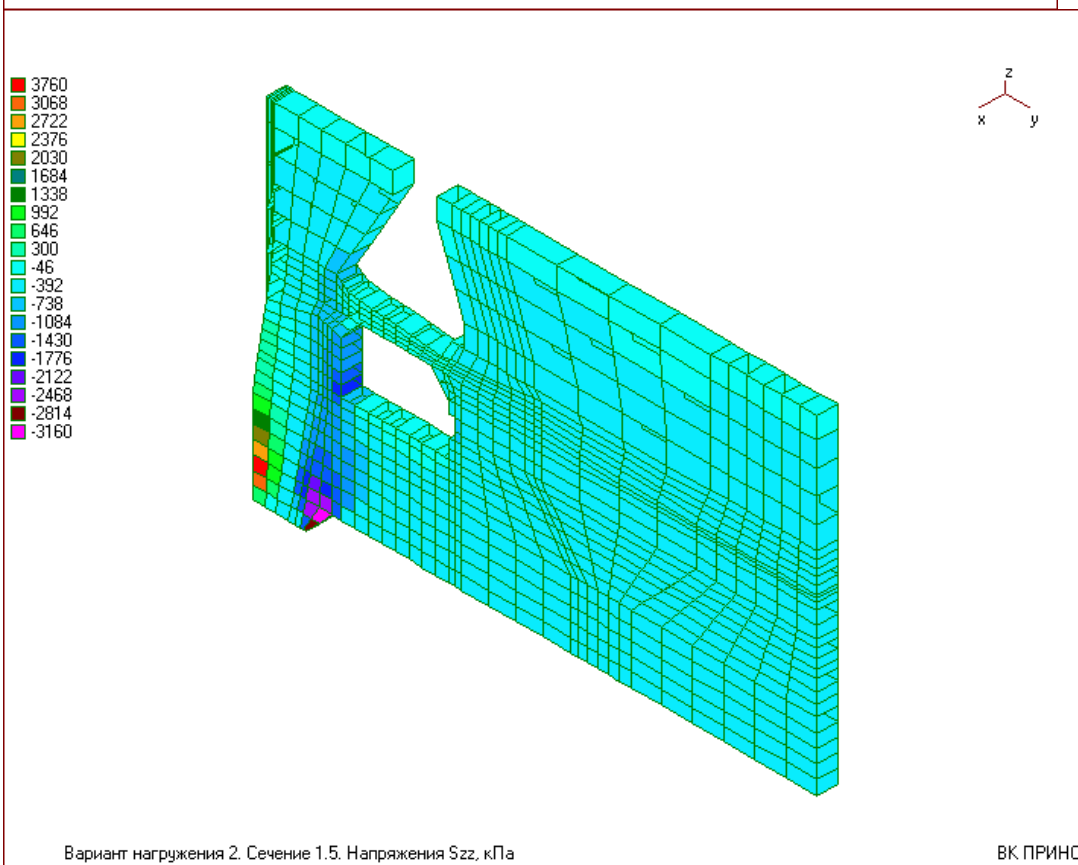
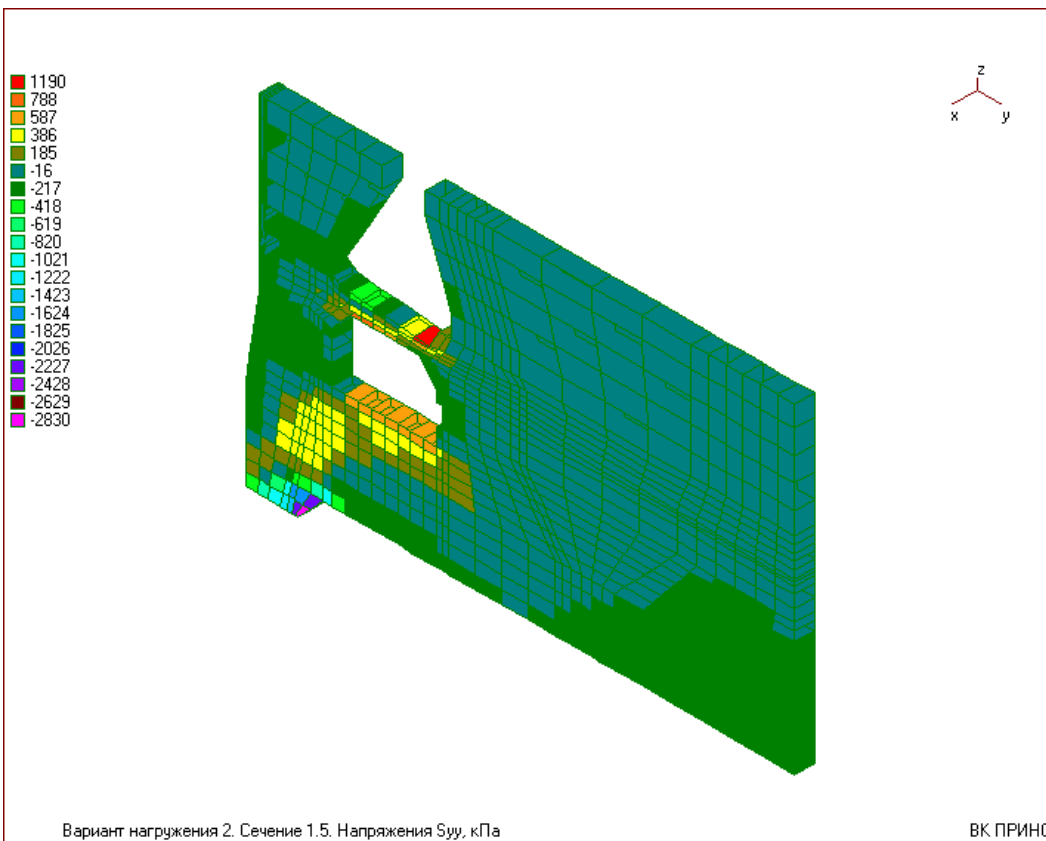
ВК ПРИНС

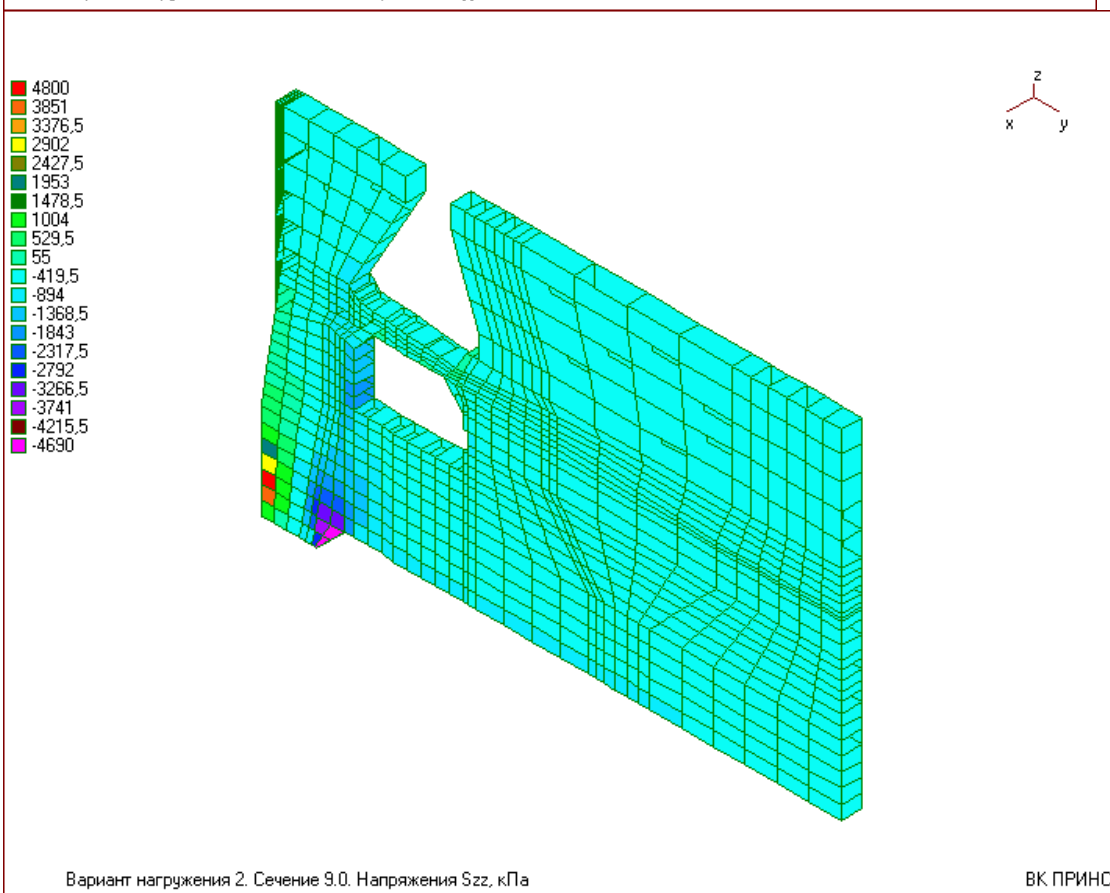
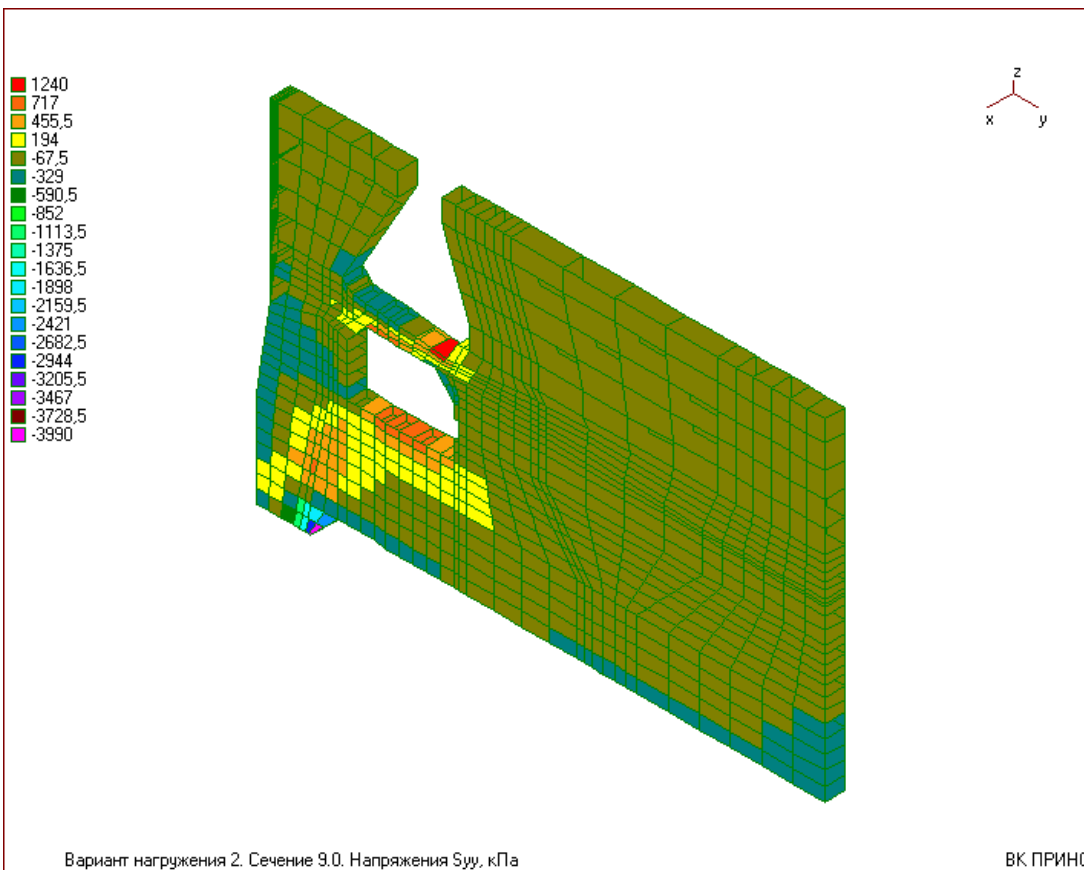


Вариант нагружения 2. Общая картина. Напряжения S_{zz} , кПа

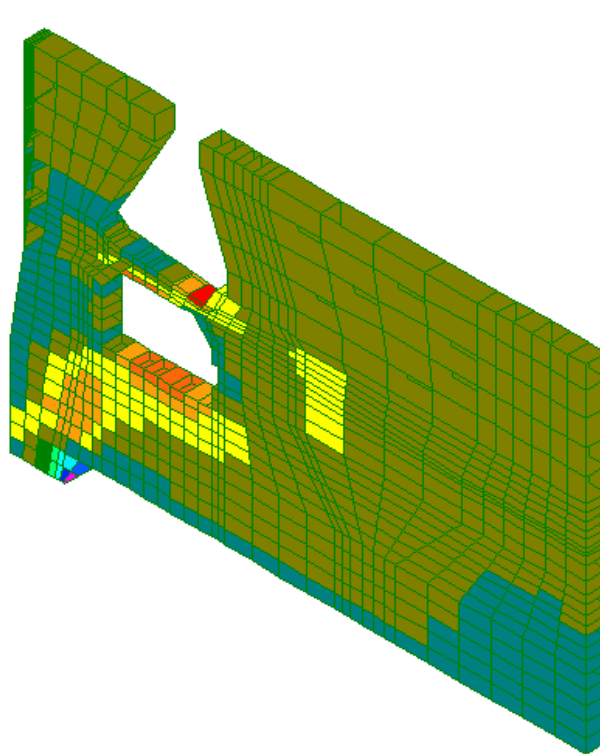
ВК ПРИНС







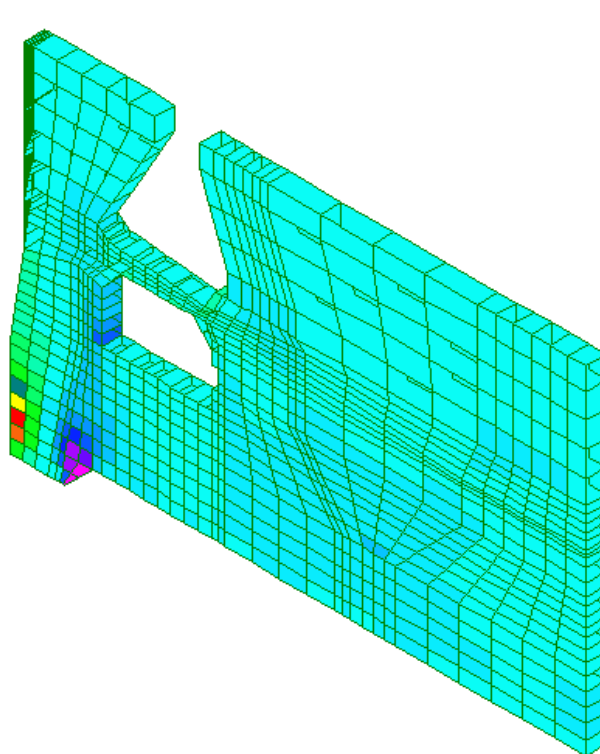
- 1240
- 725
- 467,5
- 210
- -47,5
- -305
- -562,5
- -820
- -1077,5
- -1335
- -1592,5
- -1850
- -2107,5
- -2365
- -2622,5
- -2880
- -3137,5
- -3395
- -3652,5
- -3910



Вариант нагружения 2. Сечение 18.0. Напряжения S_{yy} , кПа

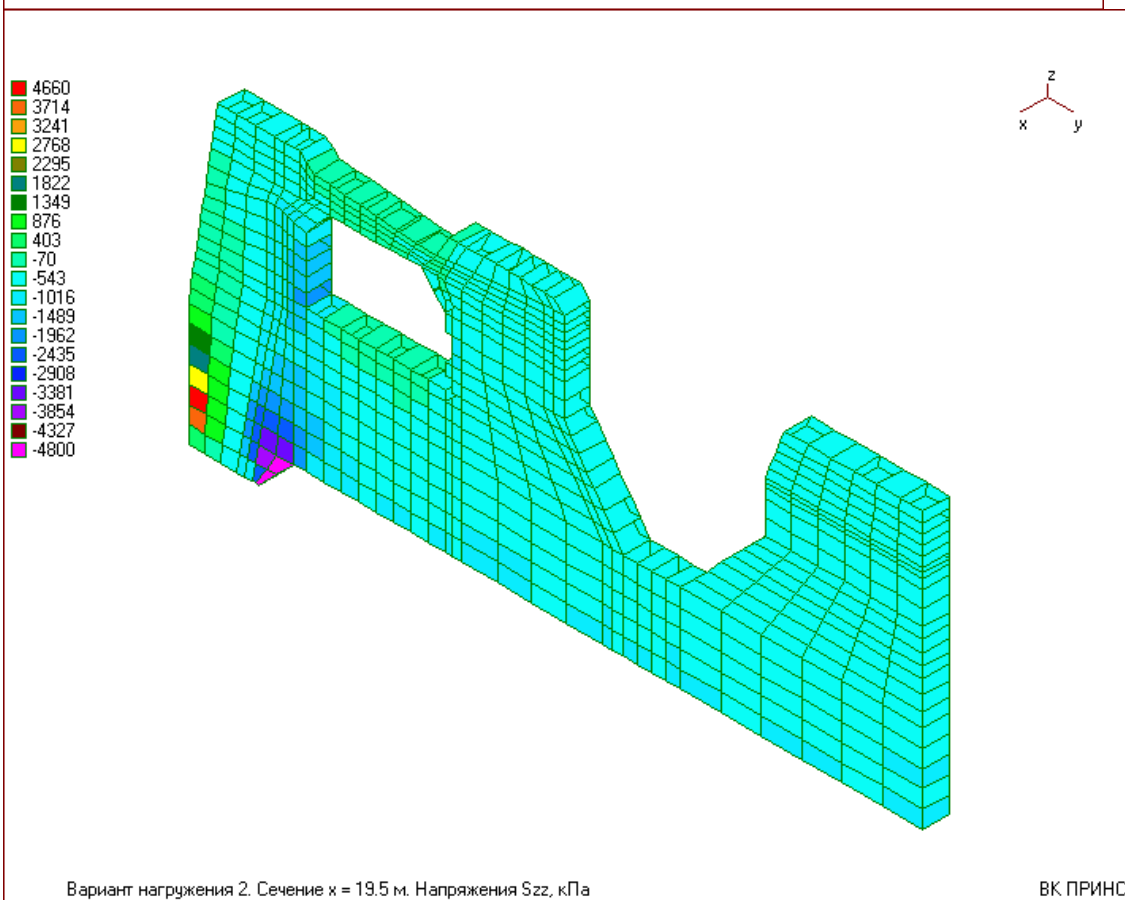
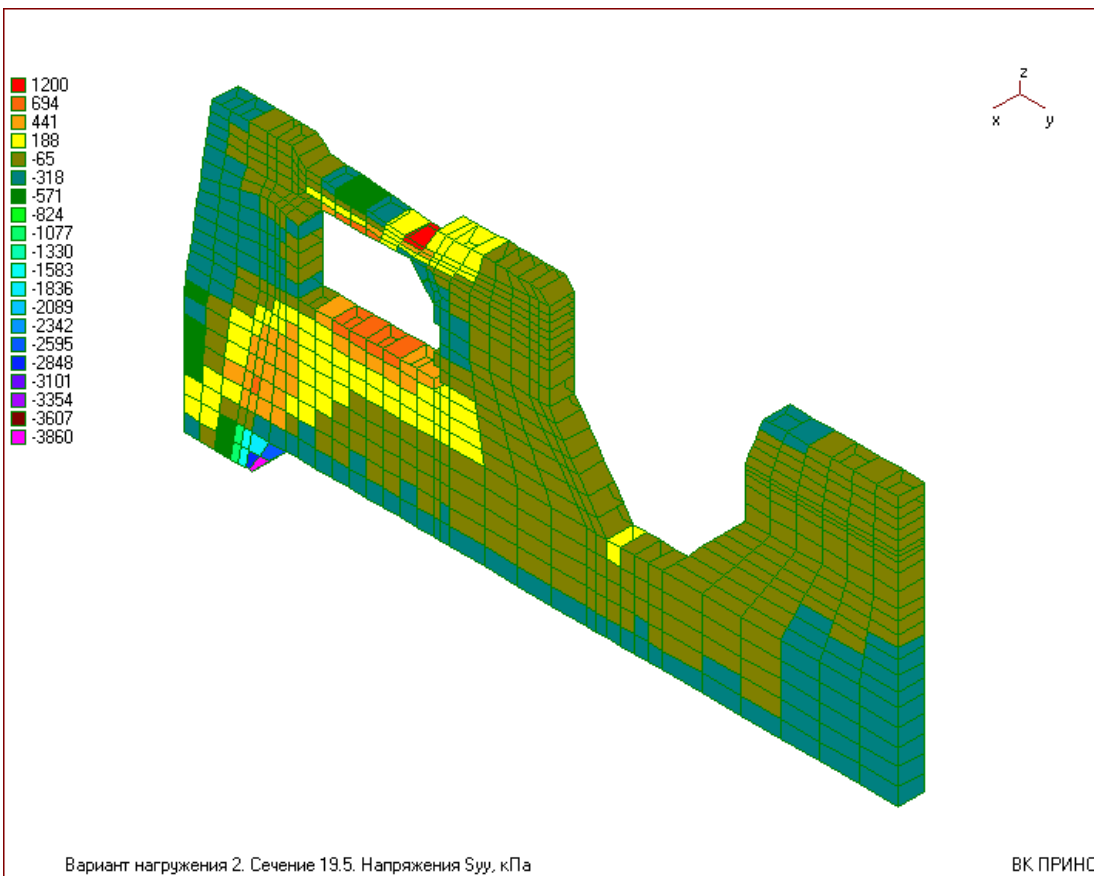
ВК ПРИНС

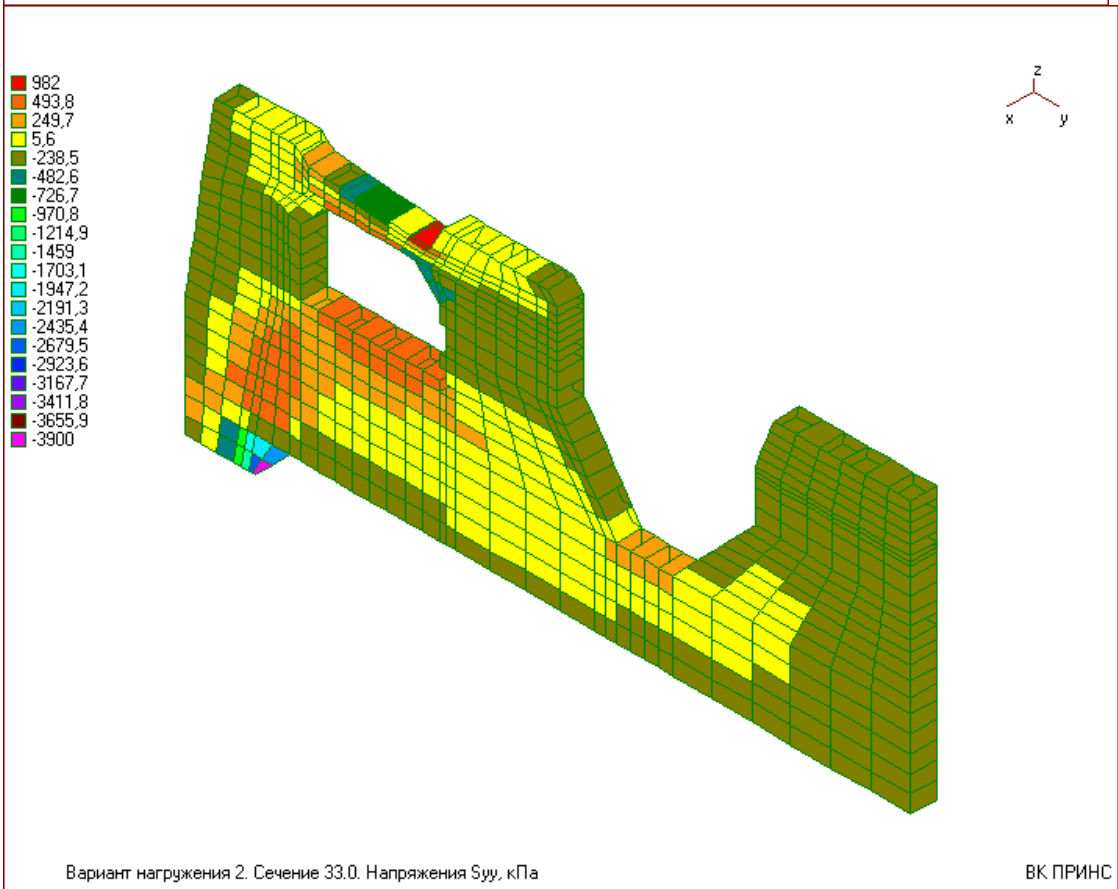
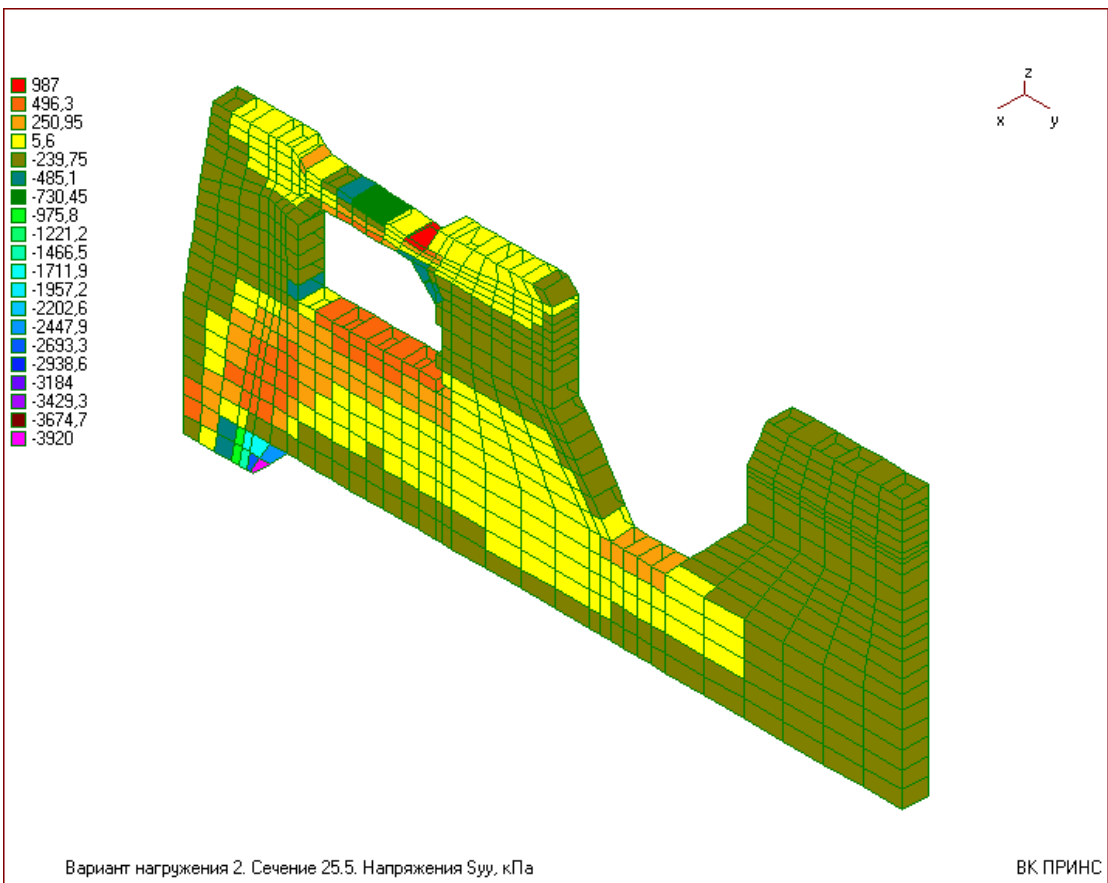
- 4730
- 3796
- 3329
- 2862
- 2395
- 1928
- 1461
- 994
- 527
- 60
- -407
- -874
- -1341
- -1808
- -2275
- -2742
- -3209
- -3676
- -4143
- -4610

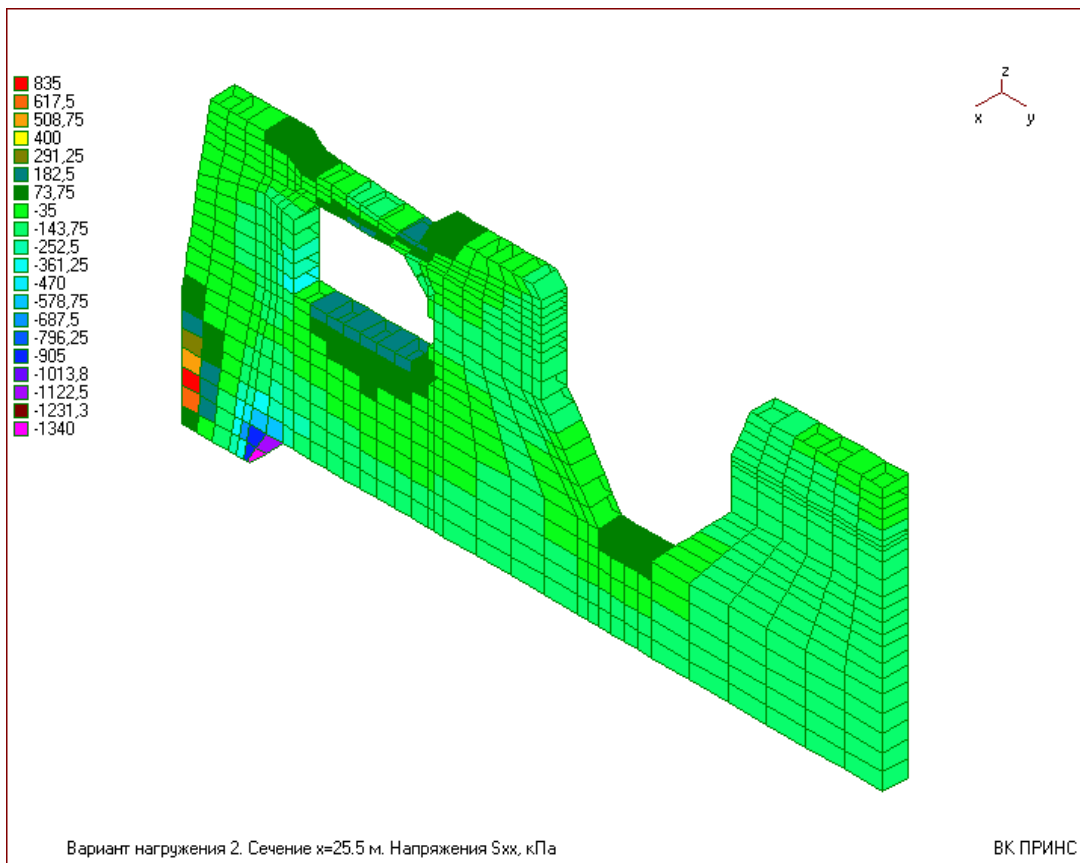
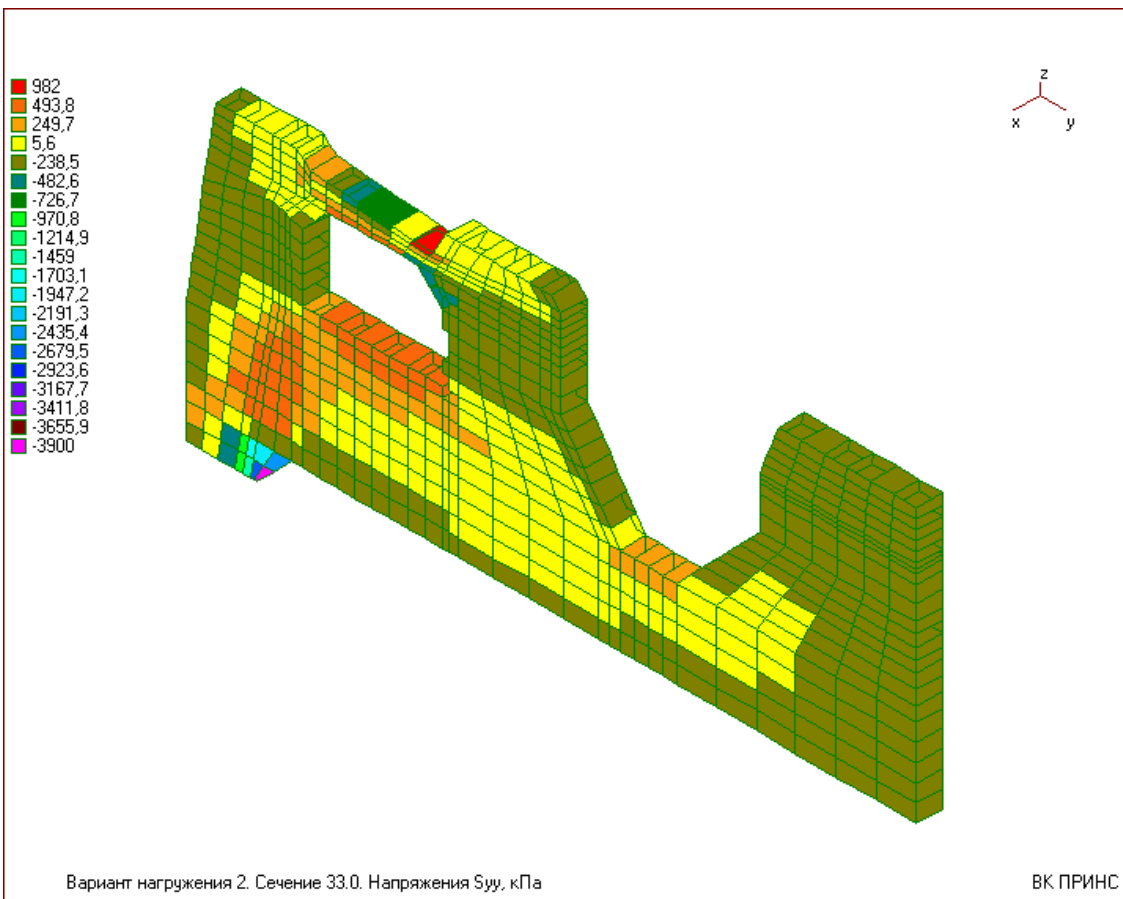


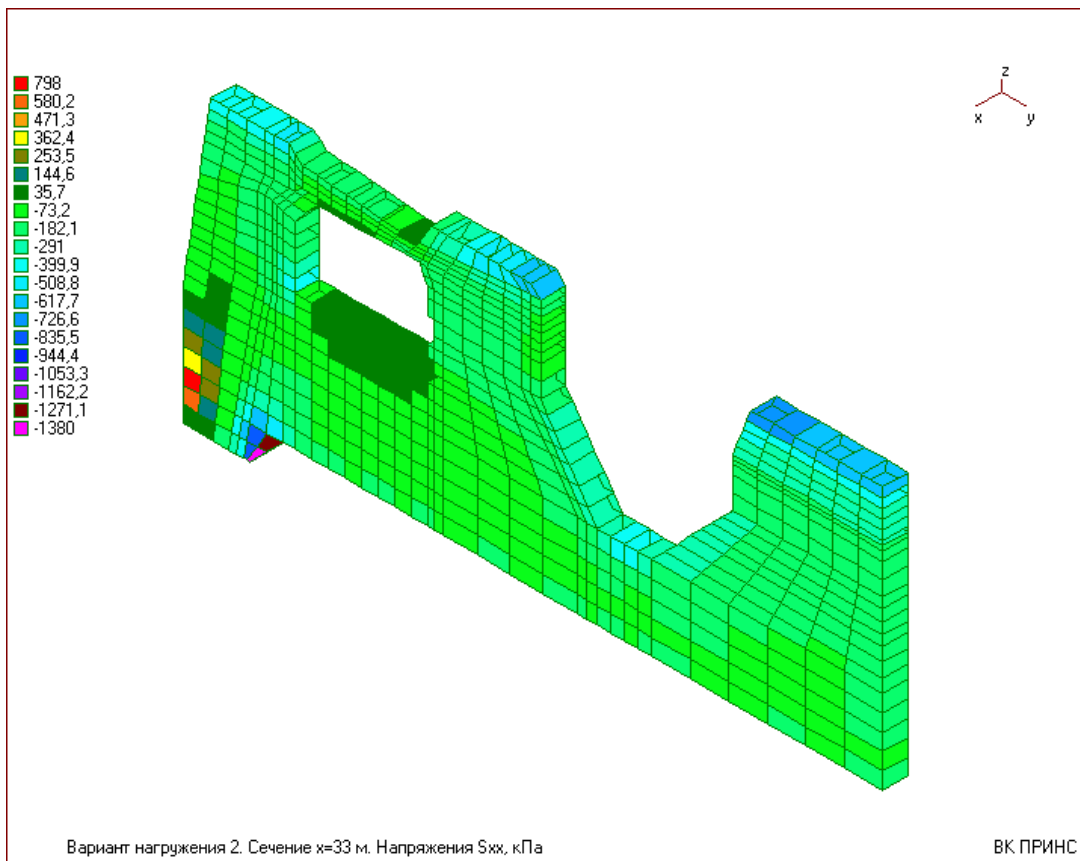
Вариант нагружения 2. Сечение $x = 18.0$ м. Напряжения S_{zz} , кПа

ВК ПРИНС

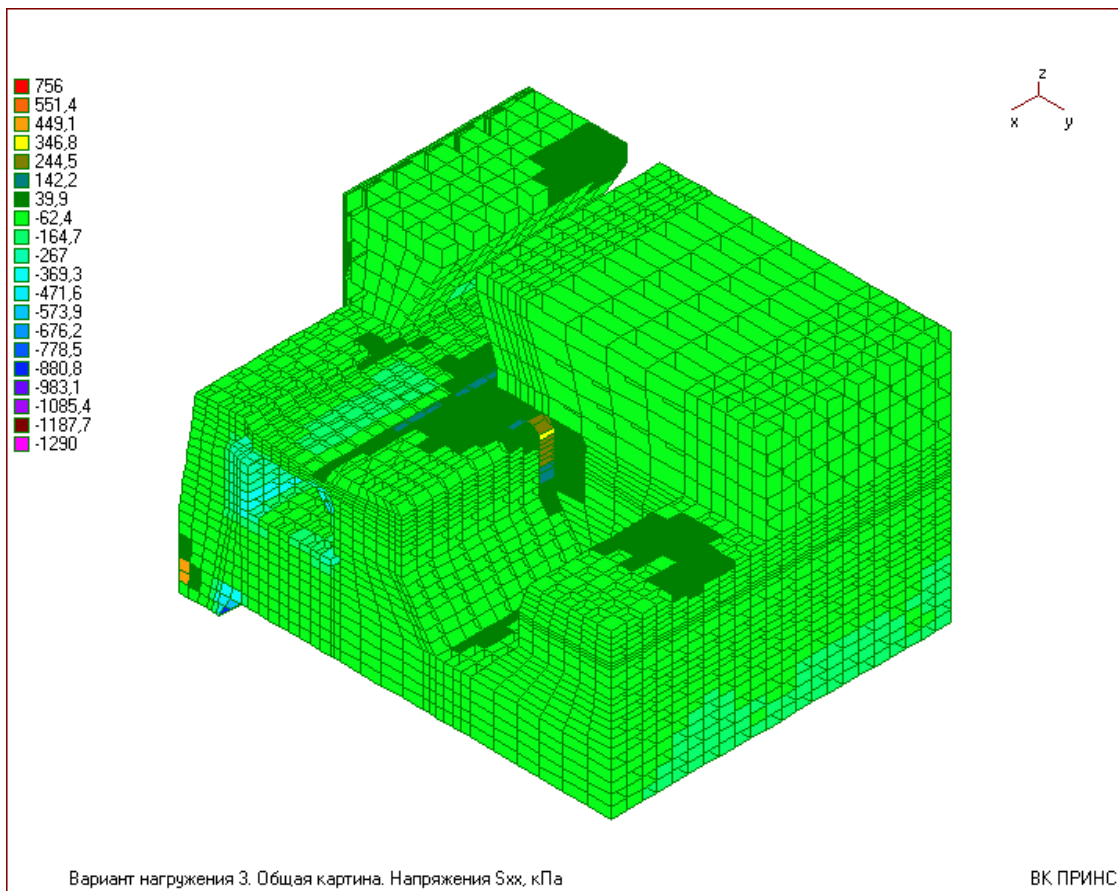


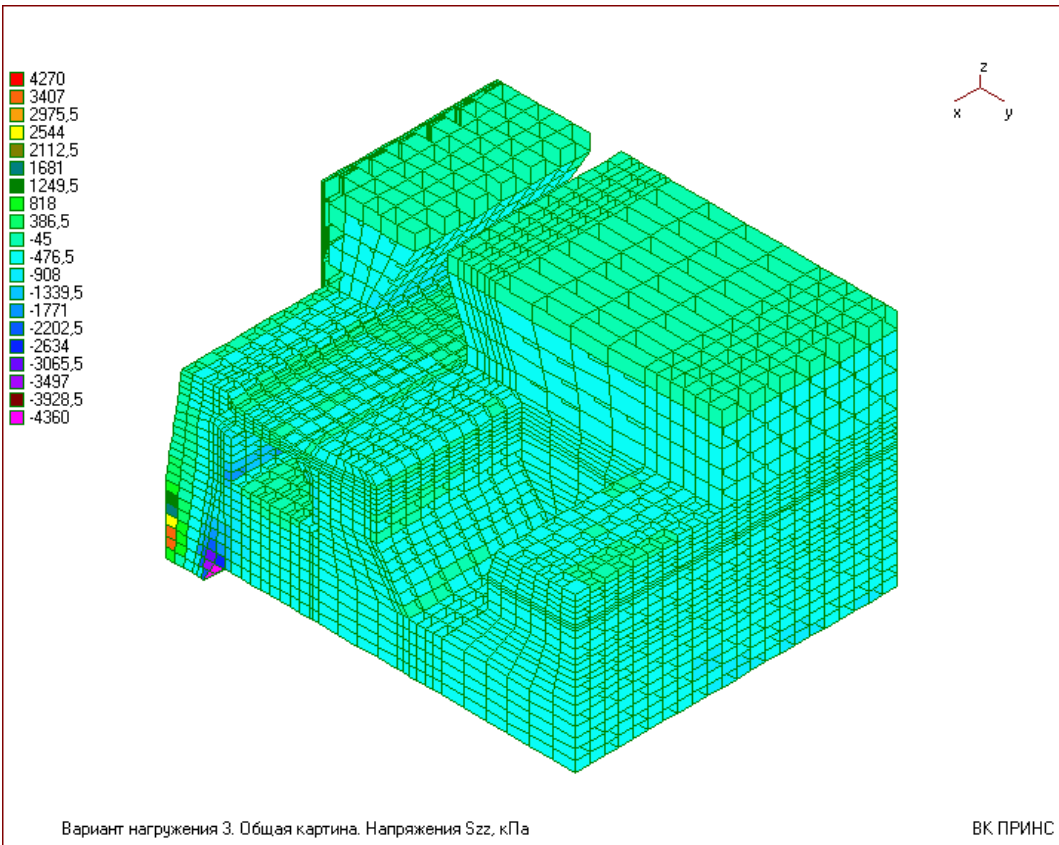
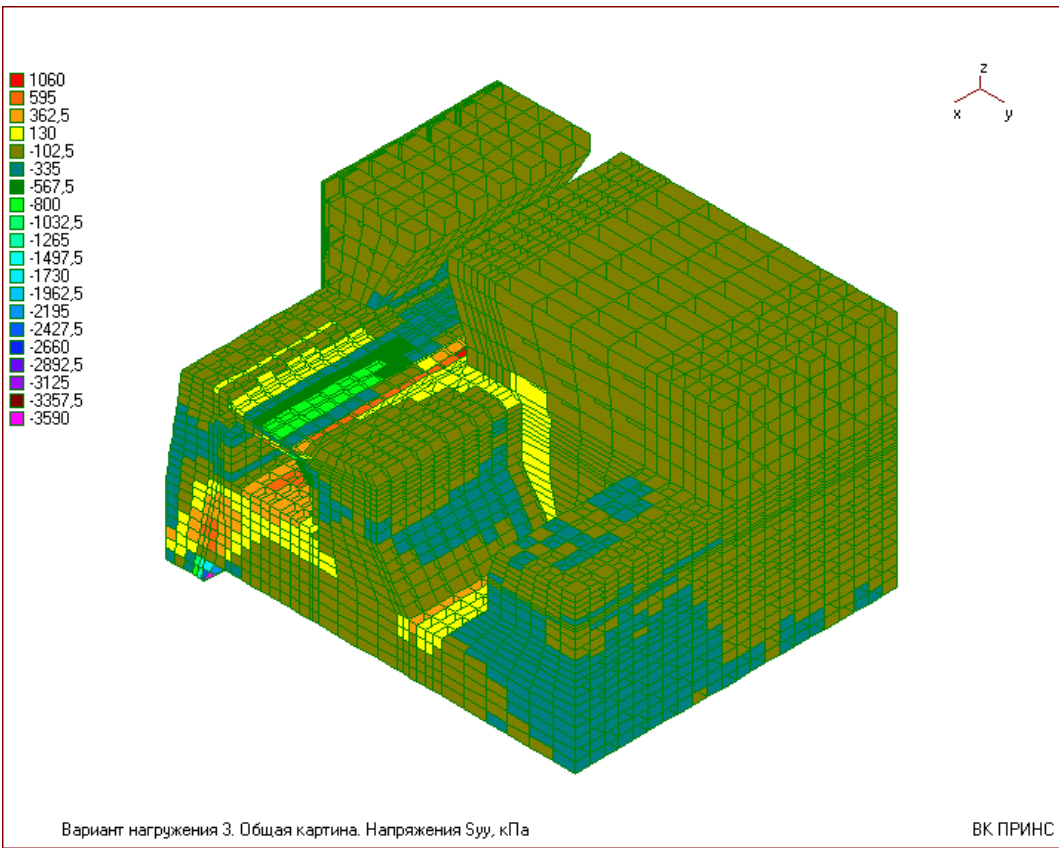


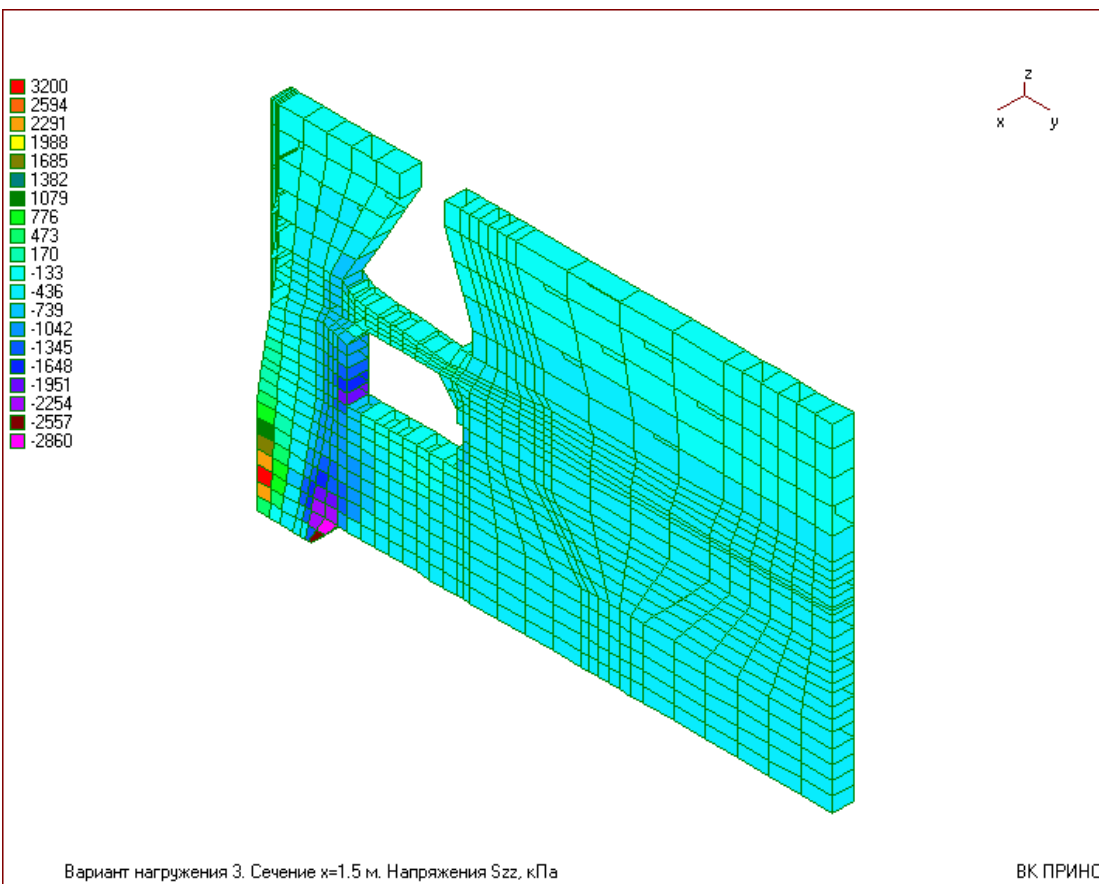
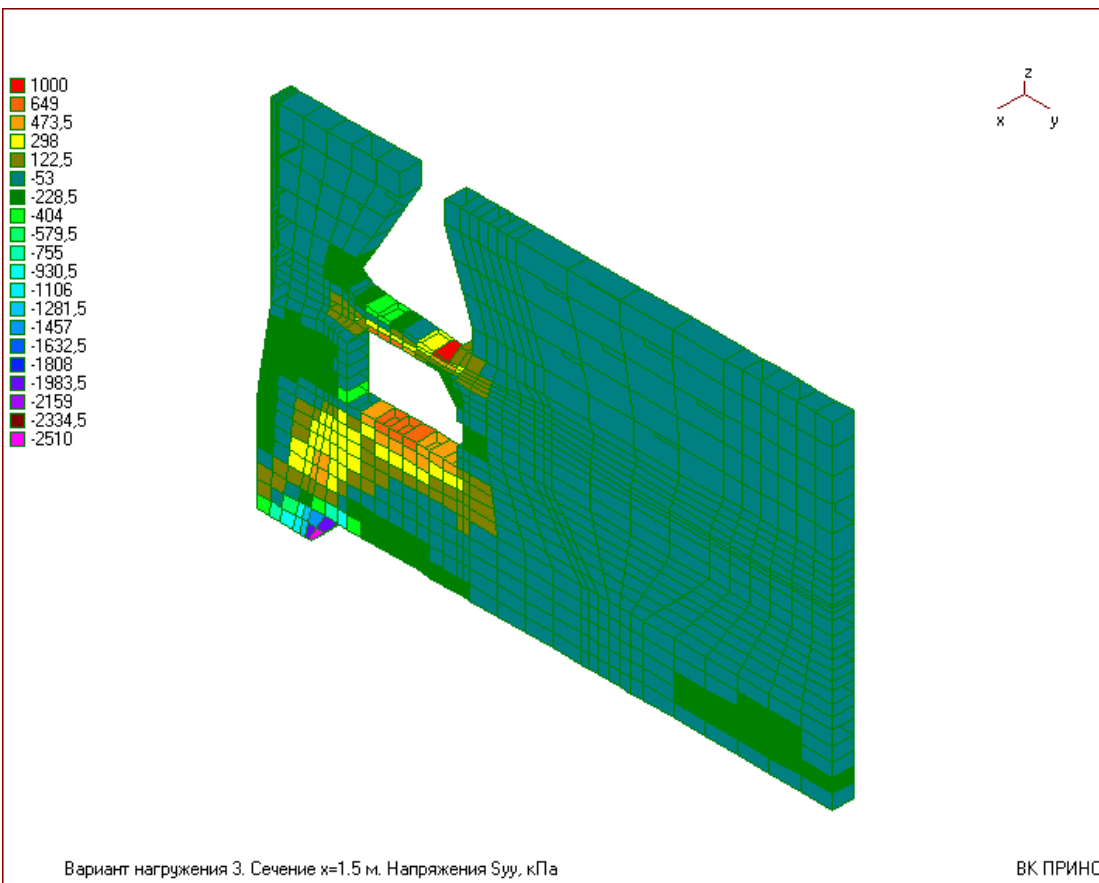


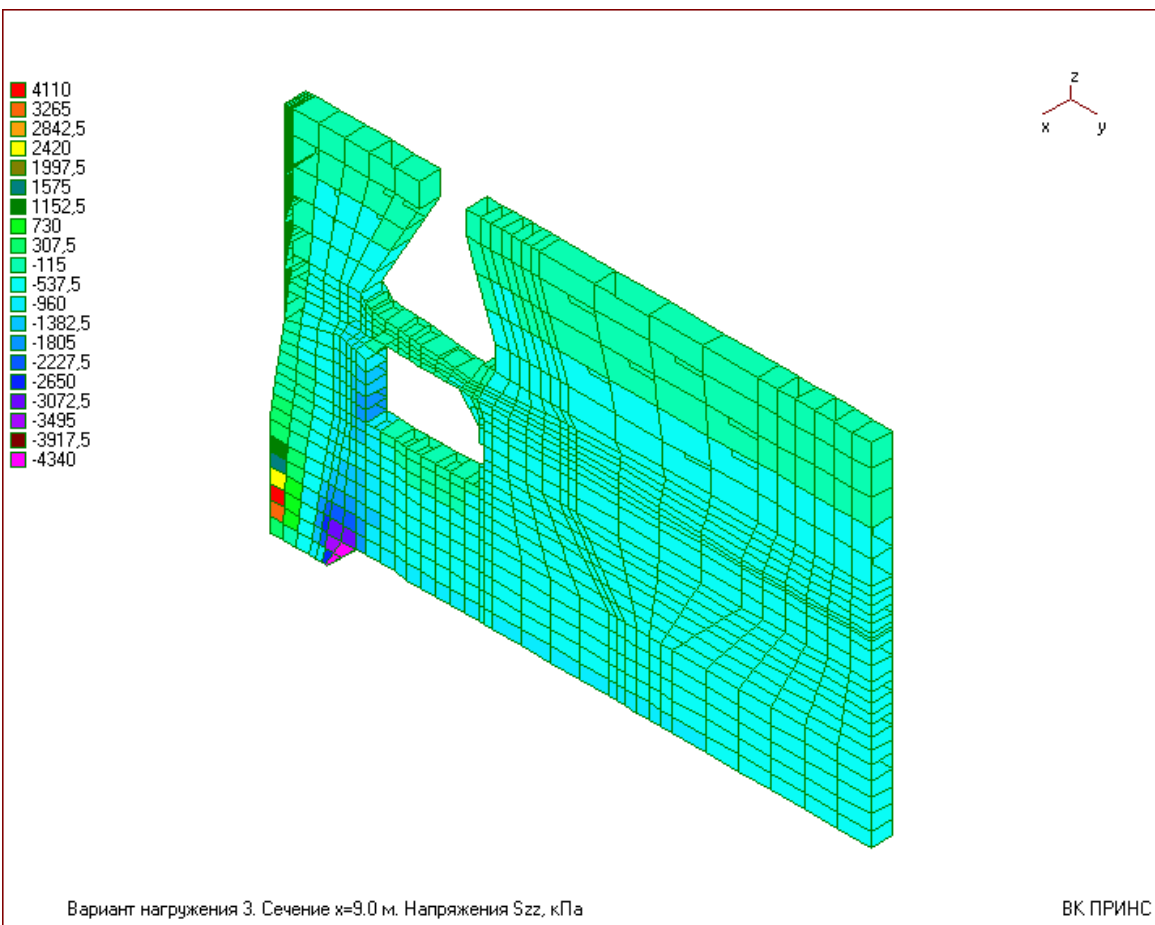
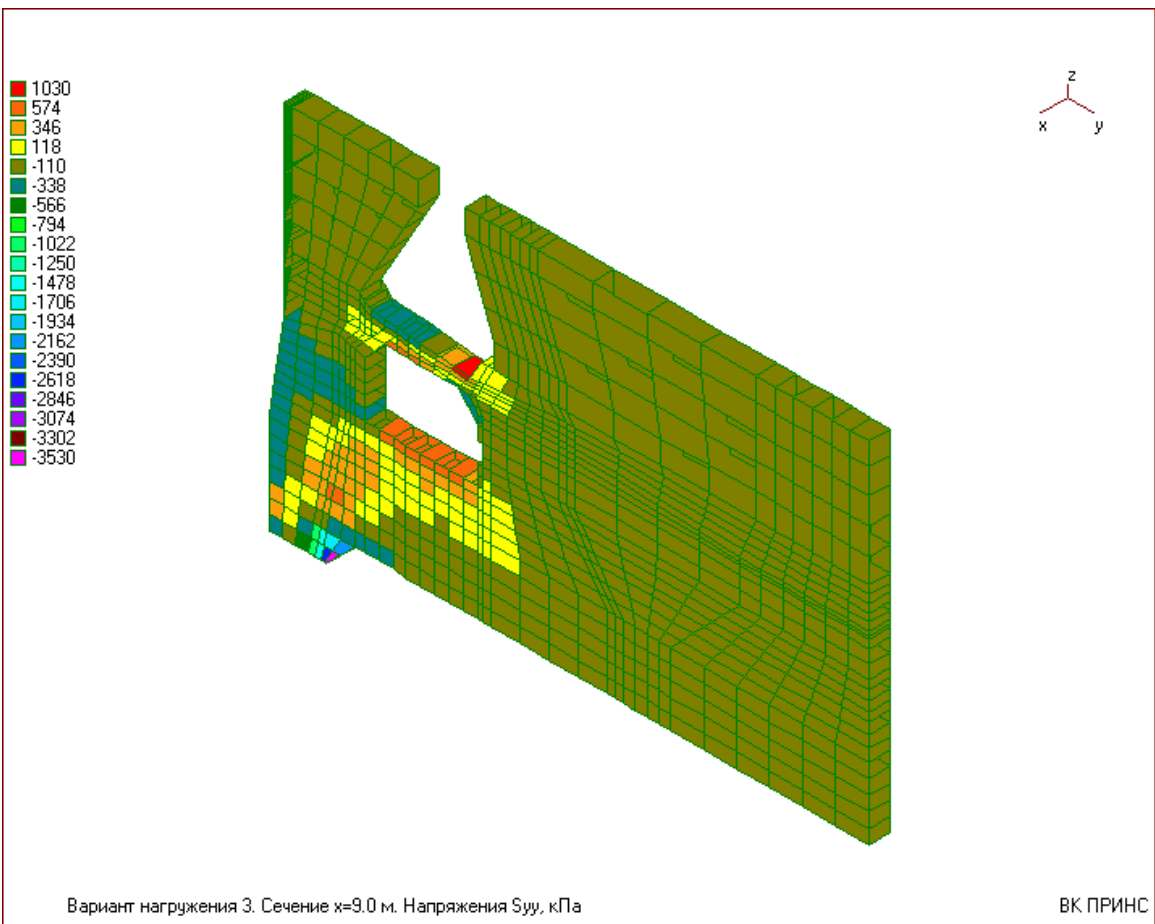


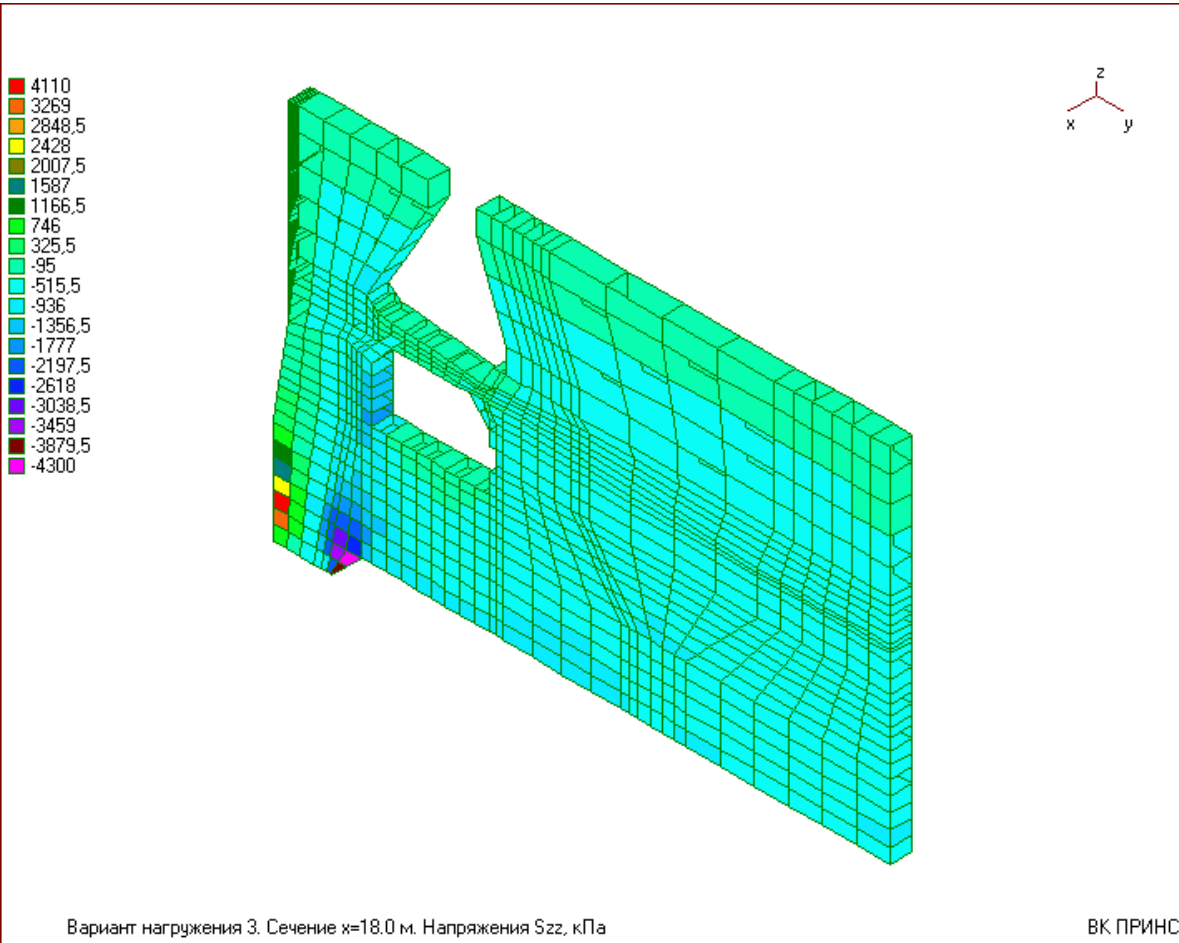
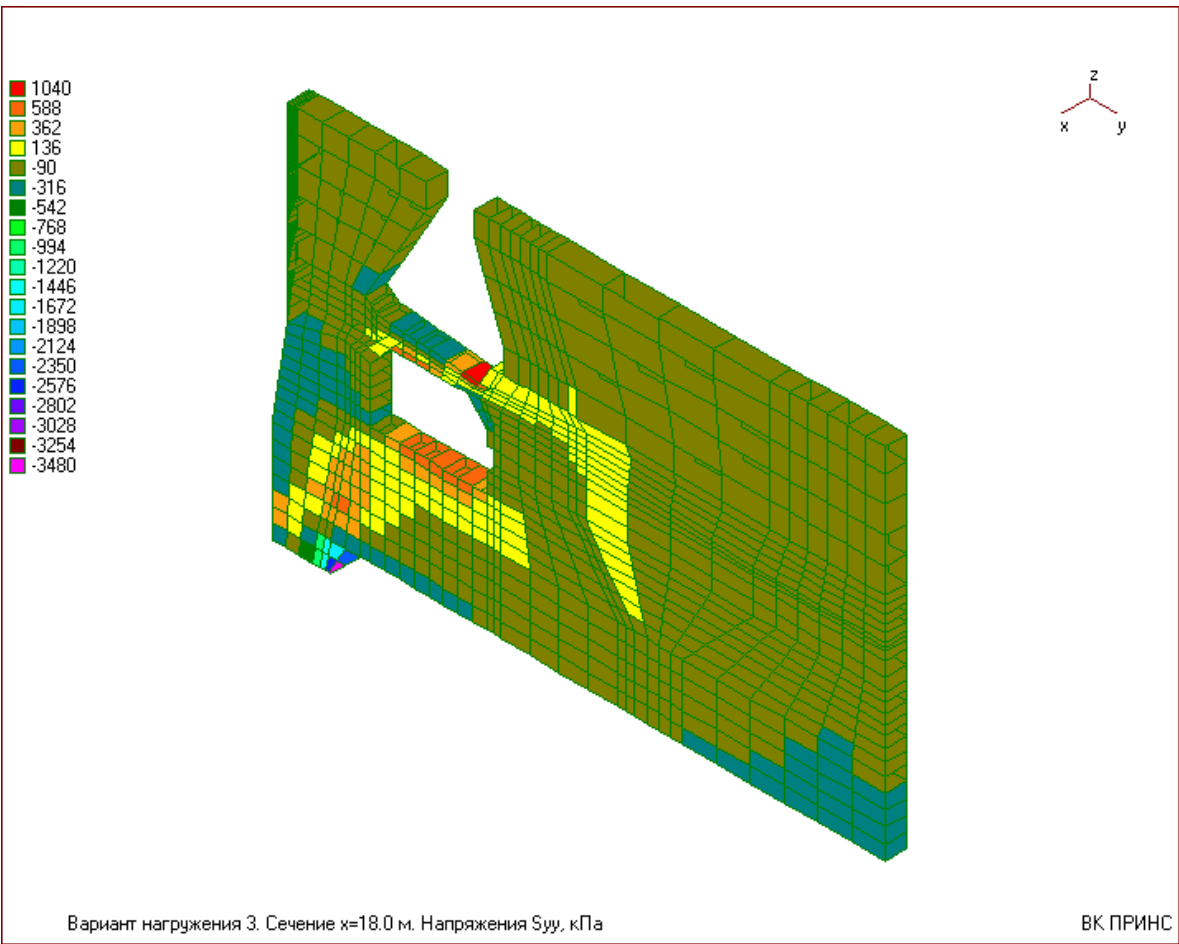
Вариант нагружения 3. Результаты расчета по программе ПРИНС.

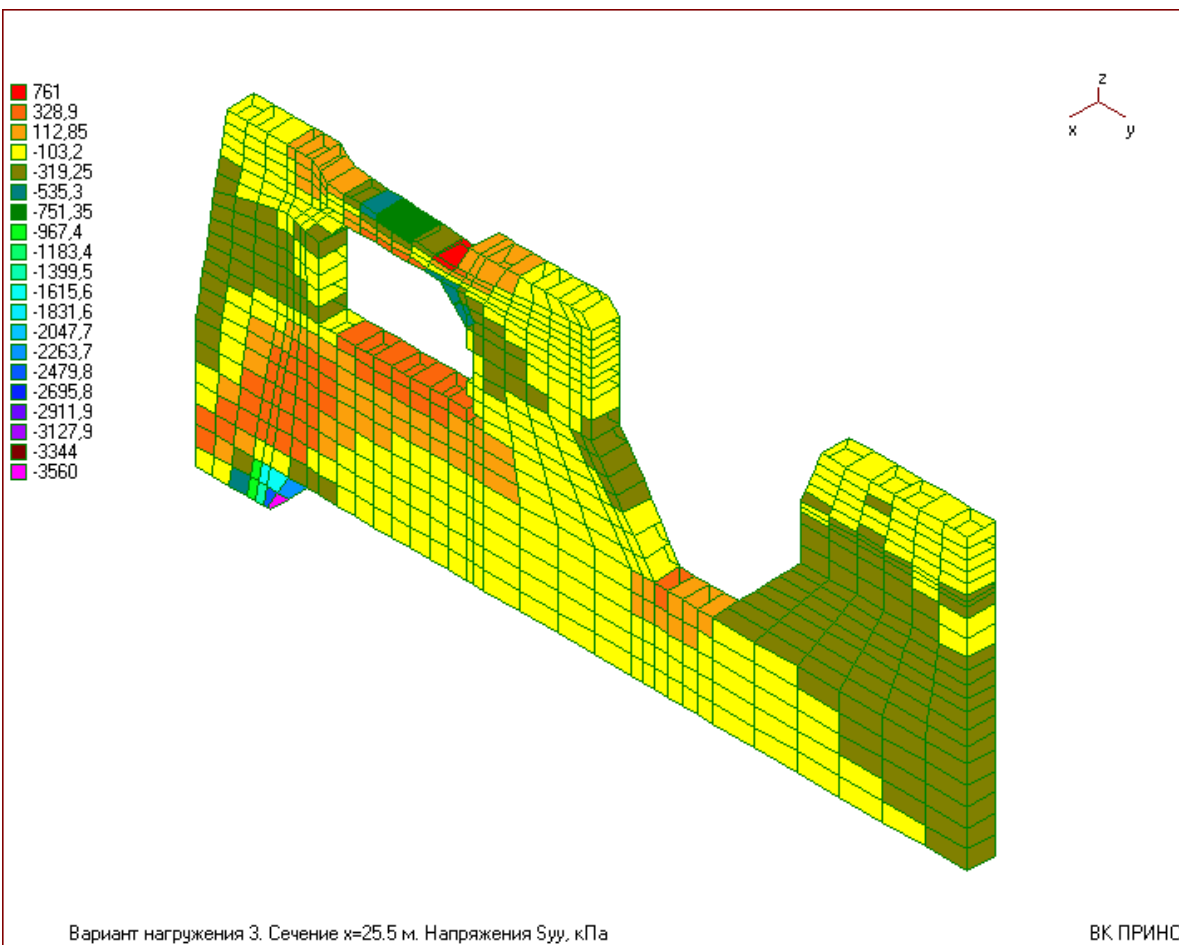
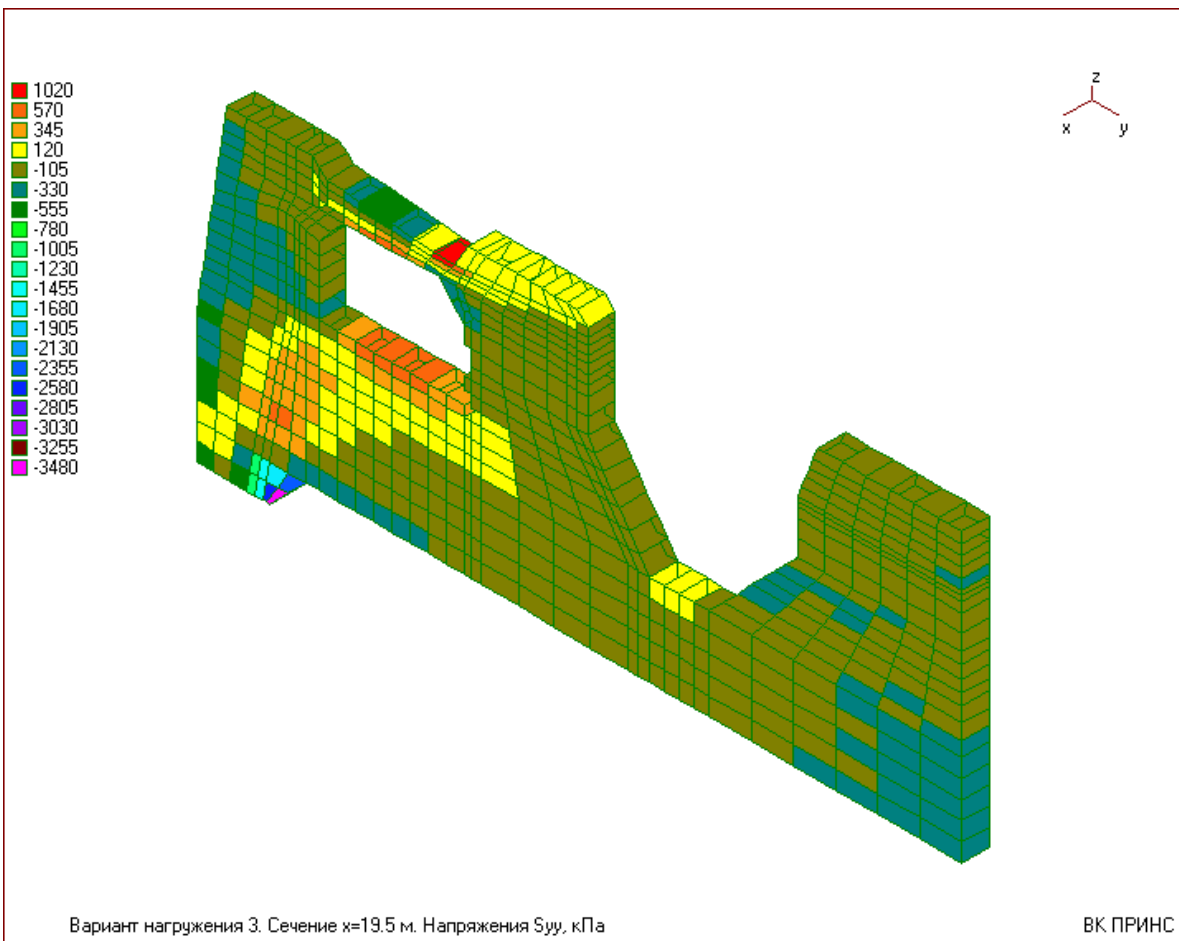


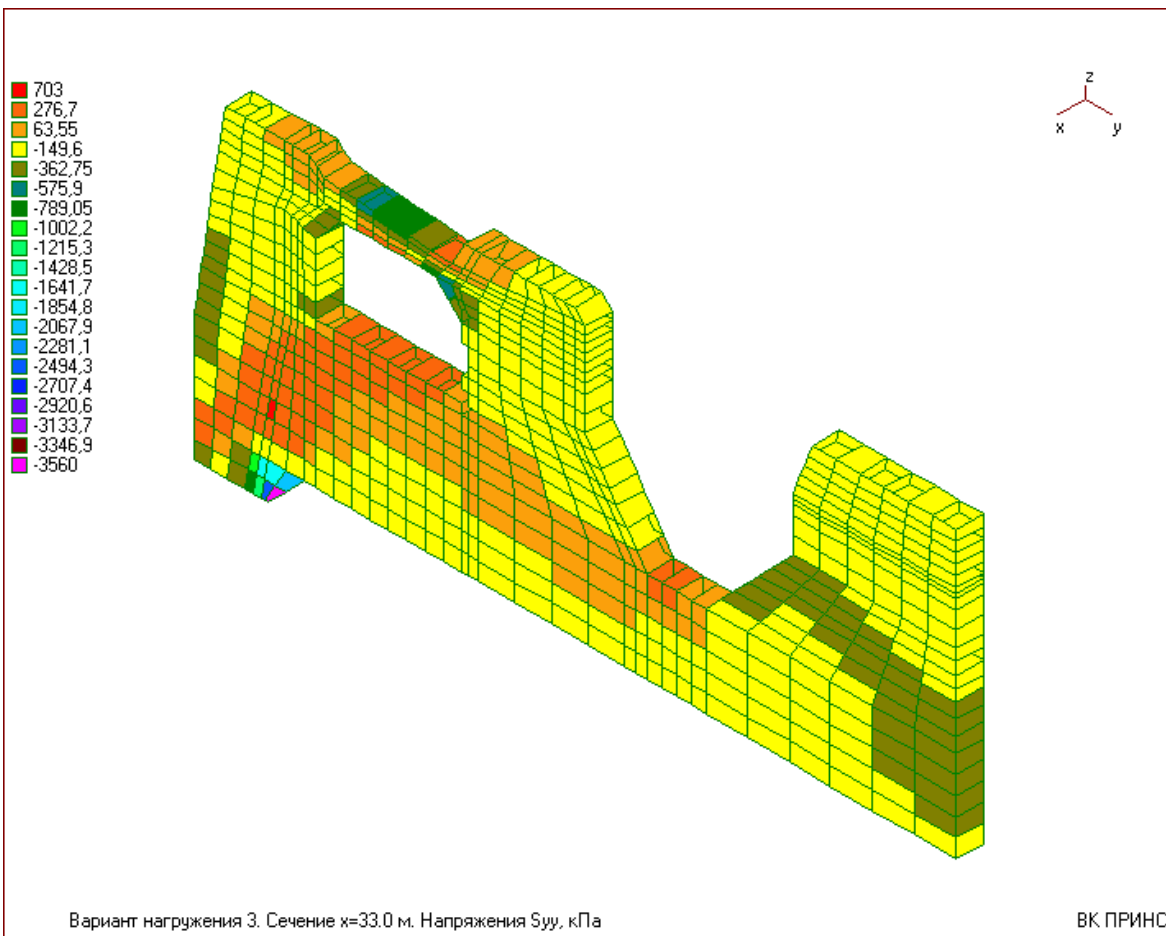
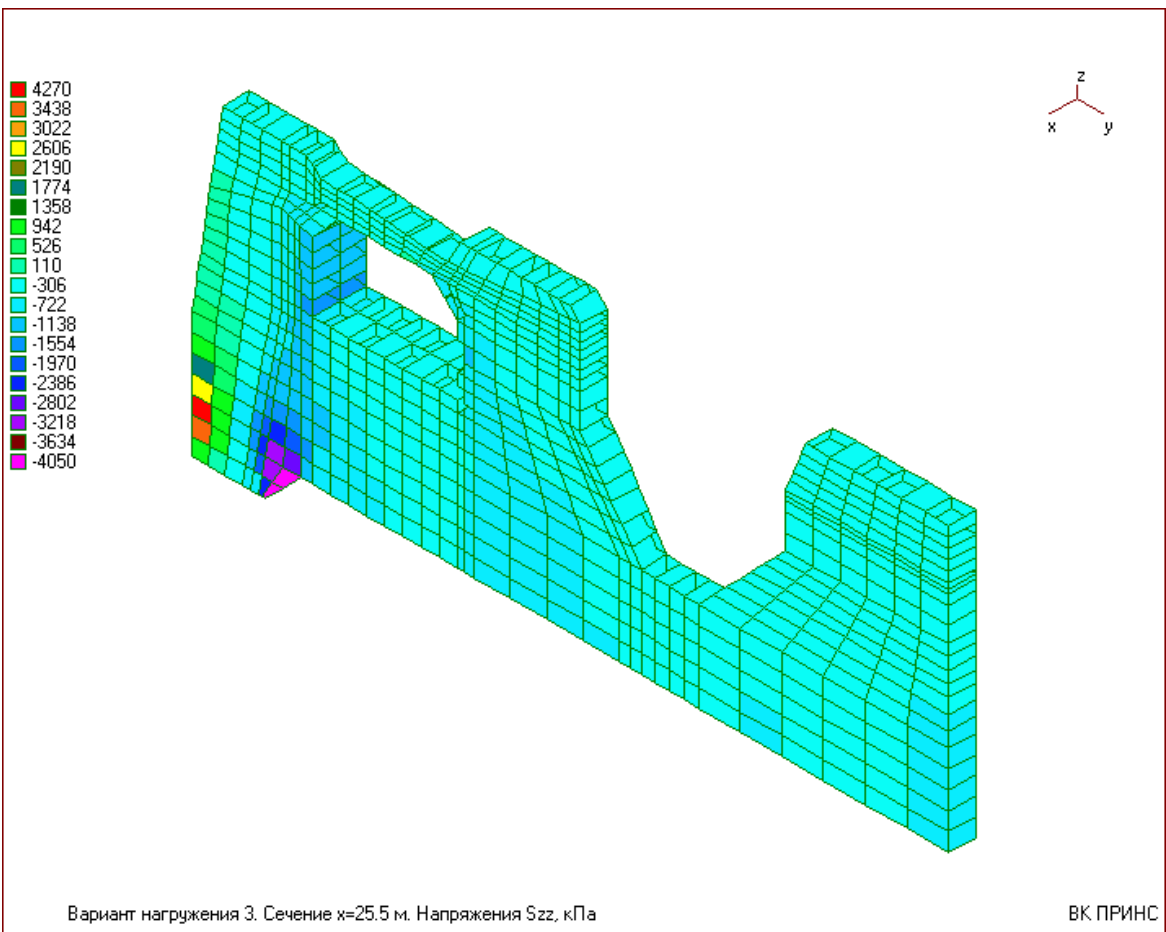


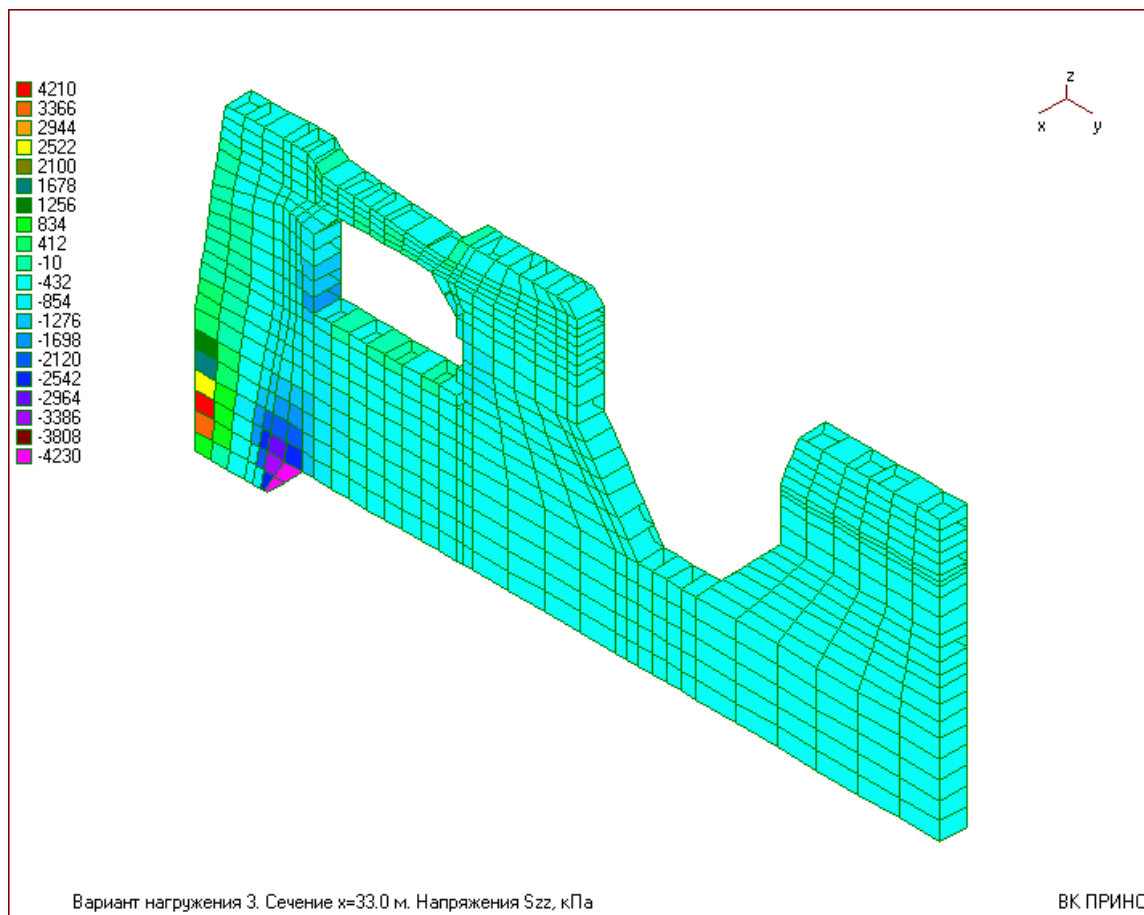












Анализ результатов расчета

Анализ результатов расчета показывает, что во всех трех вариантах нагружения распределение напряжений мало зависит от координаты x . Кроме того, в окрестности потерны имеют место значительные градиенты напряжений, причем наибольшие градиенты наблюдаются во входящих углах и по толщине перемычки потерны. В принятой пространственной расчетной схеме перемычка разбита по толщине на 4 элемента при постоянстве напряжений в каждом из них. Такую дискретизацию следует признать недостаточной для исследования местных напряжений.

Из изложенного вытекает, что необходимо уточнение местного напряженного состояния, и что уточненный расчет может быть выполнен по

схеме плоской деформации.

Исследование местных напряжений

Для исследования местных напряжений используем плоскую расчетную схему, показанную на рис.14.

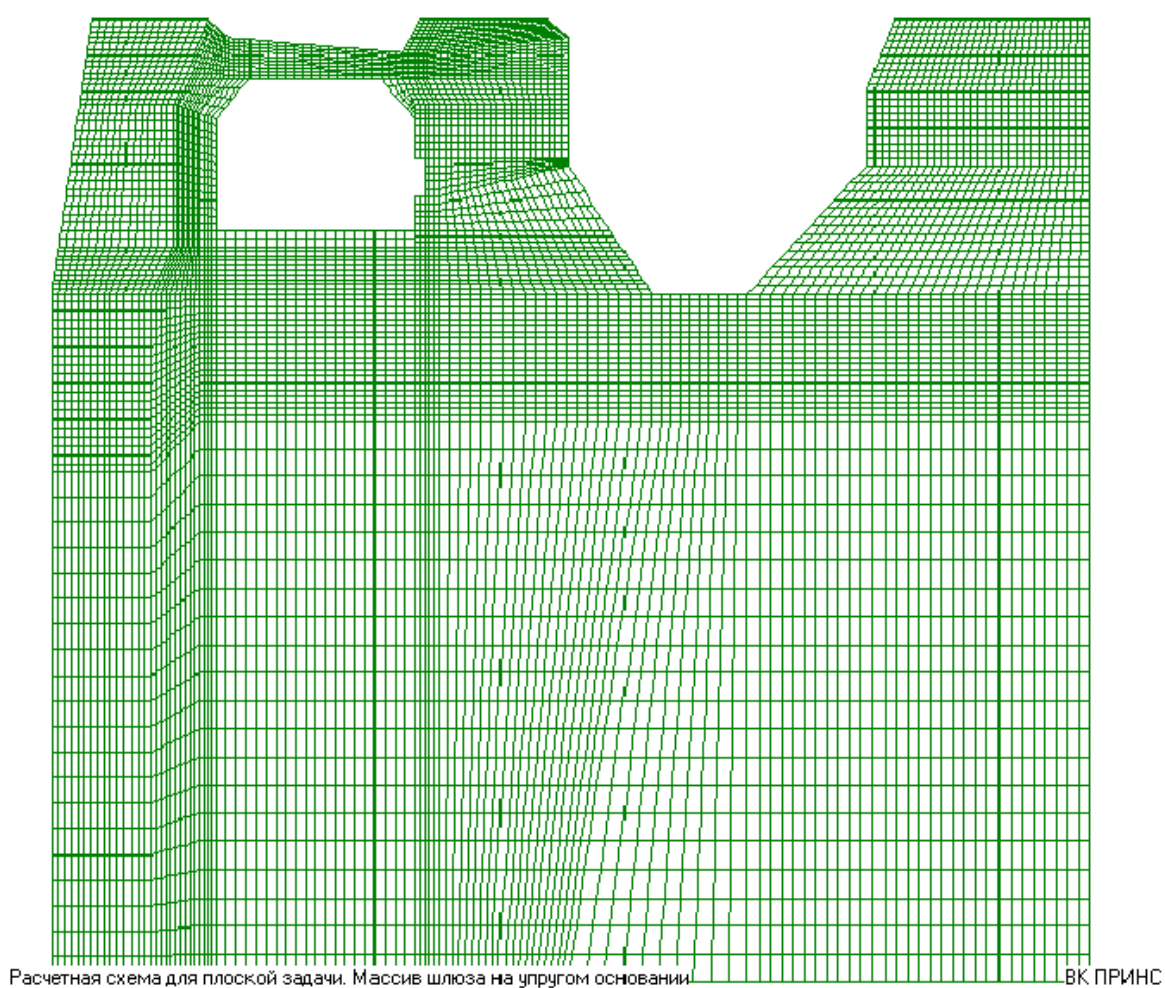
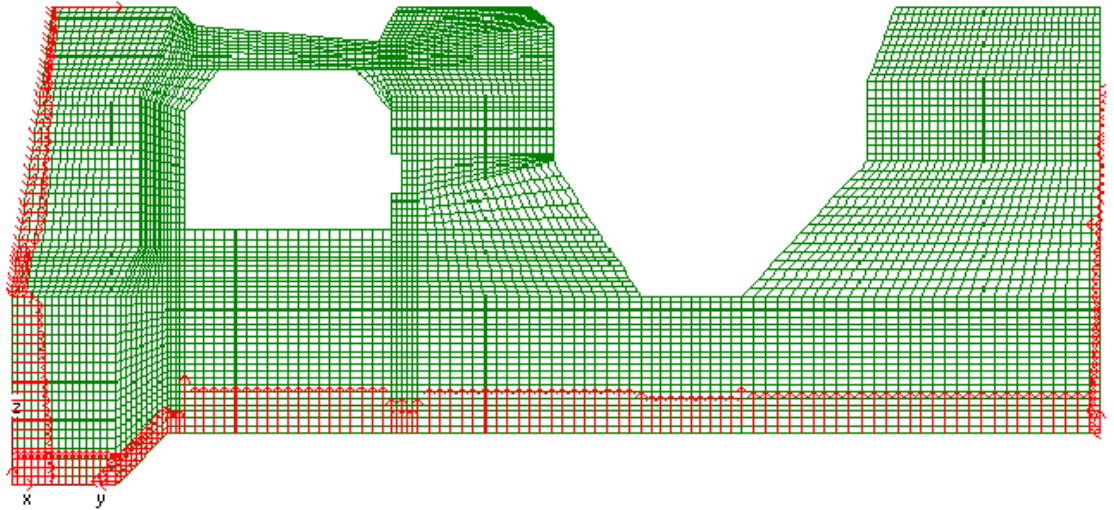


Рис.14

Ниже приводятся результаты решения плоской задачи для трех вариантов нагружения.

Вариант 1. Нагрузка для первого варианта расчета показана на рис.15.

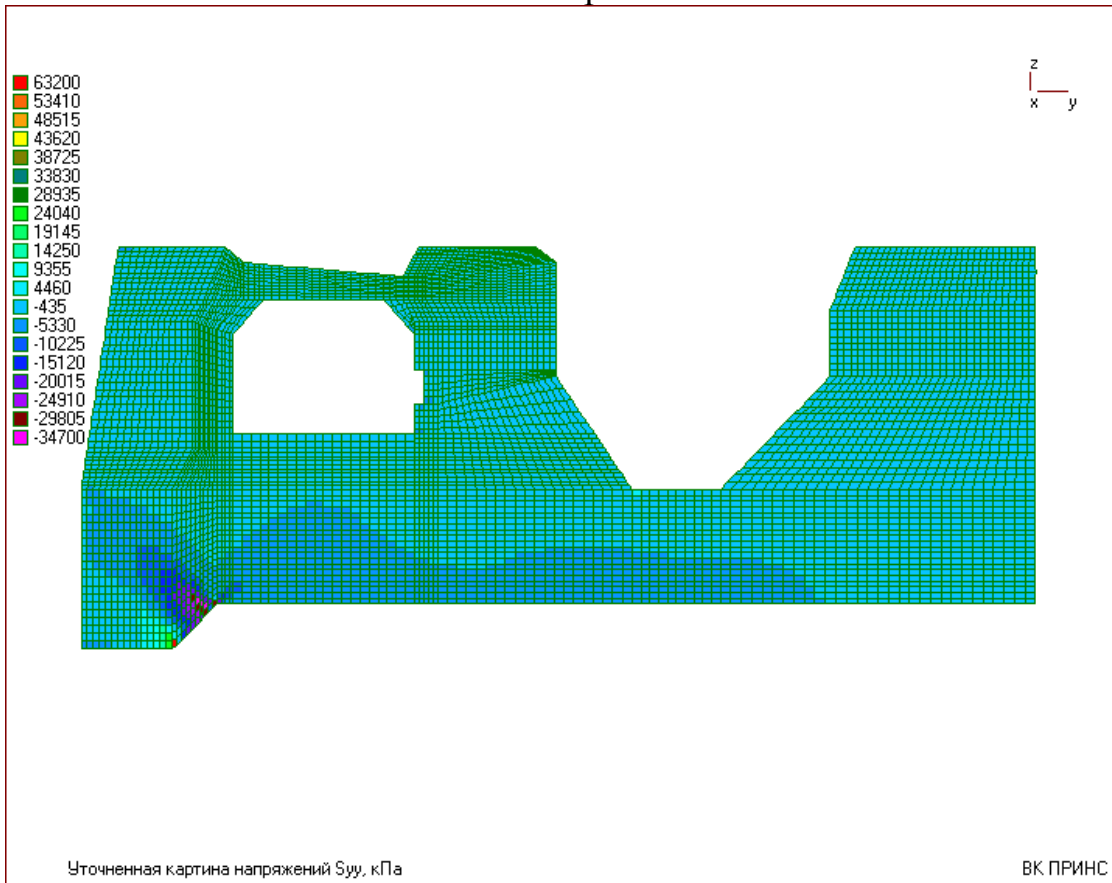


Вариант нагружения 1. Приведенные узловые силы

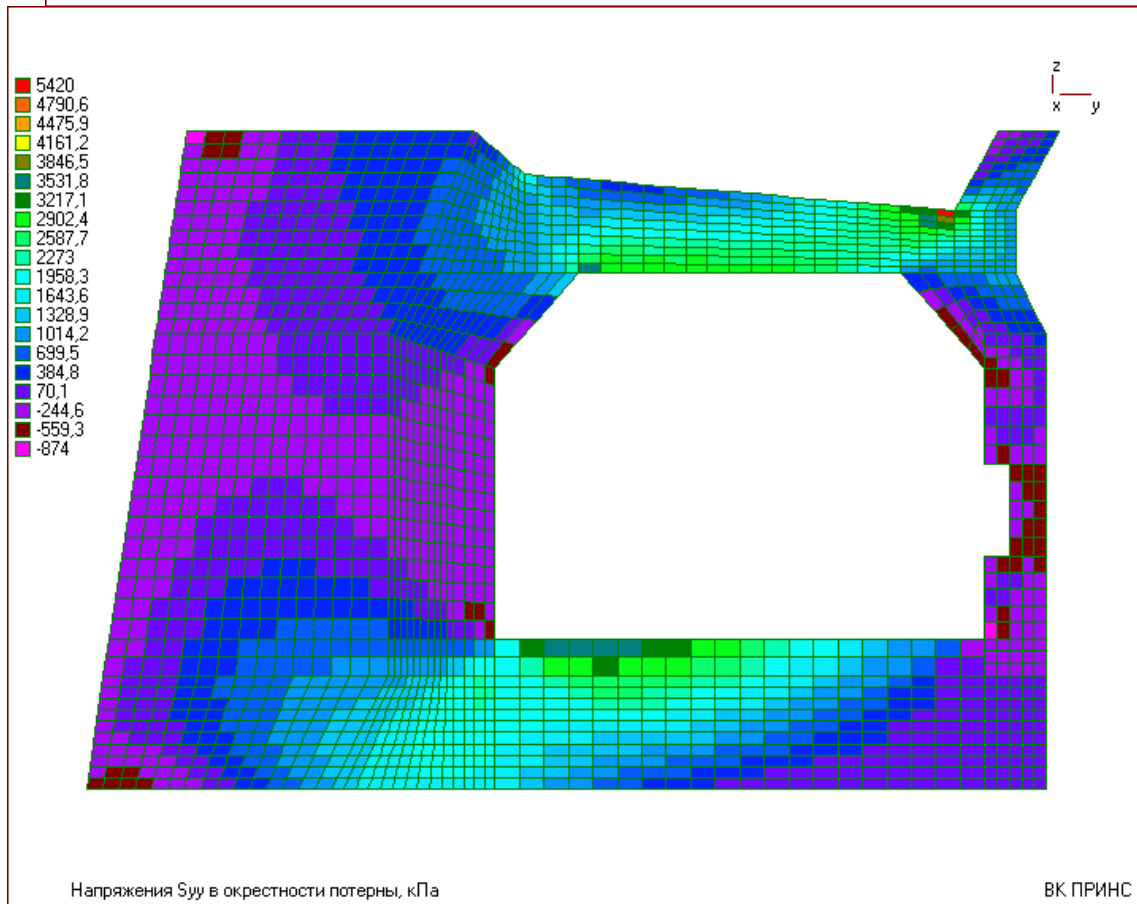
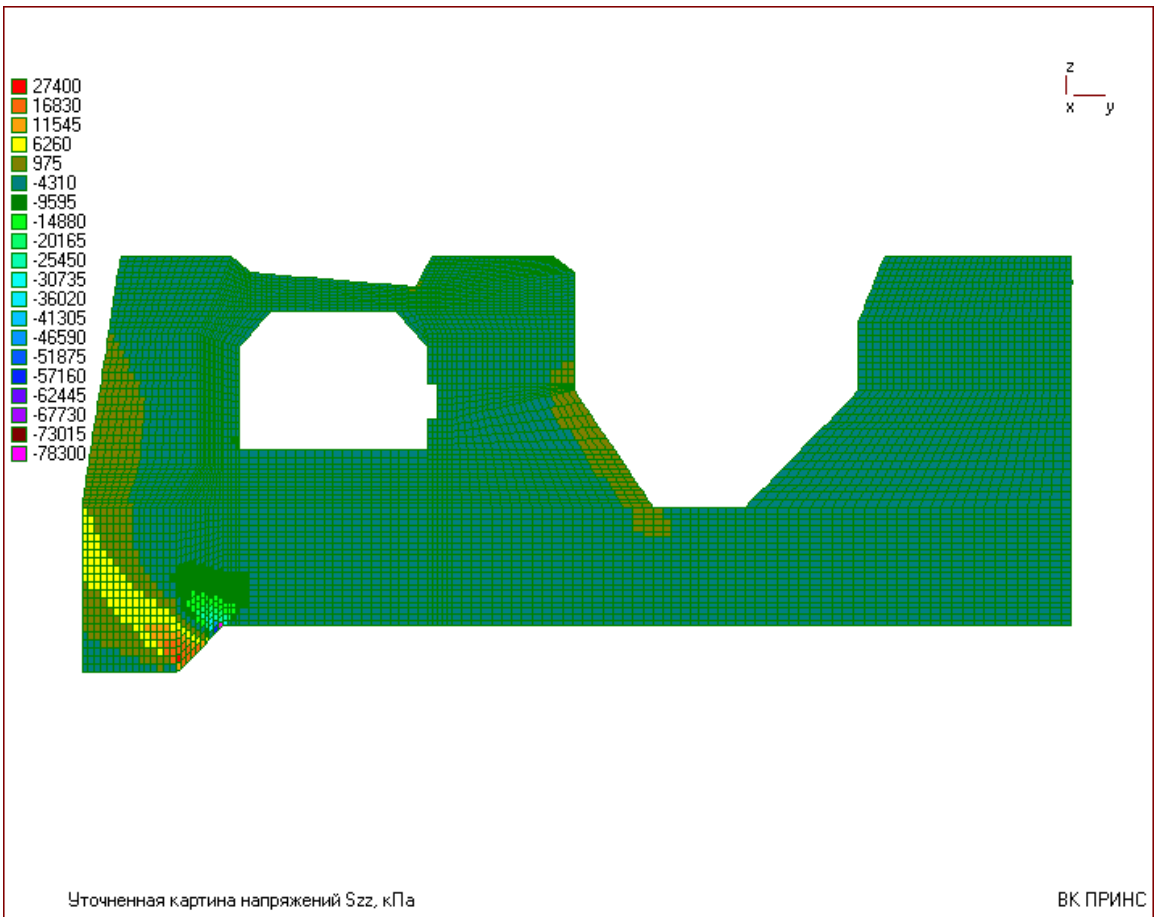
ВК ПРИНС

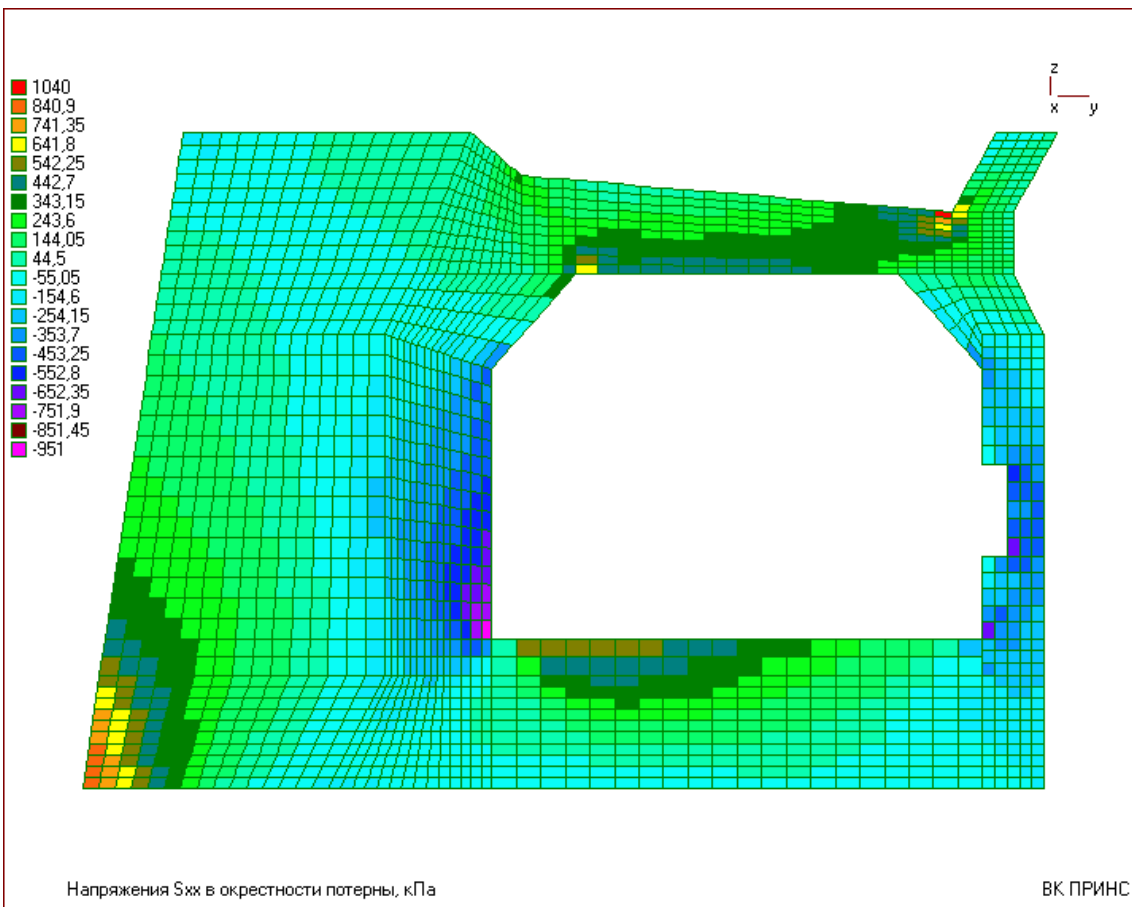
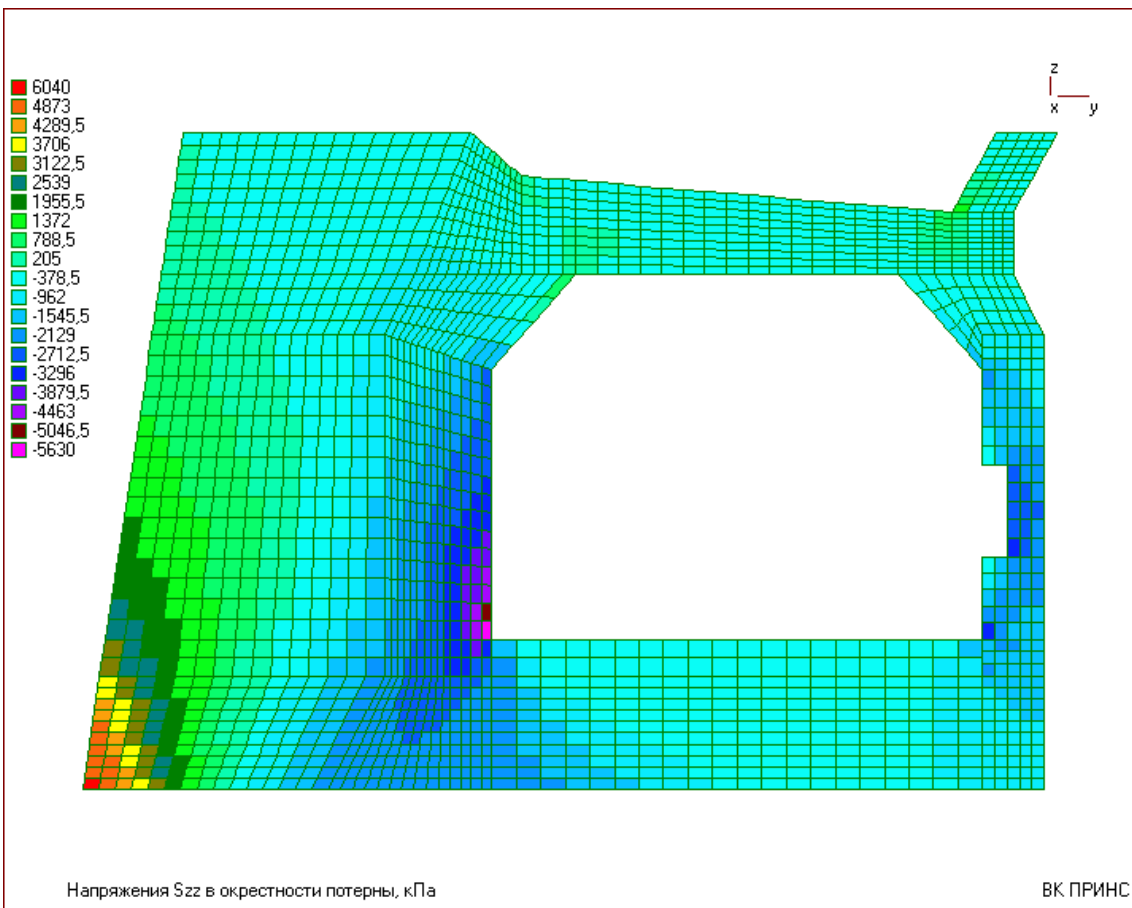
Рис.15

Уточненные значения напряжений по сечению $x=33$ м:

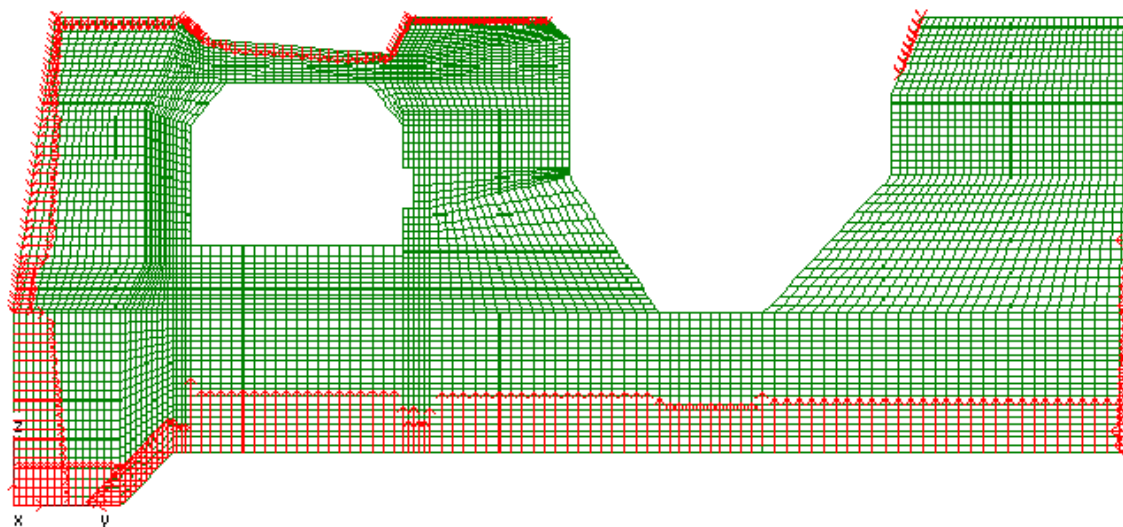


ВК ПРИНС





Вариант 2. Нагрузка для второго варианта в виде сил, приведенных к узлам, показана на рис.16.

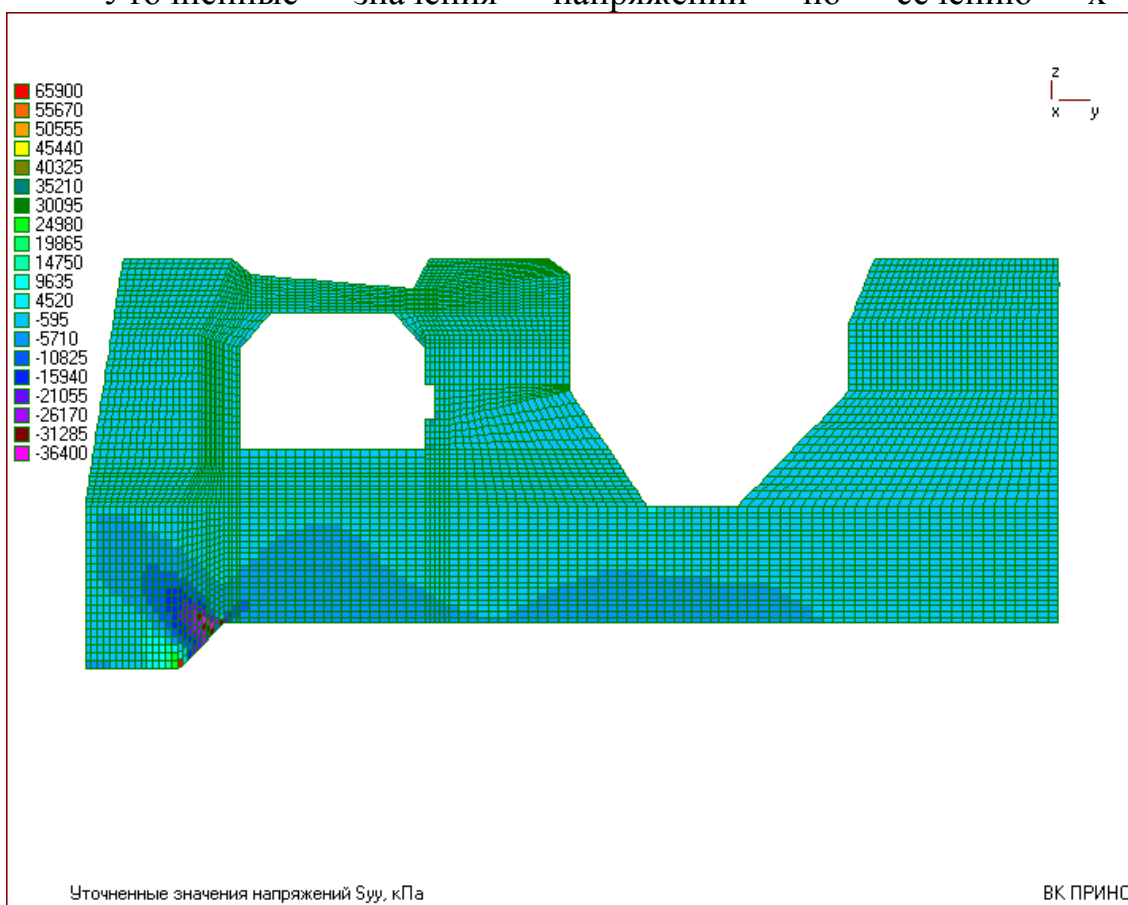


Нагрузки, приведенные к узлам

ВК ПРИНС

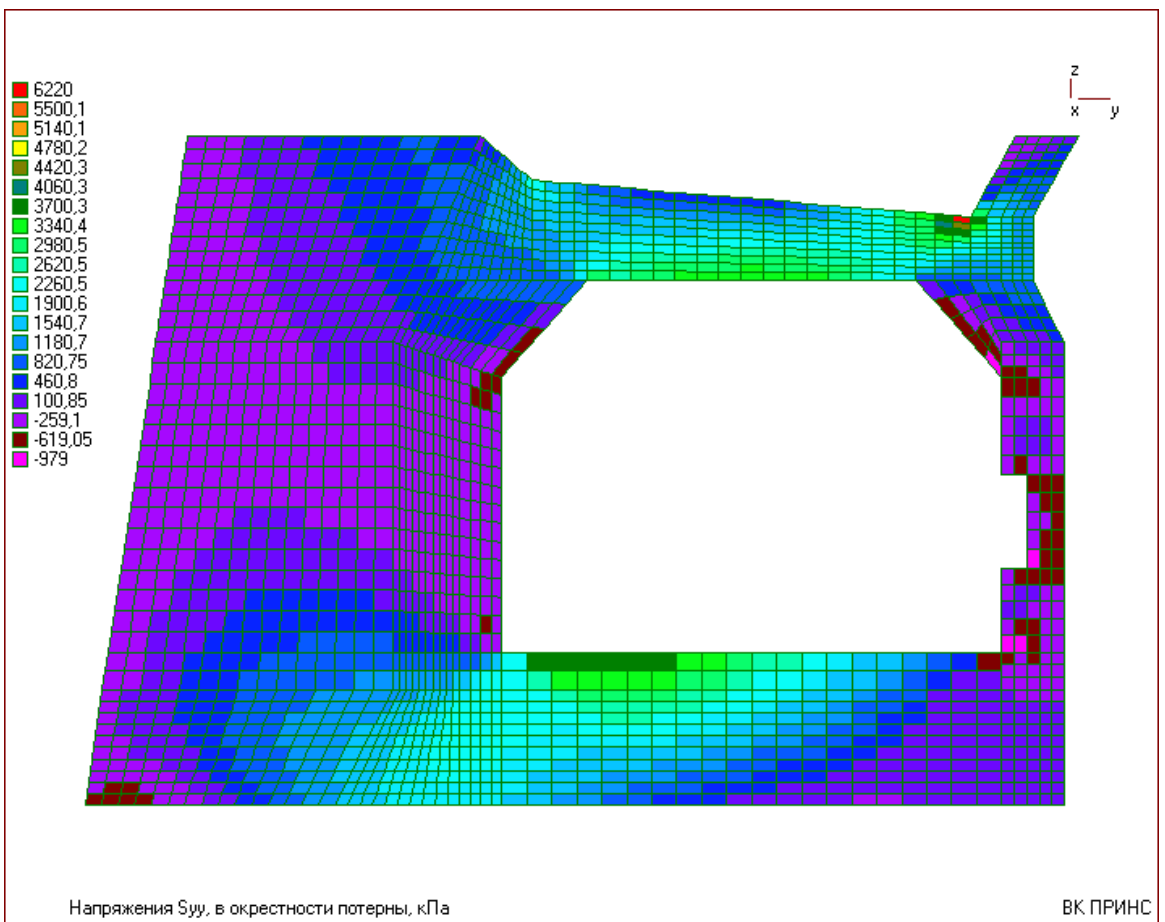
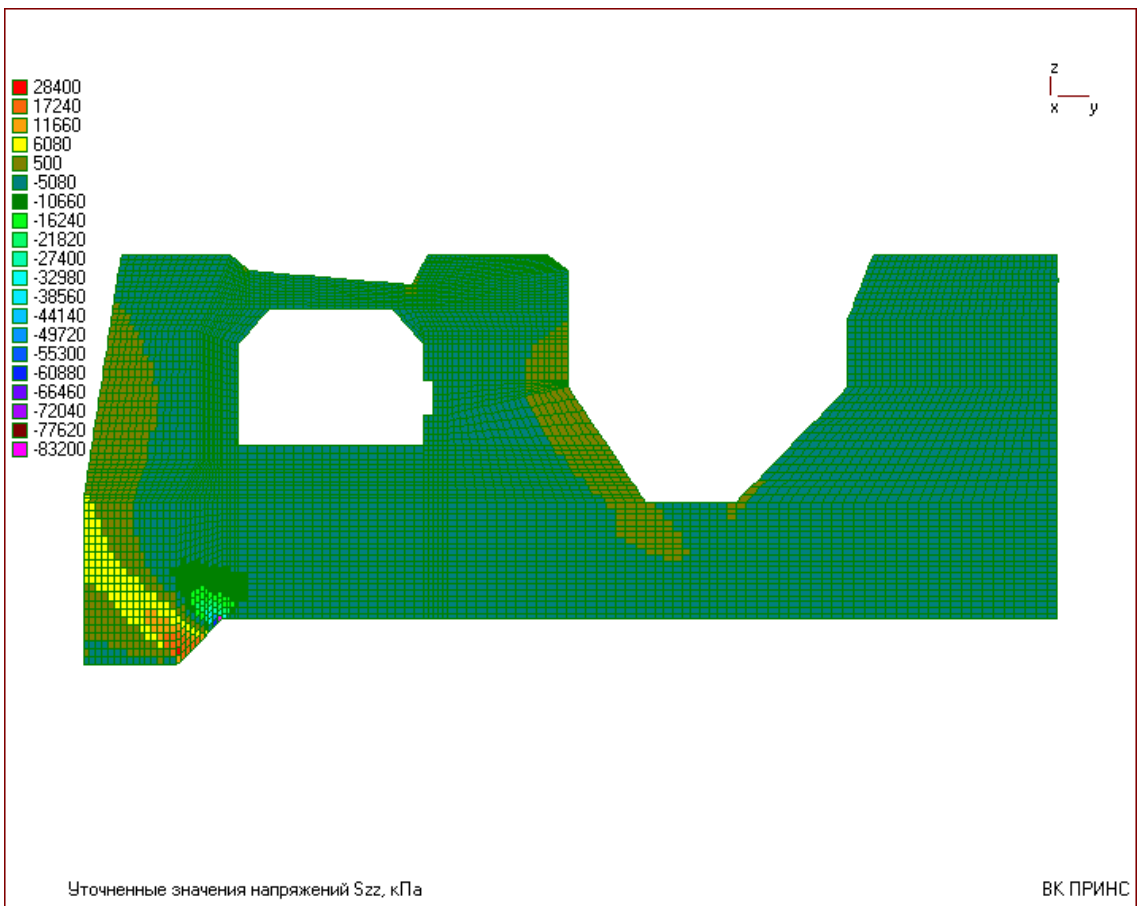
Рис.16

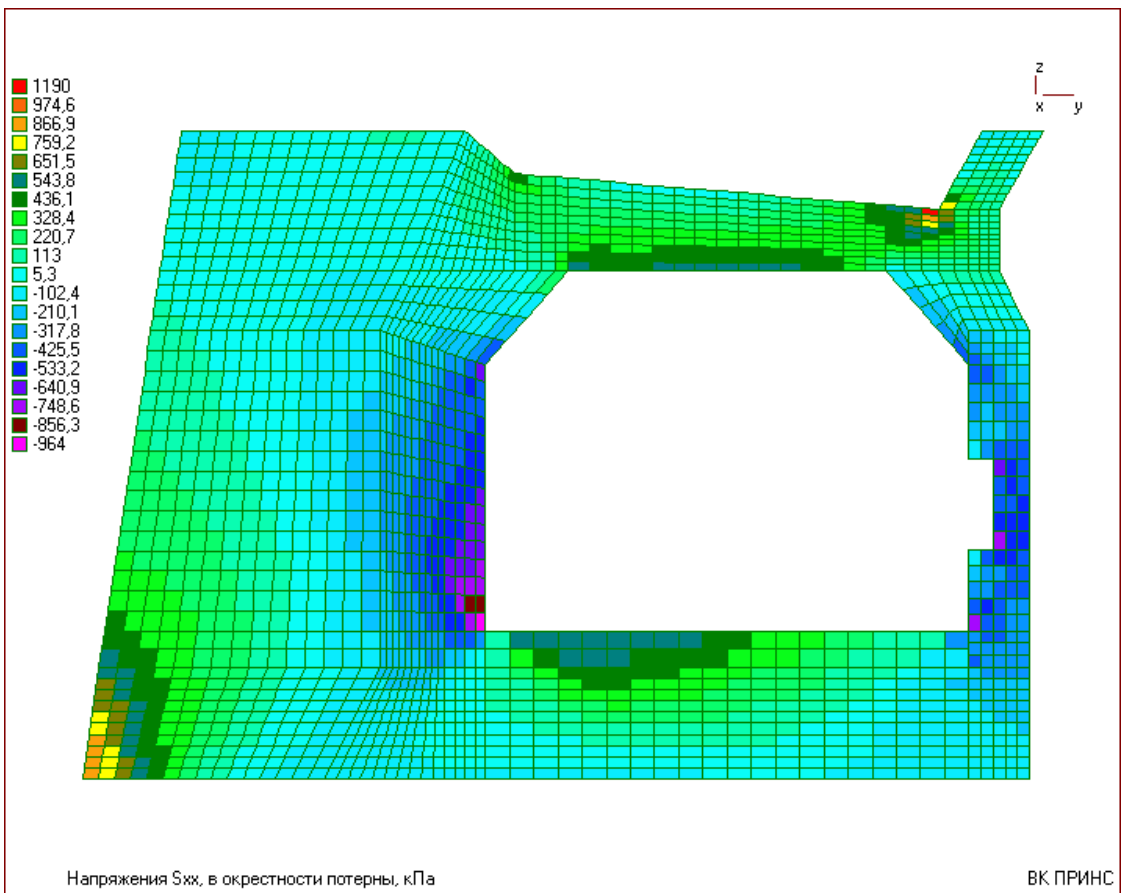
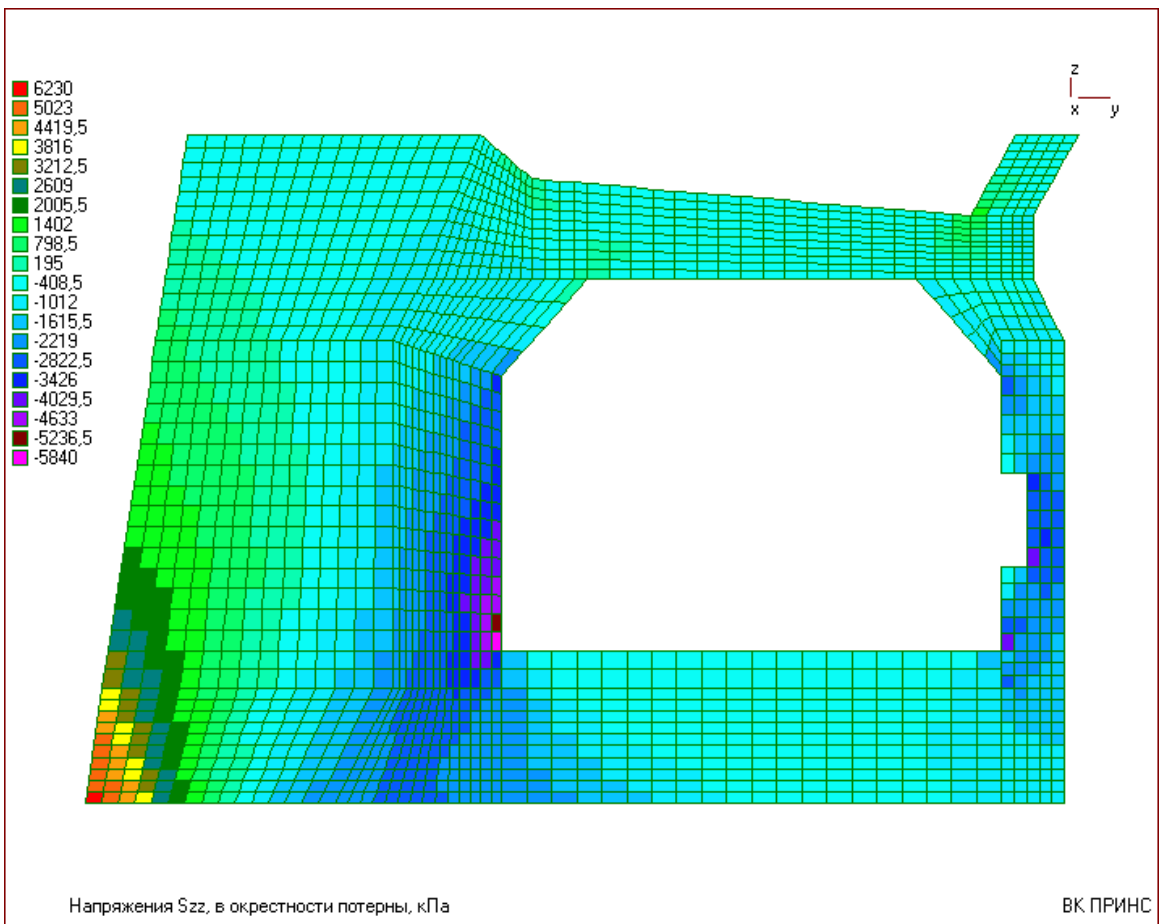
Уточненные значения напряжений по сечению $x=33$ м:



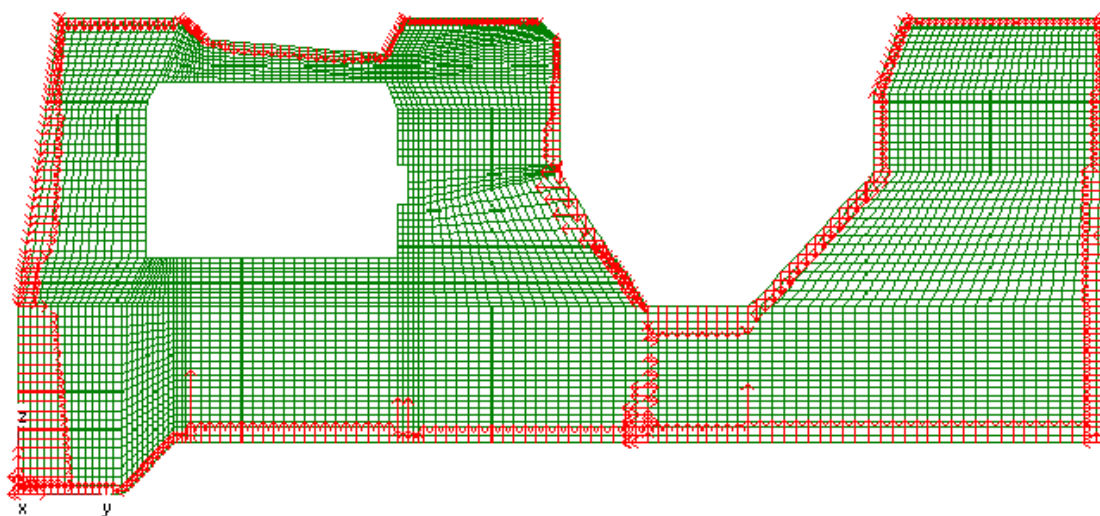
Уточненные значения напряжений S_{yy} , кПа

ВК ПРИНС





Вариант 3. Нагрузка для третьего варианта в виде сил, приведенных к узлам, показана на рис. 17.

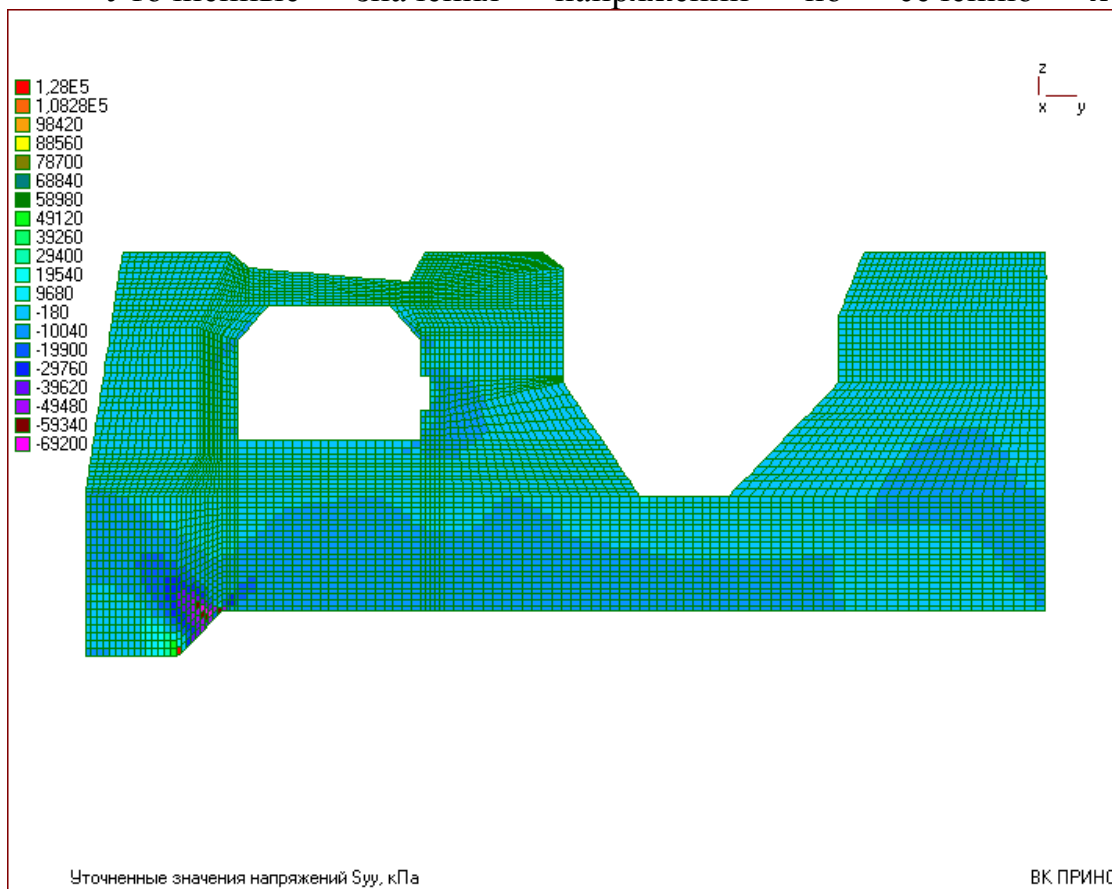


Вариант нагружения 3. Приведенные узловые силы

ВК ПРИНС

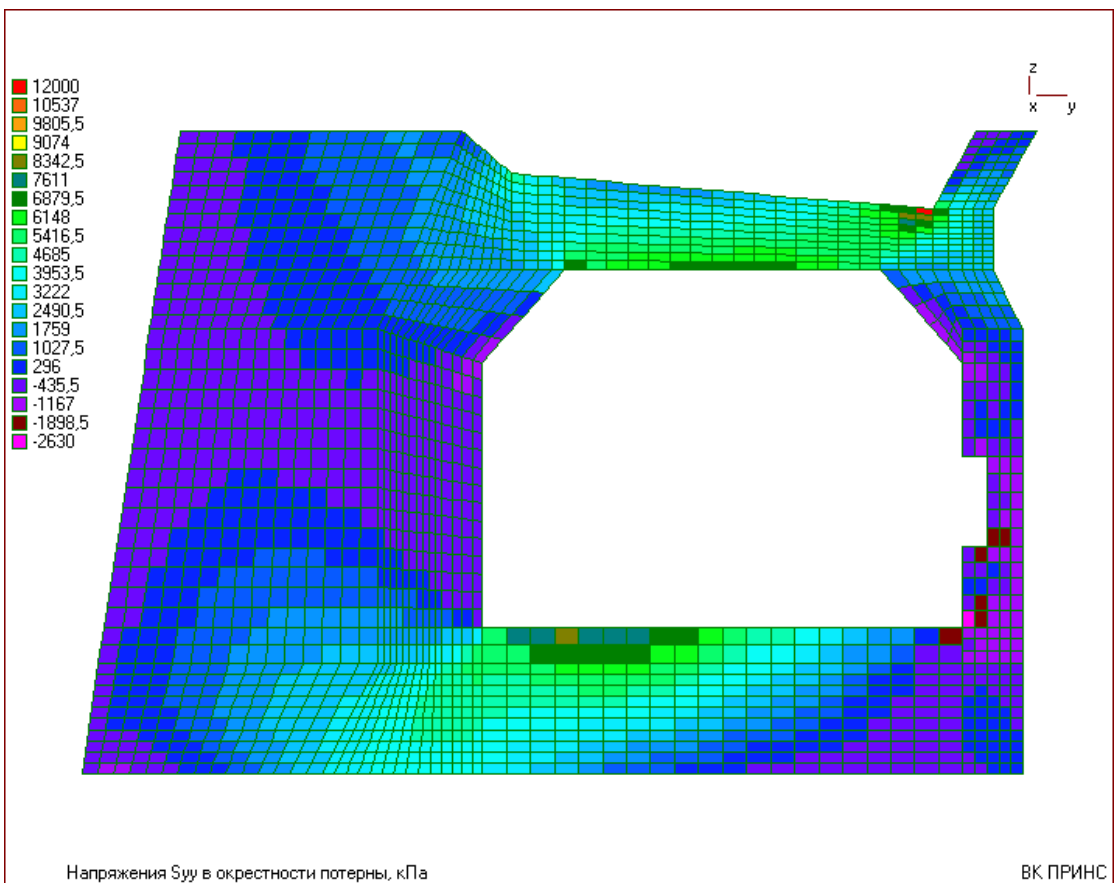
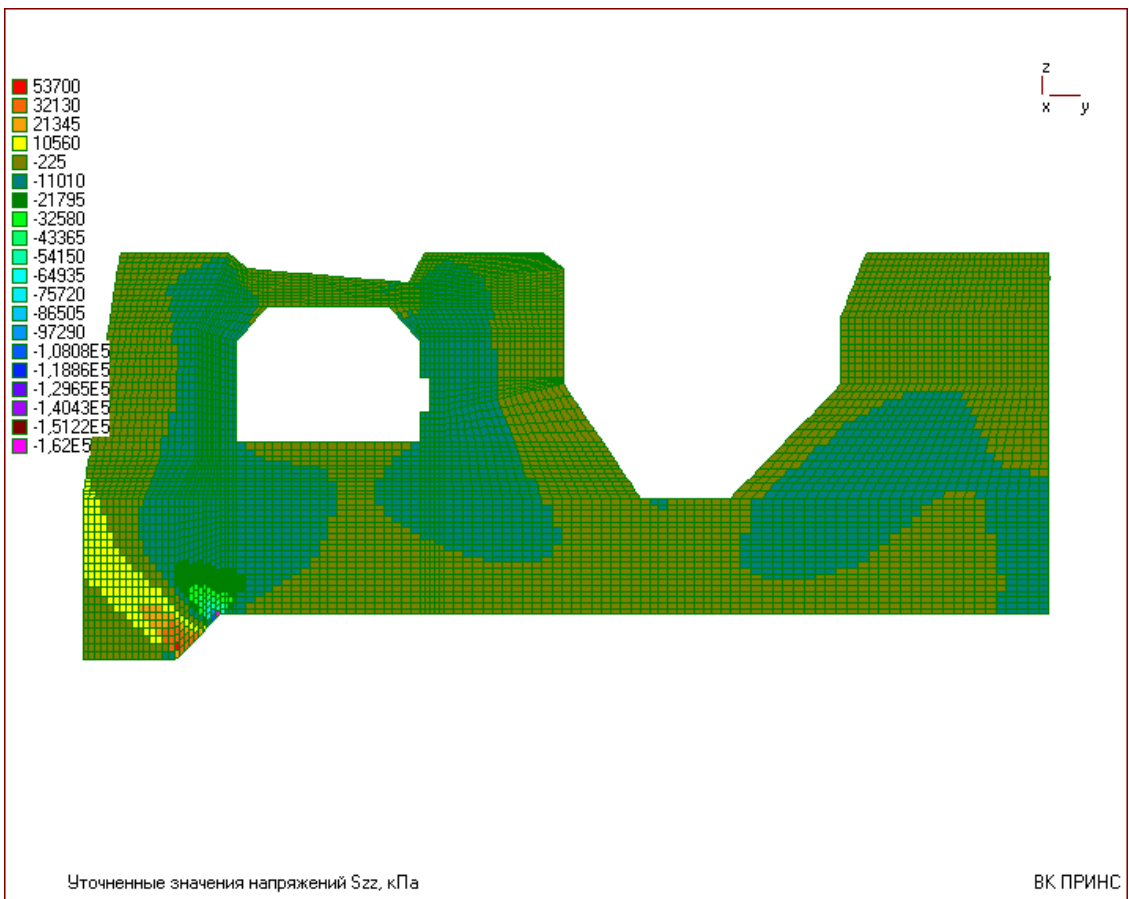
Рис.17

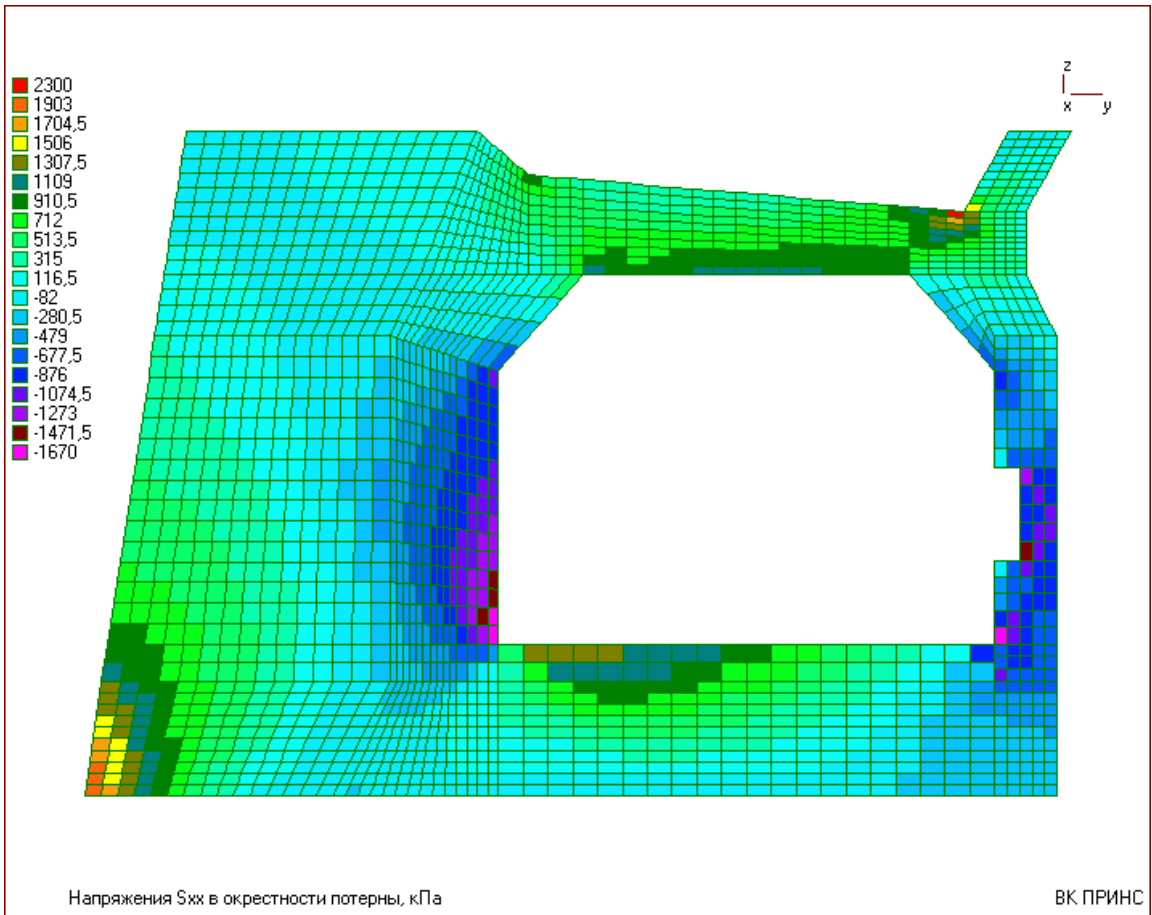
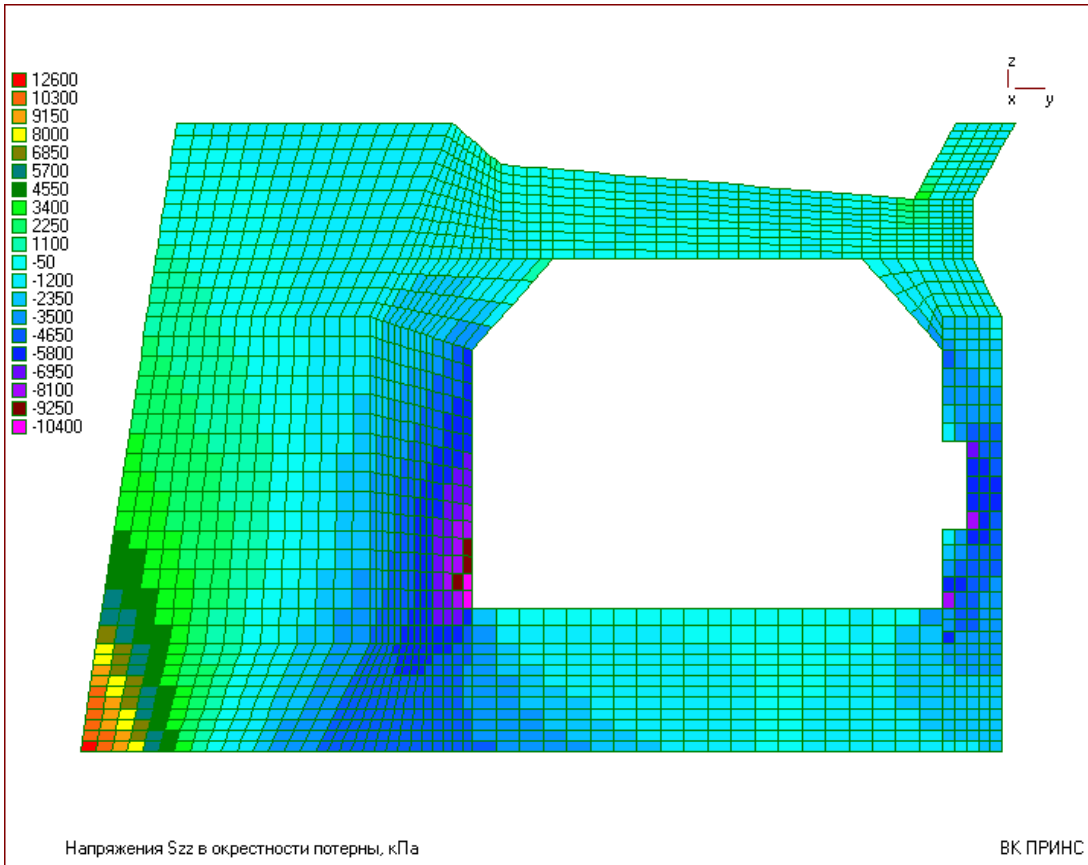
Уточненные значения напряжений по сечению $x=33$ м:



Уточненные значения напряжений S_{yy} , кПа

ВК ПРИНС





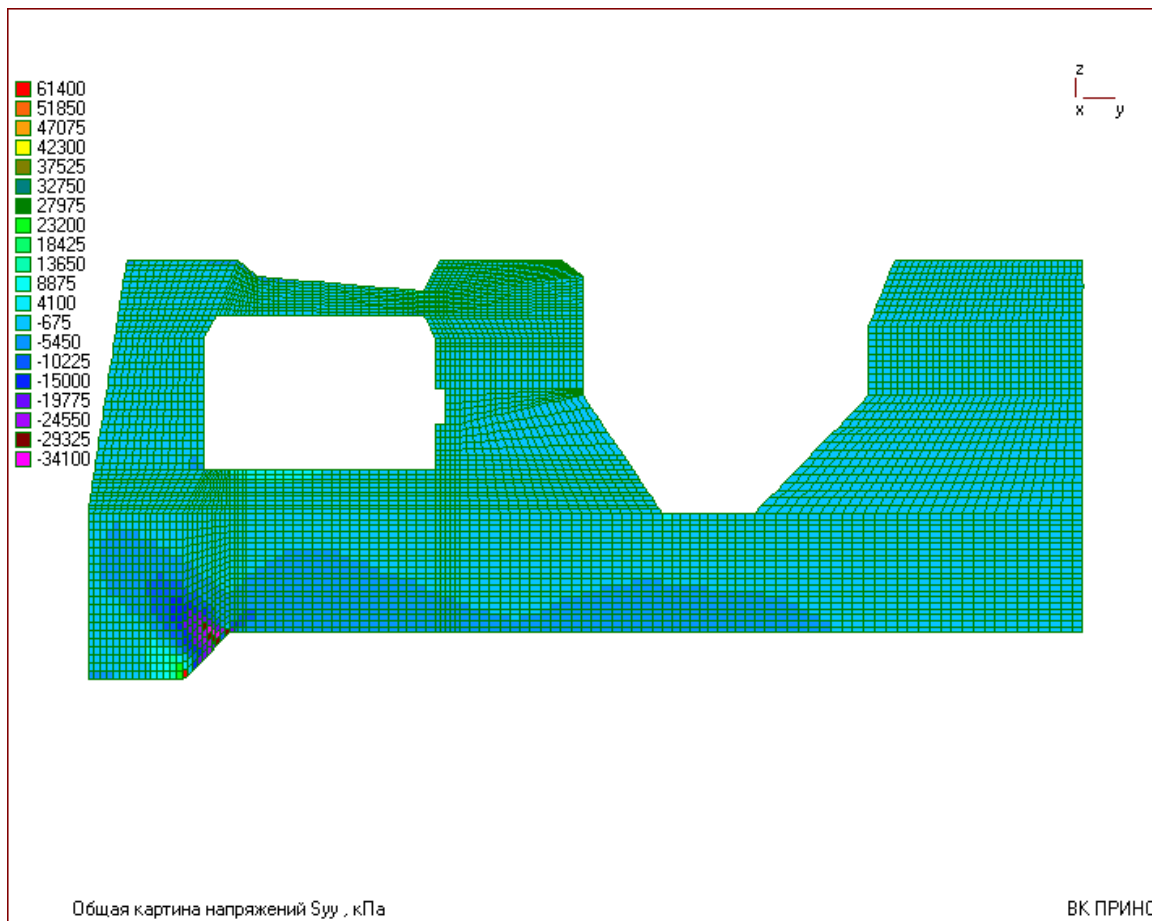
Выводы:

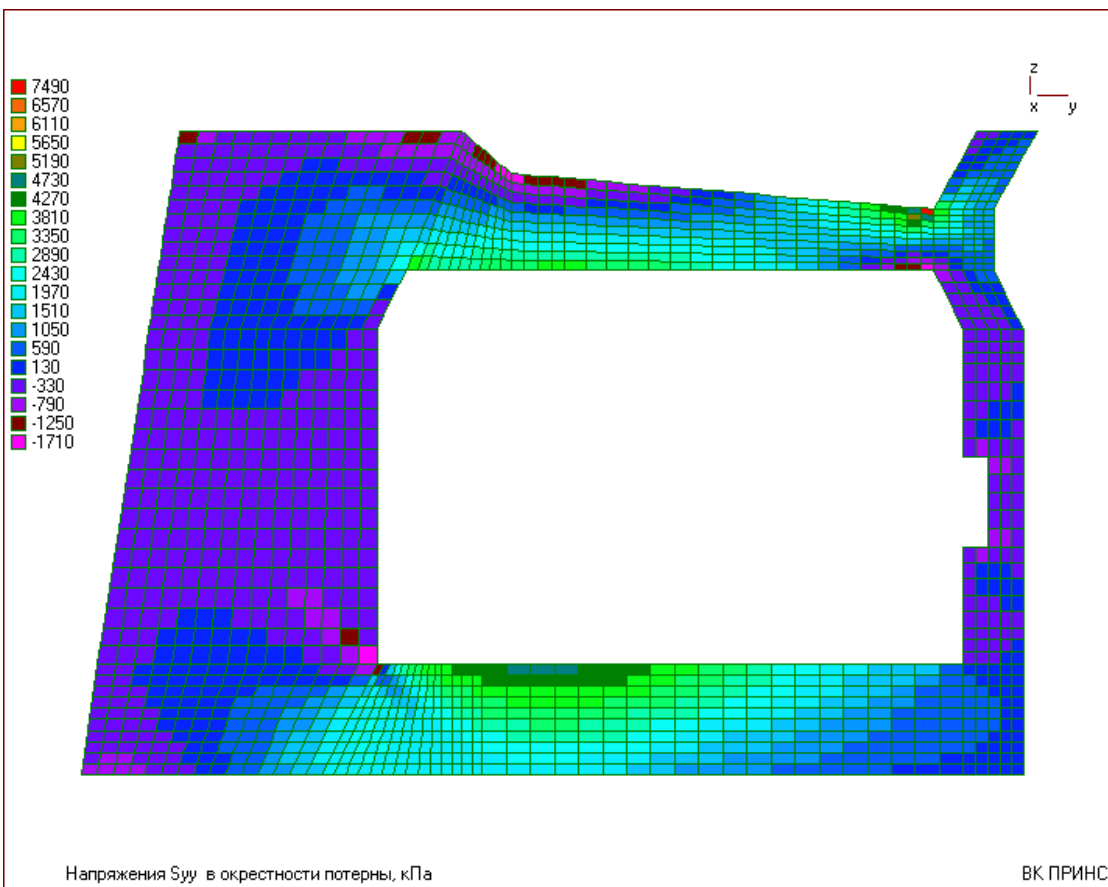
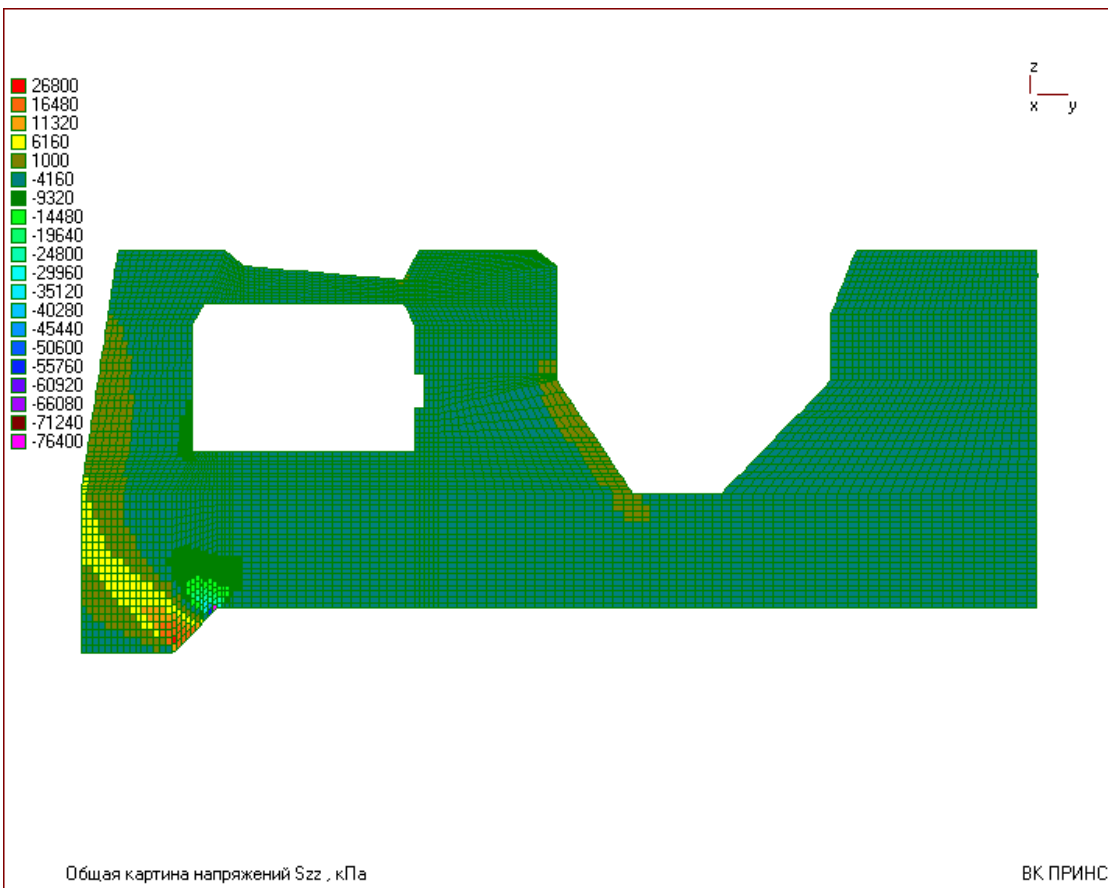
1. В окрестности потерны во всех трех вариантах нагружения выявлена значительная концентрация напряжений при преобладании компоненты σ_y .
2. Наибольшие значения напряжений σ_y на верхней поверхности потерны составляют 25, 29 и 82 кгс/см² для первого, второго и третьего вариантов нагружения, соответственно.
3. Наибольшие значения напряжений σ_y на нижней поверхности потерны составляют 38.4, 44.2 и 83 кгс/см² для первого, второго и третьего вариантов нагружения, соответственно.

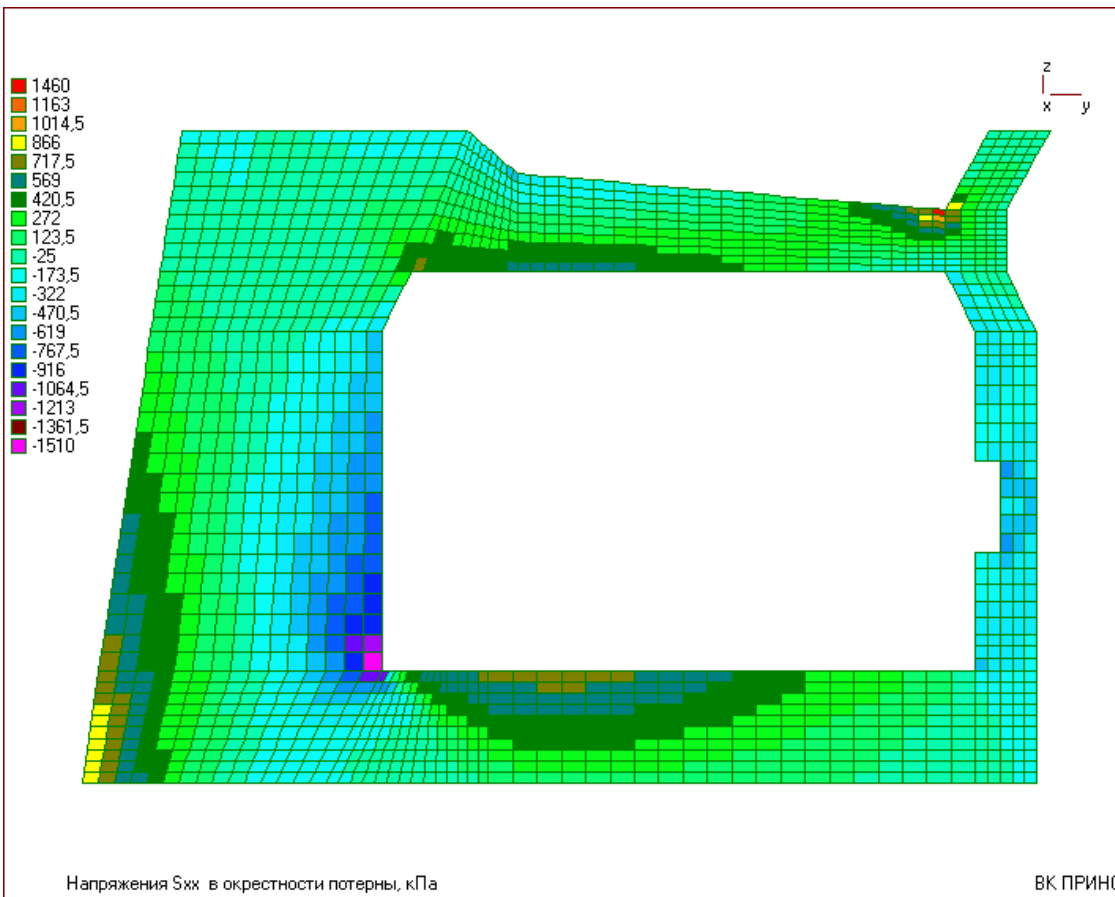
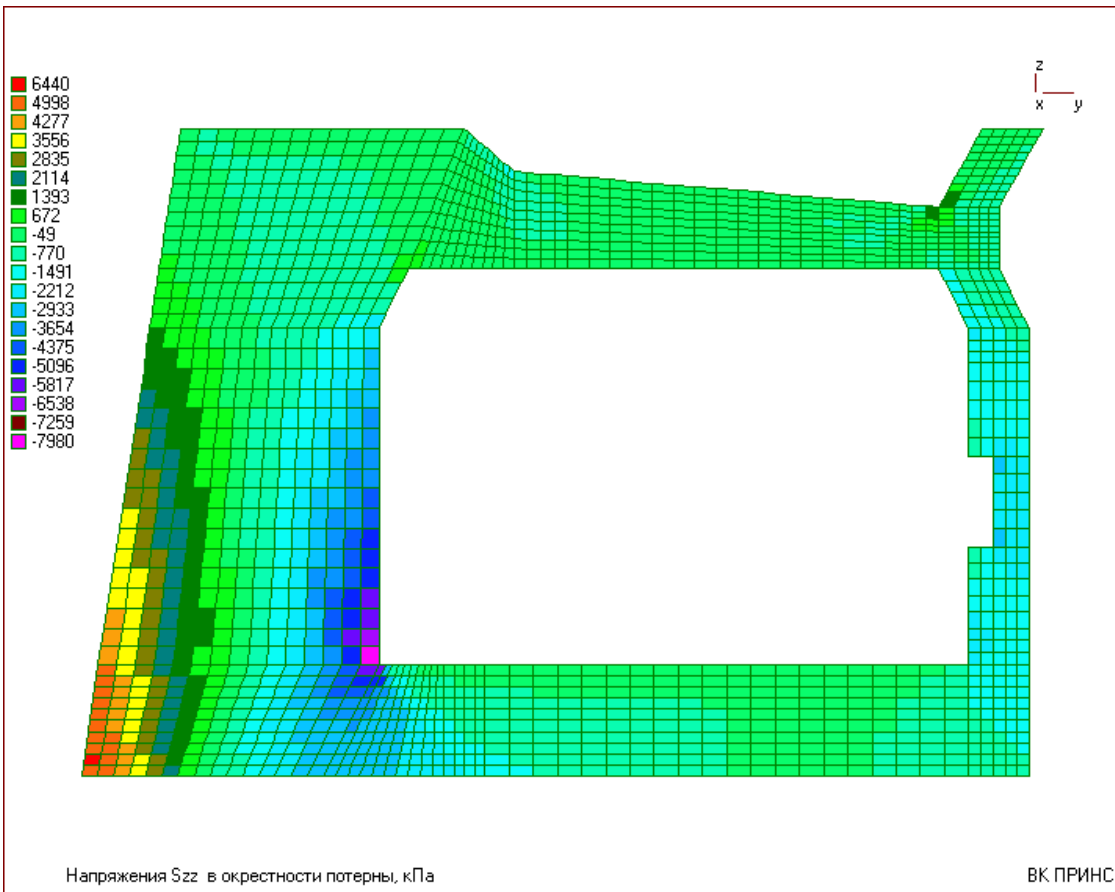
5. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕРНЫ ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

Плоская задача

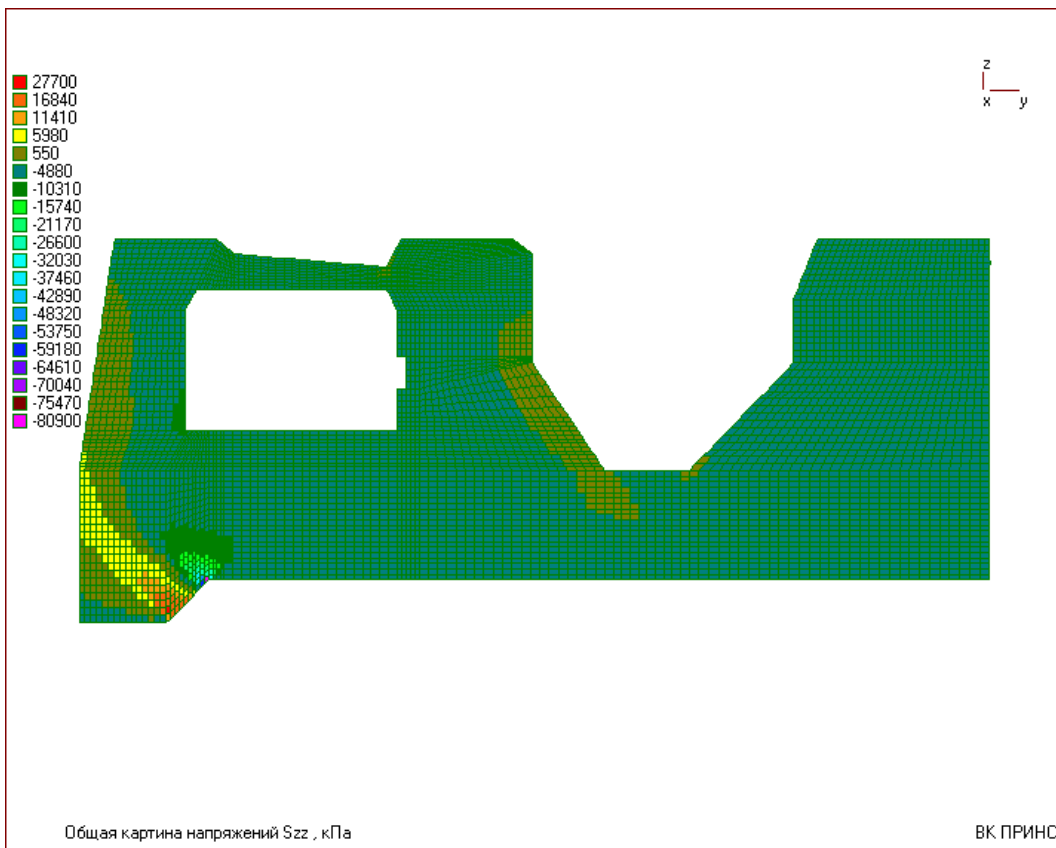
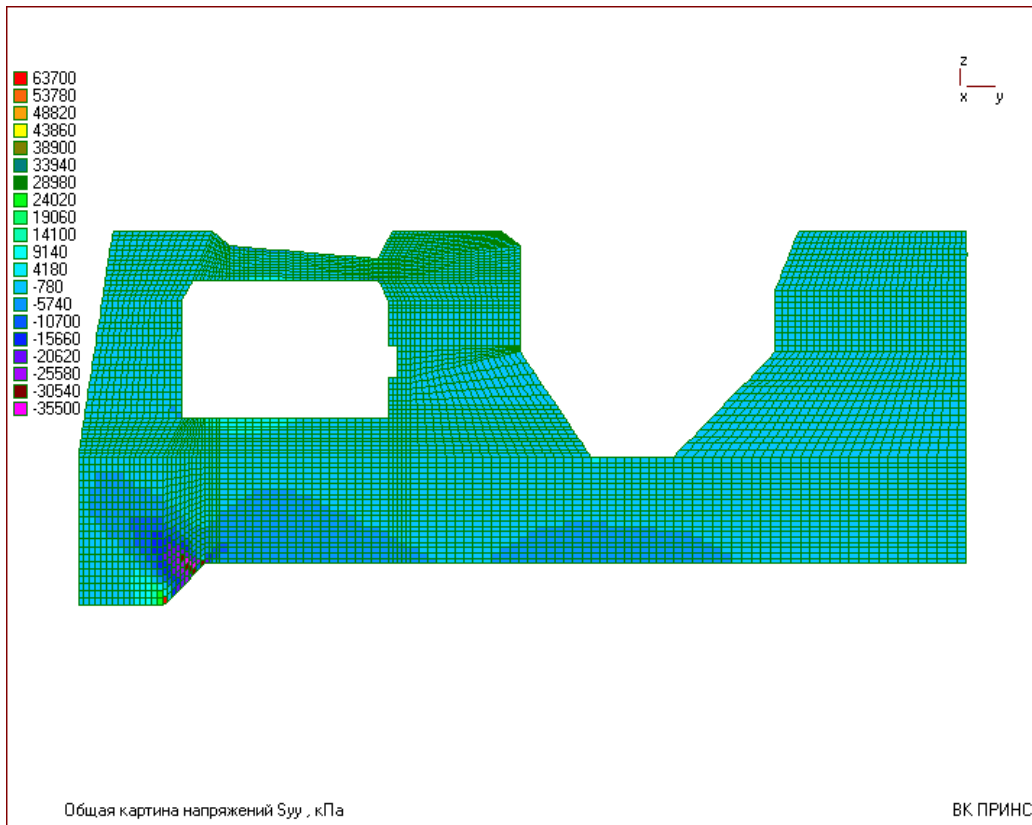
Вариант нагружения 1.

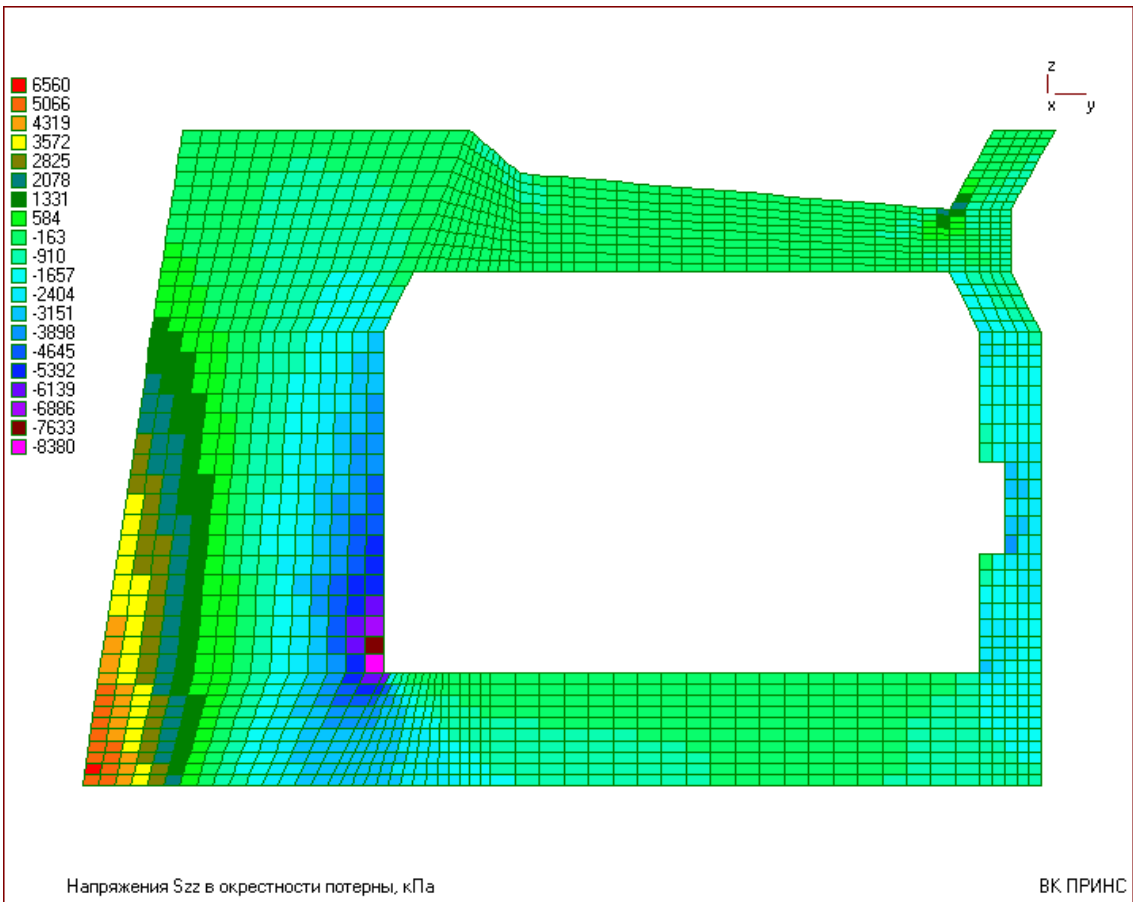
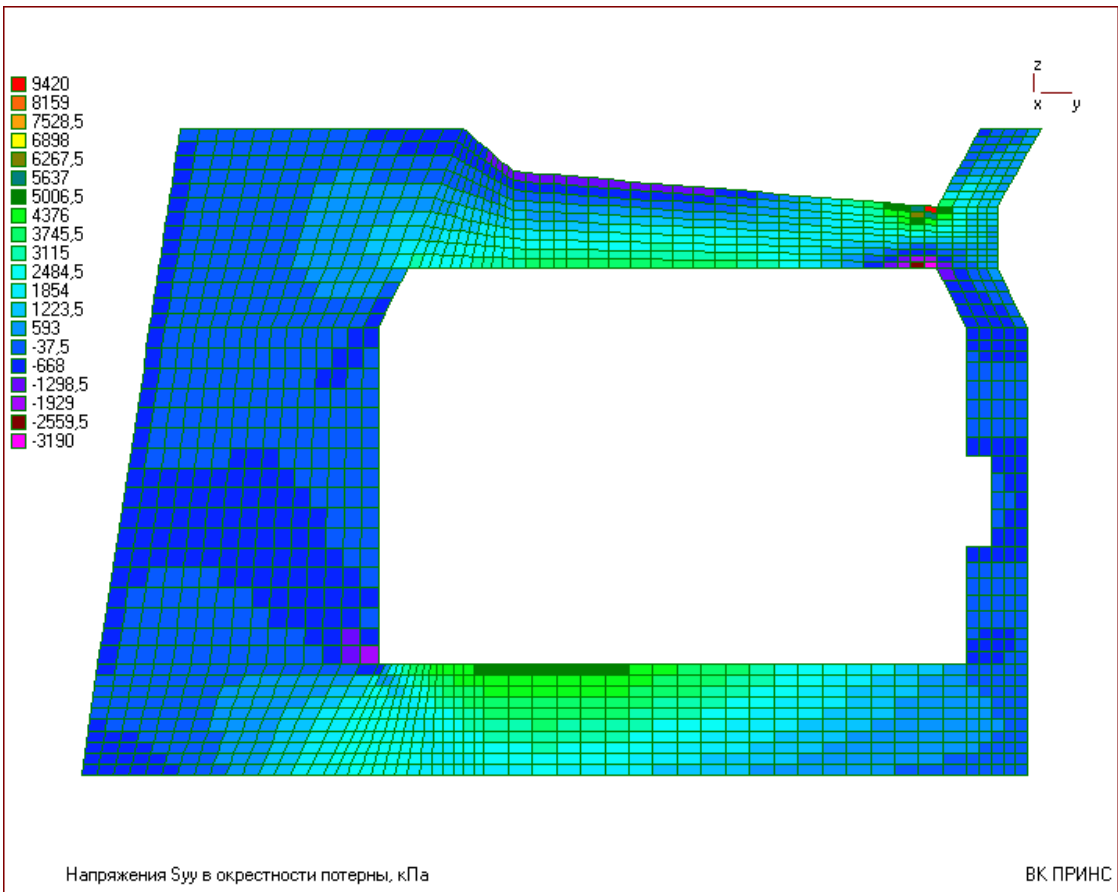


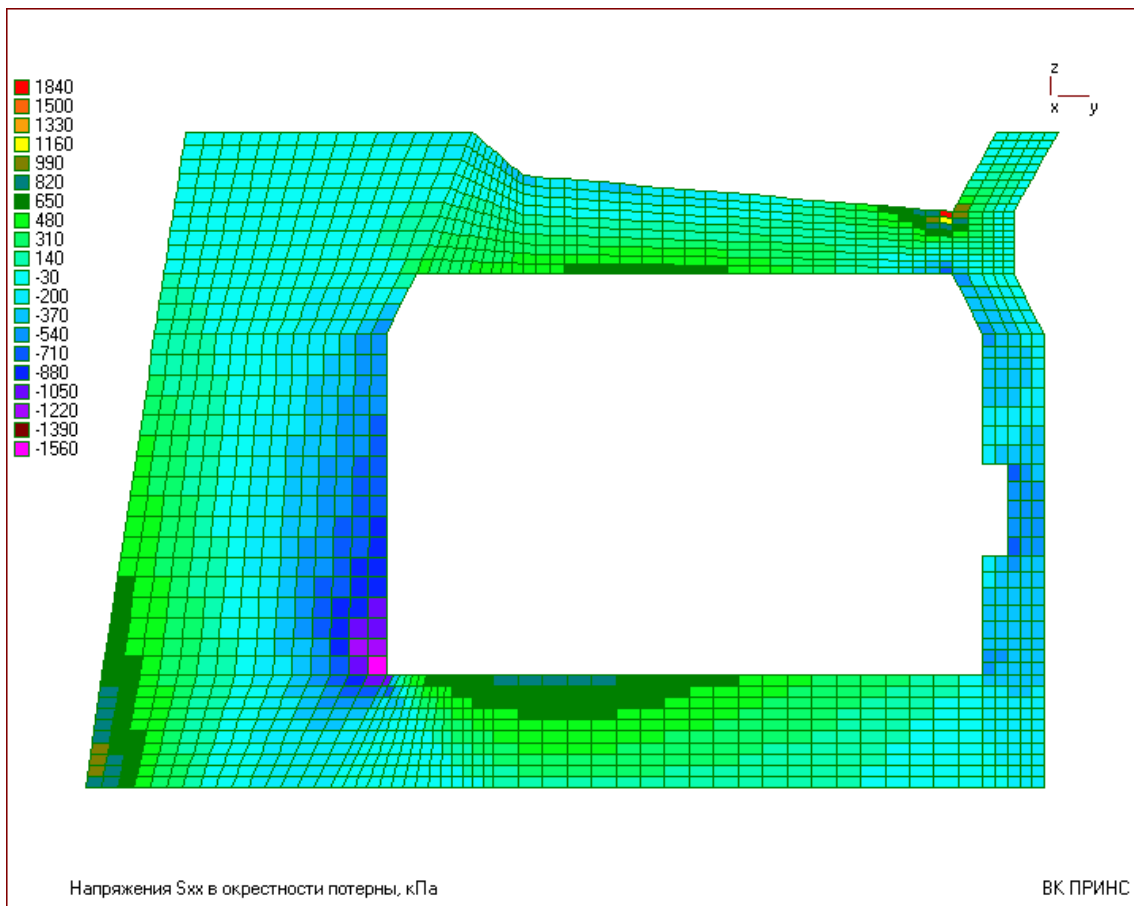




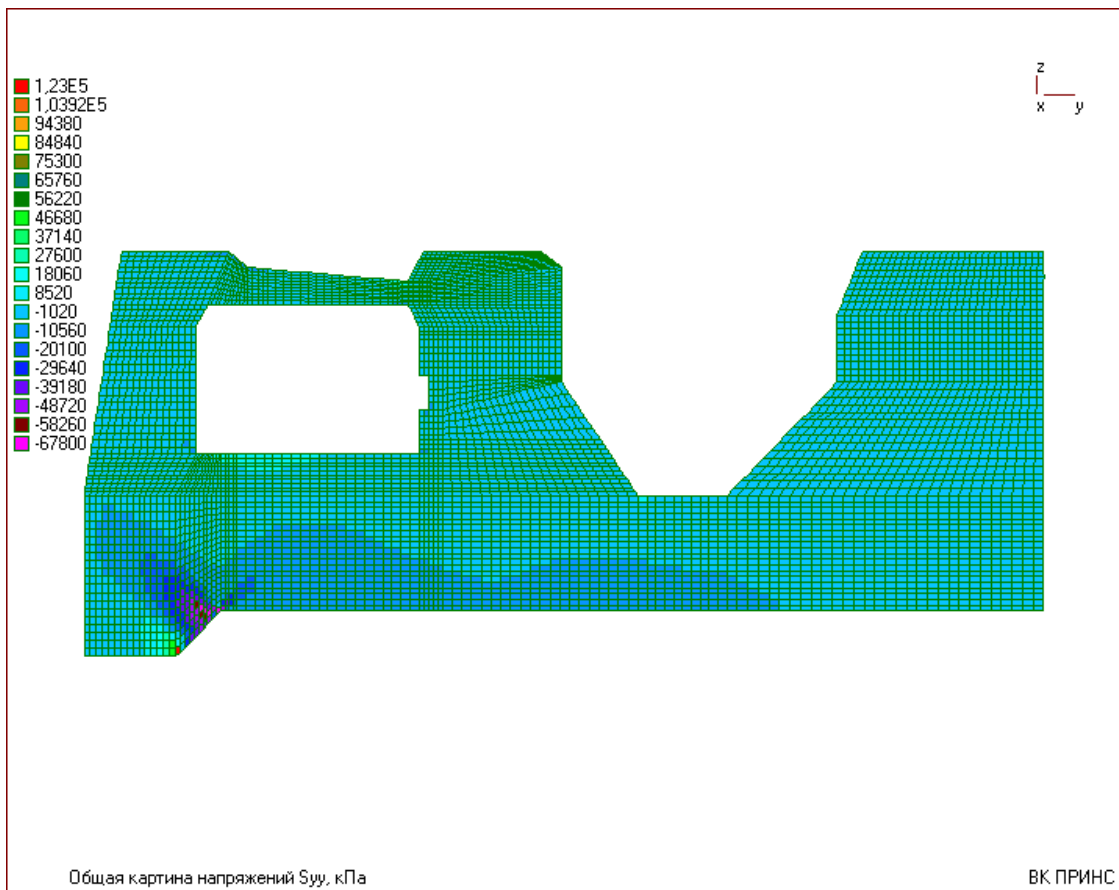
Вариант нагружения 2.

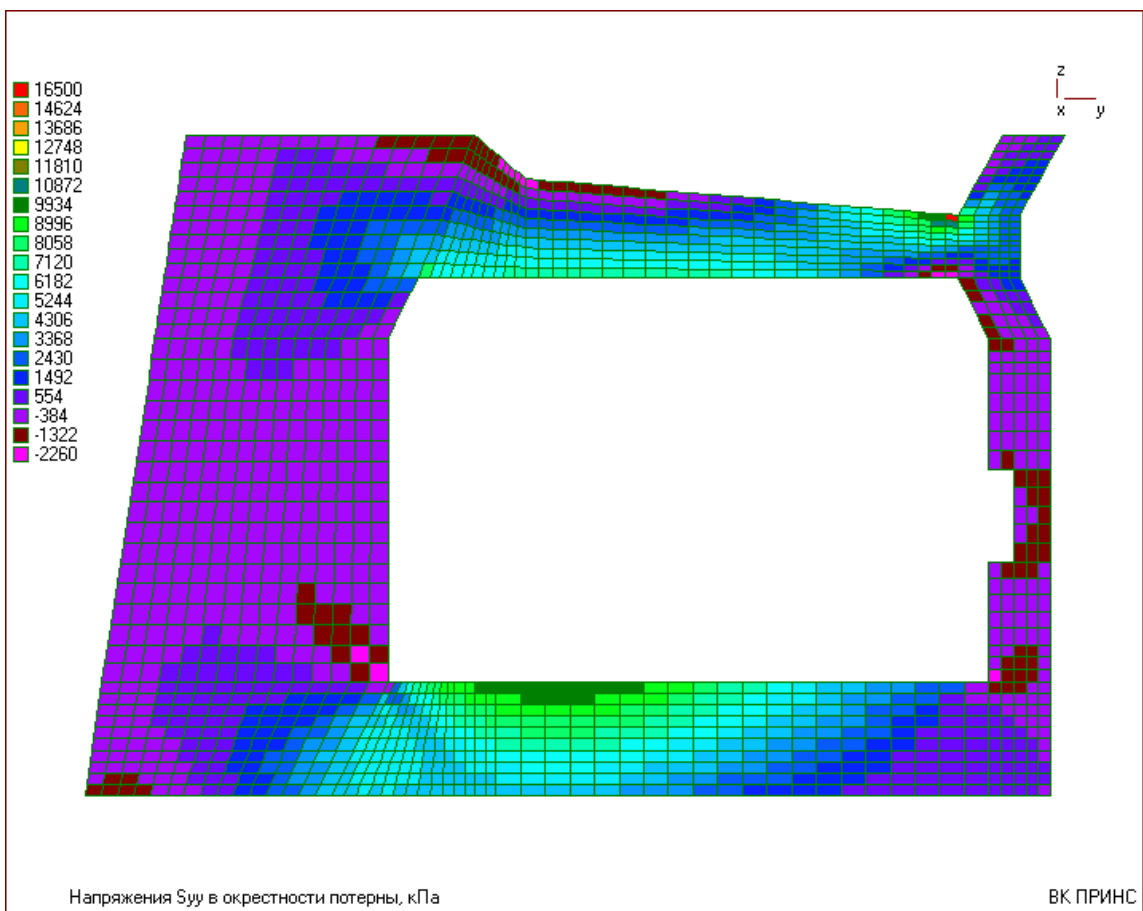
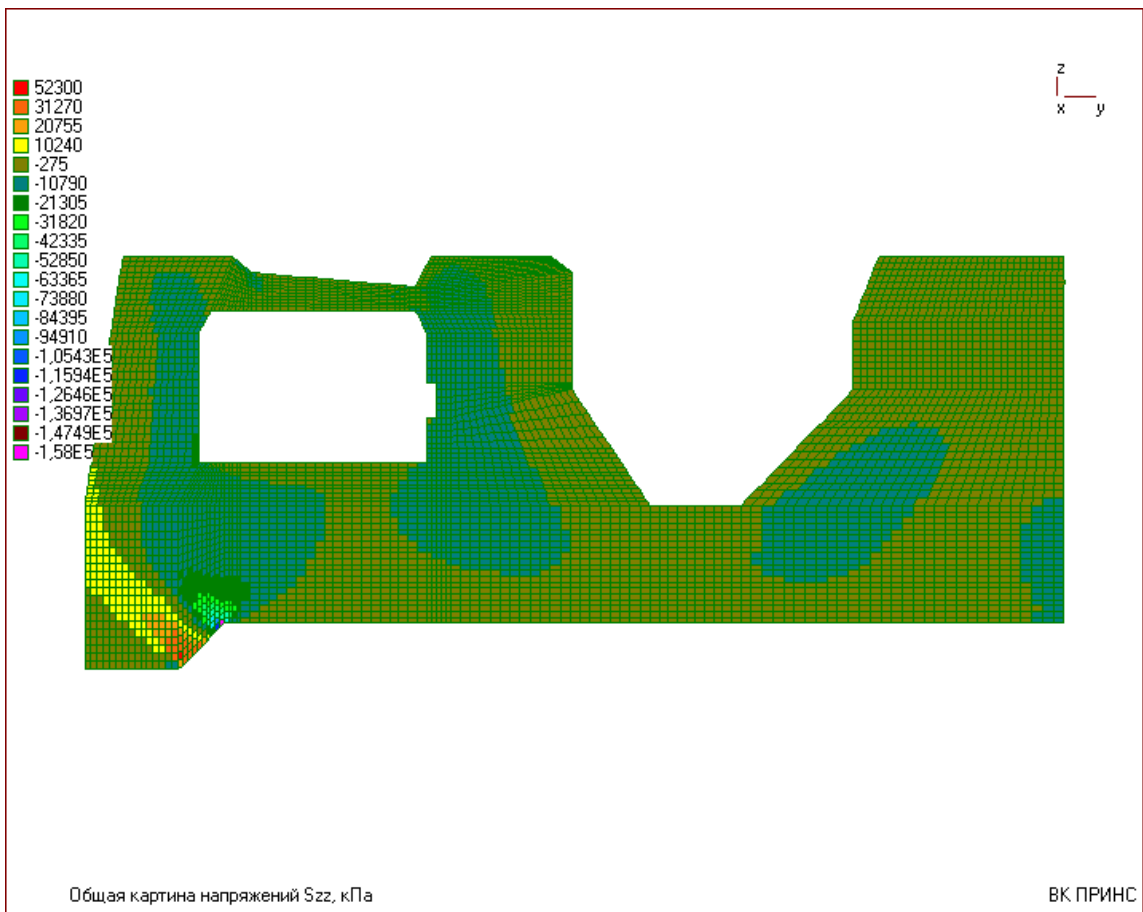


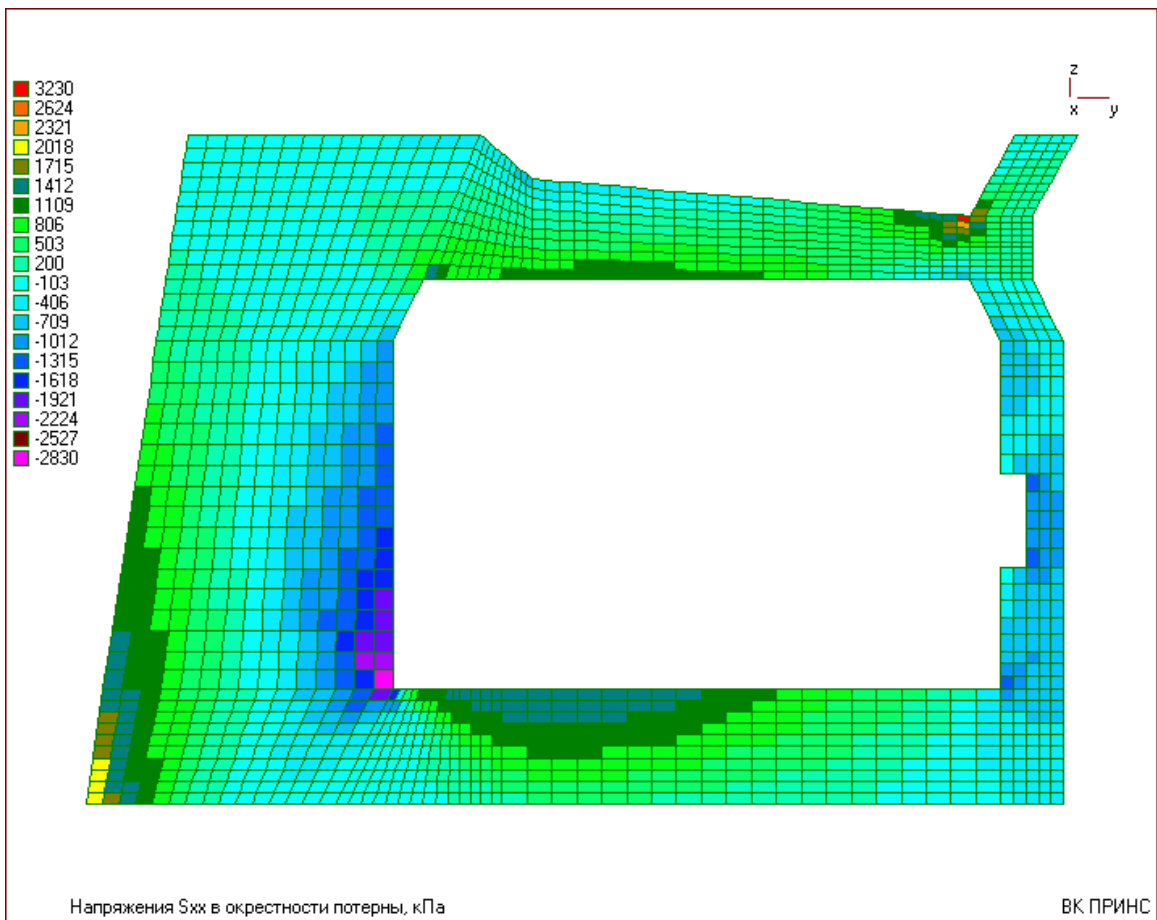
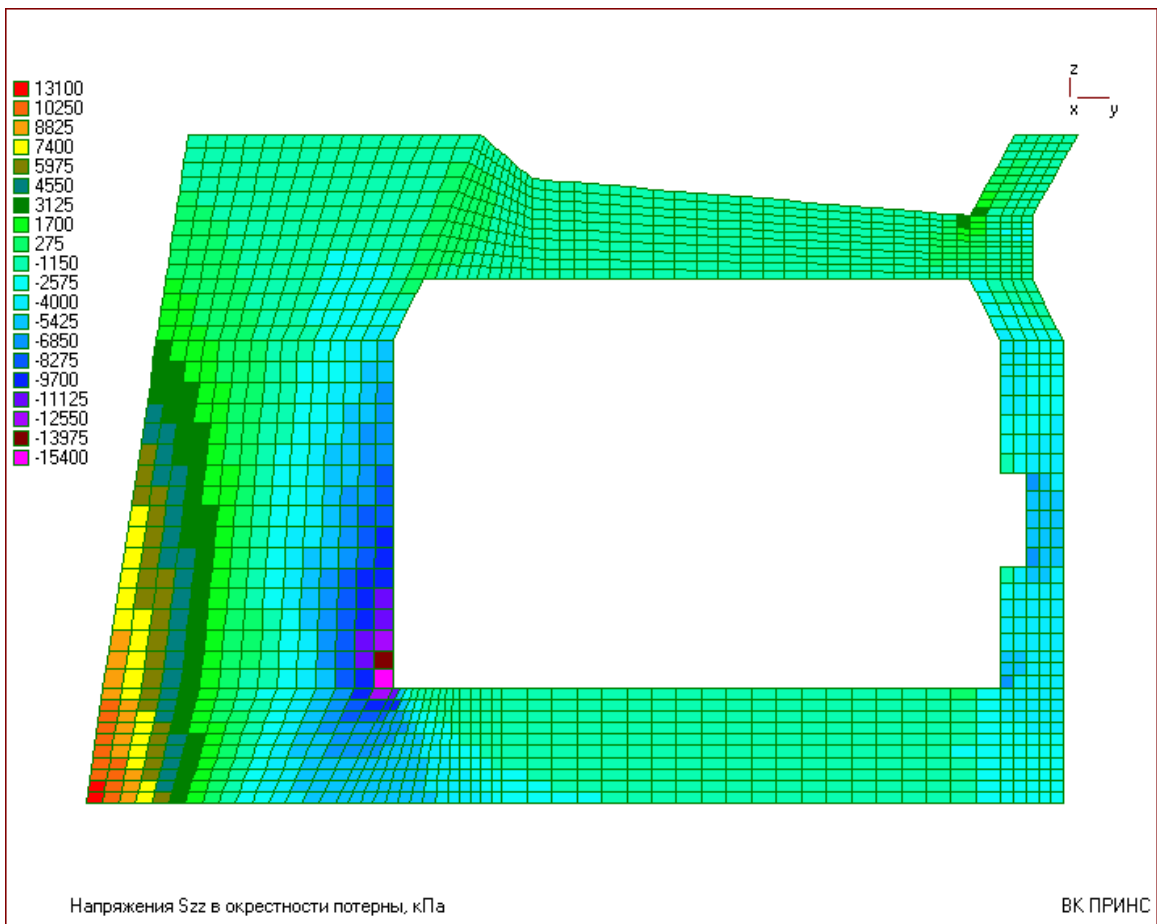




Вариант нагружения 3.







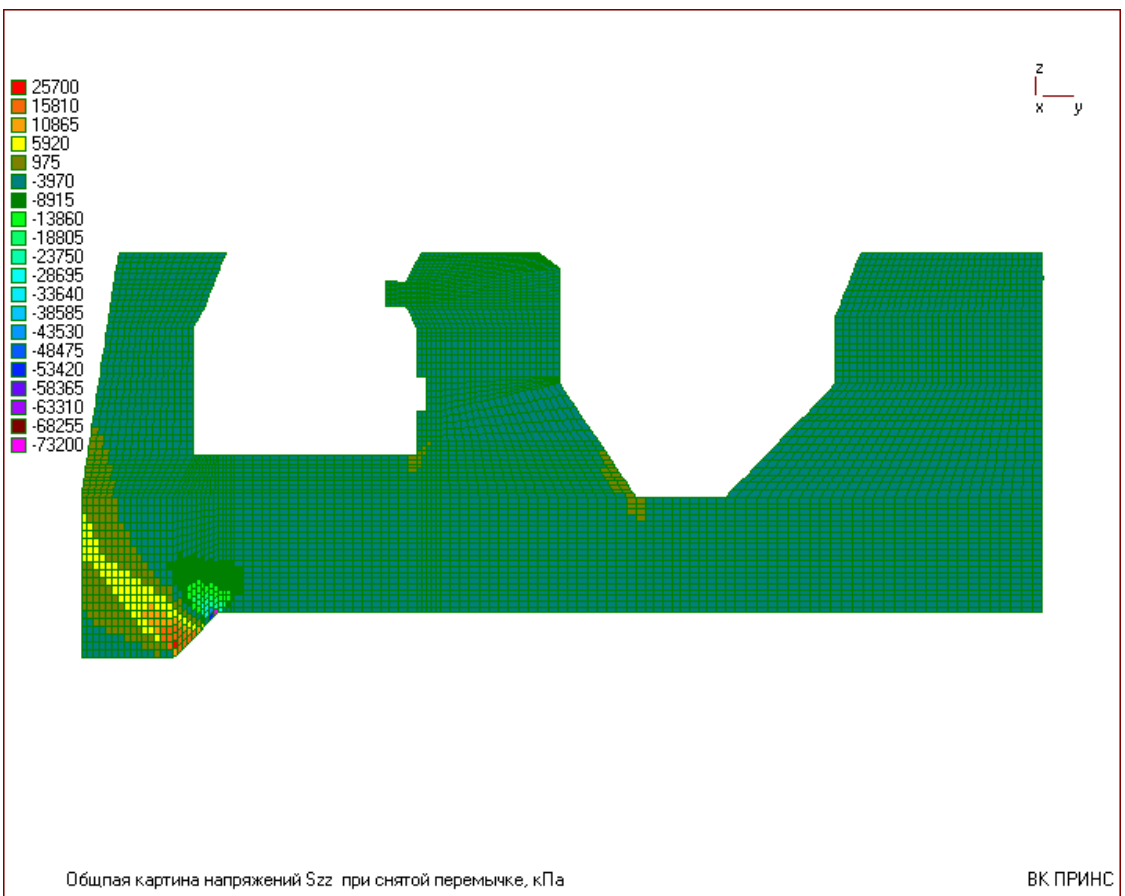
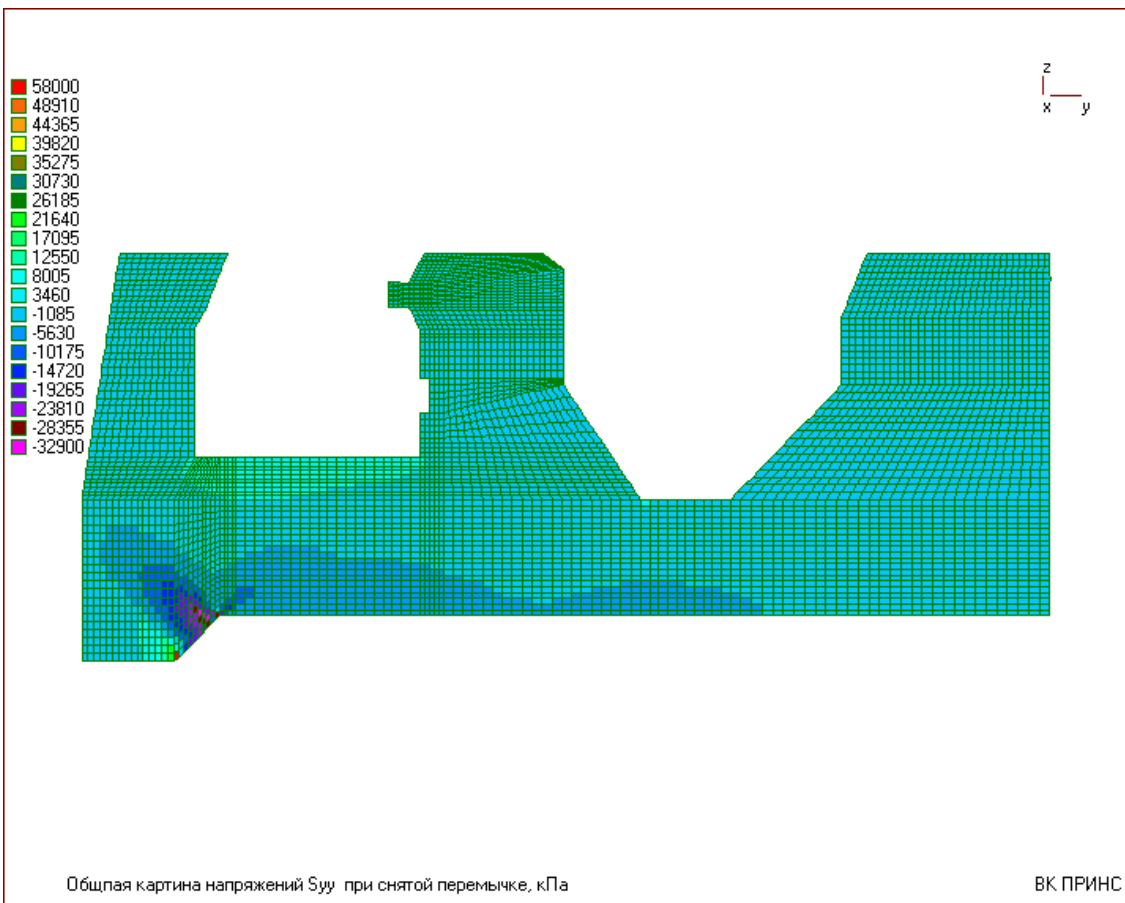
Выводы:

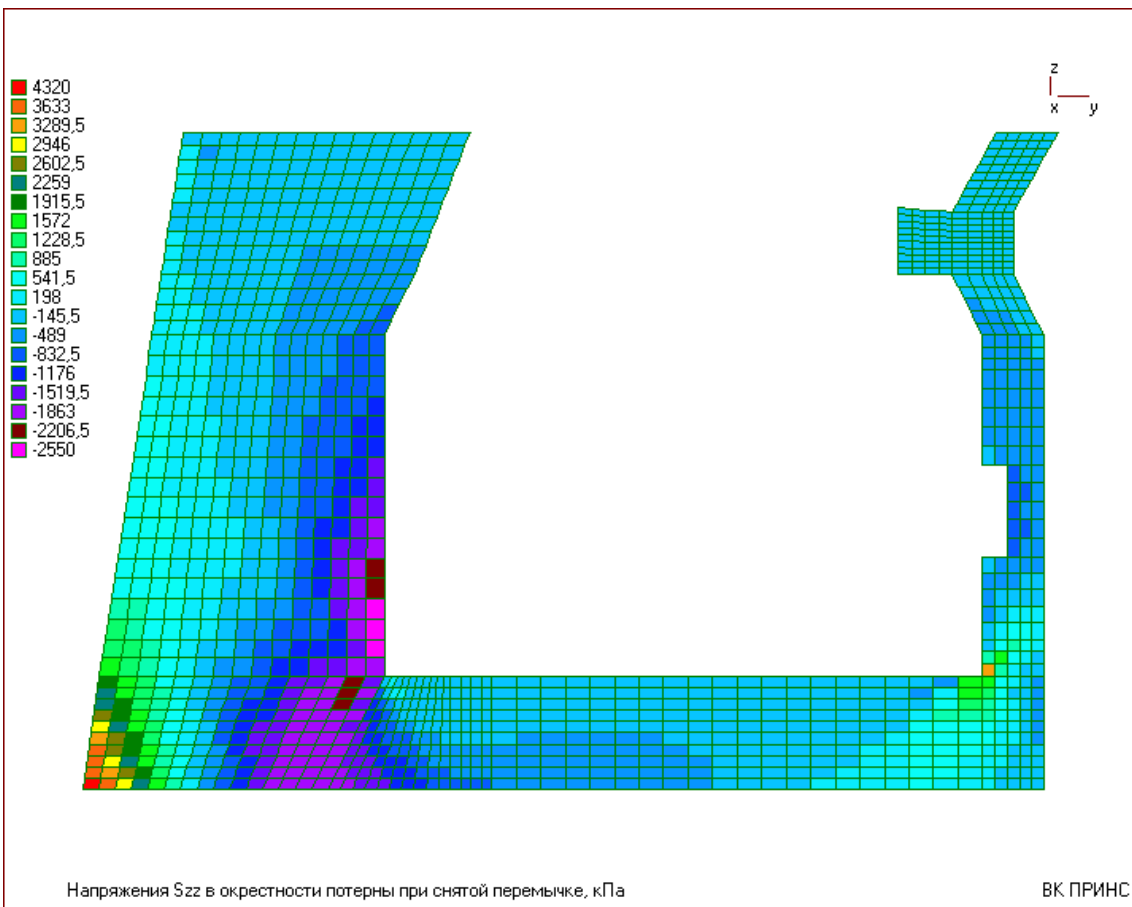
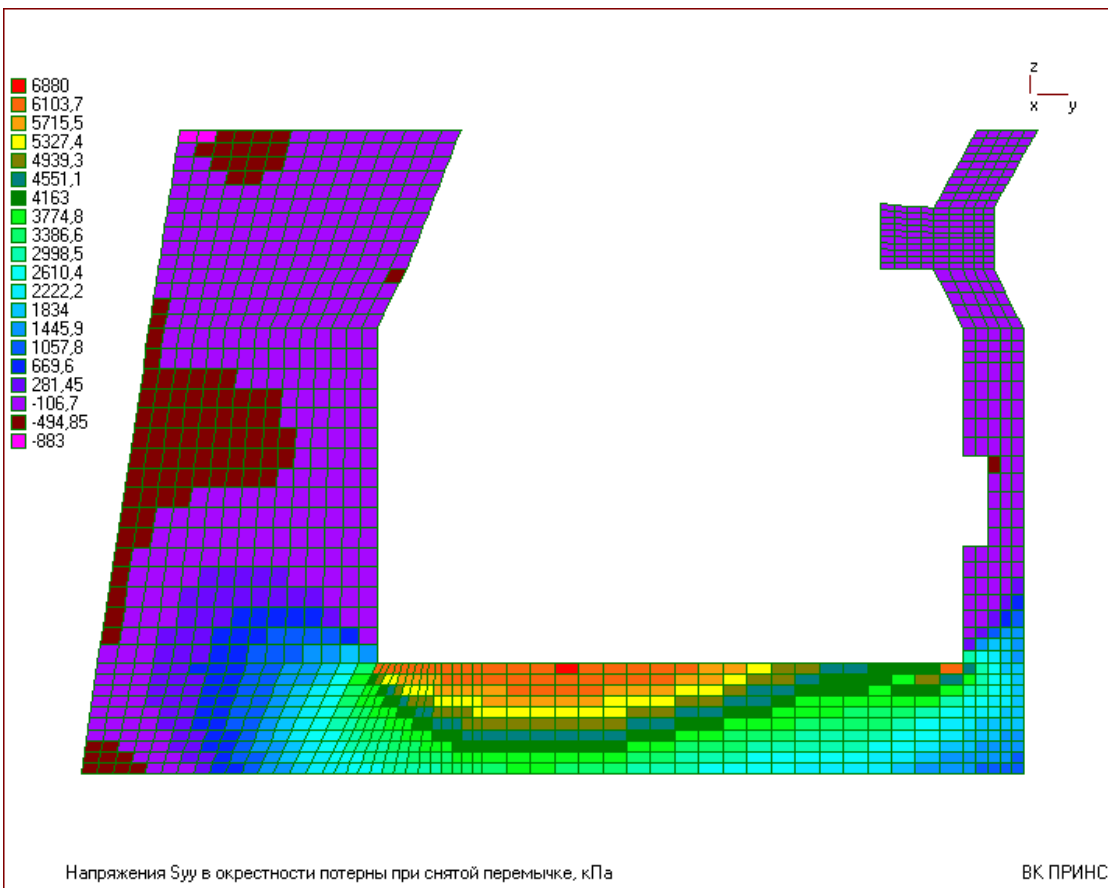
- 1) В окрестности потерны во всех трех вариантах нагружения выявлена значительная концентрация напряжений при преобладании компоненты σ_y .
- 2) Наибольшие значения растягивающих напряжений σ_y на верхней поверхности потерны составляют 38, 44 и 89 кгс/см² для первого, второго и третьего вариантов нагружения, соответственно.
- 3) Наибольшие значения растягивающих напряжений σ_y на нижней поверхности потерны составляют 51, 62 и 118 кгс/см² для первого, второго и третьего вариантов нагружения, соответственно.

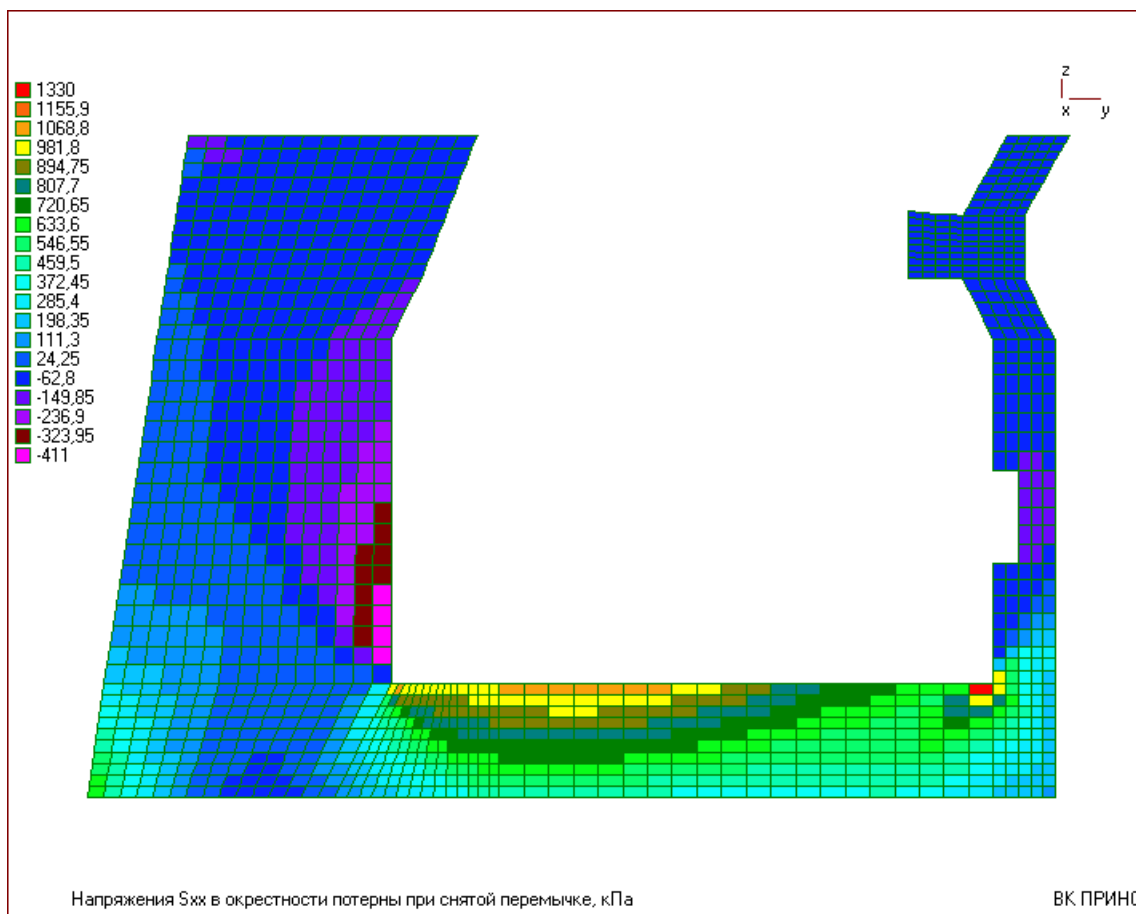
6. Напряжения в бетоне шлюза в период реконструкции

Плоская задача

Вариант 1.







Выводы

1. Напряженное состояние массива шлюза во всех режимах работы является неоднородным.
2. Наибольшие градиенты напряжений σ_y имеют место в верхней перемычке тоннеля и в его основании.
3. Наибольшие градиенты напряжений σ_z имеют место в левой стенке тоннеля.
4. Напряжения в реконструированной конструкции возрастают на $20 \div 40\%$. При этом более интенсивно изменяются напряжения σ_y , $35 \div 40\%$.
5. Напряженное состояние перемычки тоннеля во всех трех вариантах нагружения можно охарактеризовать как внецентренное растяжение.
6. При полном демонтаже перемычки тоннеля левая стенка разгружается в части, лежащей выше уровня нижней поверхности тоннеля.
7. Числовые значения напряжений для трех рассмотренных вариантов нагружения приведены в тексте отчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование напряженного состояния бетонного шлюза с потерной подтвердило эффективность использования метода конечных элементов для расчета массивных фундаментов с учетом их взаимодействия с основанием. В работе приведены методики и показаны результаты исследования как общего напряженного состояния конструкции с использованием пространственной расчетной схемы, так и местного состояния с использованием плоских расчетных схем. Разработанные методики и программы могут найти применение для расчета различных типов строительных конструкций по схеме «сооружение-фундамент-основание».

Рекомендуемая литература:

1. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01-83*. – М., 1995.
2. *Агапов В.П.* Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций – М., АСВ, 2005.
3. *Agapov V.P., Korotkov V.A., Strelin A.B.* Nonlinear static and buckling analysis of cooling tower shells by finite element method/ Proc. 7th cooling tower and spraying pond symposium, USSR, Leningrad, 1990.
4. *Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А.* Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ.-М.:Стройиздат, 1976.-Ч. 1.-248 с.-Ч.2.-237 с.
5. *Оден Дж.* Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. - М. : Мир, 1976. - 464 с.
6. *Bathe K. J.* Finite Element Procedures. – Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
7. *Marcal P.V., King I.P.* Elastic-plastic analysis of two-dimensional stress systems by the finite element method //Int.J.Mech.Sci.-1967.-V. 9, № 3.-P. 143-155.