

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта

Кафедра
Технологии и оборудование машиностроения

Направление подготовки

15.03.02 – Технологические машины и
оборудование

Профиль подготовки

Металлообрабатывающее оборудование и
технологическая оснастка

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

Разработка компоновки портального фрезерного станка

ПГУ 15.03.02.45.00.00 ПЗ

(обозначение ВКР)

Студенты гр. 18МС1

Кандобаров В.Г.

Кандобаров В.Г.

Небылица А.В.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Руководители

Митясов С.Г.

Митясов С.Г.

Большаков Г.С.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Нормоконтролер

Большаков Г.С.

Большаков Г.С.

(подпись, дата)

(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры

от _____ № _____)

Заведующий кафедрой

Зверовщиков А.Е.

Зверовщиков А.Е.

(фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой *отлично*

(протокол заседания ГЭК от *22.06.2022* № *2*)

Секретарь ГЭК

Истомина Ю.В.

Истомина Ю.В.

(фамилия, инициалы)

Пенза 2022

Лист

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой ТОМ А.Е. Зверовщиков

« » 20 г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

1. Студенты группы 18МС1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Кандобаров Вадим Геннадьевич

Небылица Антон Вадимович

2. Руководители бакалаврской работы

доцент Большаков Герман Сергеевич

доцент Митясов Сергей Геннадьевич

3. Время проектирования с 26 мая 2022 г. по 06 июля 2022 г.

4. Место преддипломной практики ООО «СтанкоМашСтрой», г. Пенза

5. Тема бакалаврской работы

Разработка компоновки портального фрезерного станка

Тема утверждена приказом ПГУ № 238/о от 30.03.2022 г.

6. Техническое задание (цель проектирования, объект проектирования, его технические характеристики и т.п.)

Разработать компоновку портально-фрезерного станка на основе технического задания, выданного компанией ООО «СтанкоМашСтрой».

7. Объем и содержание основной части работы

7.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчеты, обоснования, описания)

Должна содержать сравнение компоновок портально-фрезерных станков, кинематическую и принципиальную схемы, силовой расчет приводов станка, содержит информацию по проектированию основных узлов станка и анализ их расчета методом конечных элементов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

2

АНТИПЛАГИАТ
ПРОВЕРКА ЗАИМСТВОВАНИЙ

ВЗКА

Так проверки текстового
заимствования

ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ

ы: Кандобаров В.Г.,
вание
ля: Кандобаров В.Г.,
оты: Разработка компо
Выпускная квалифи
ие: ПИ, кафедра ТОМ

ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТНОСТИ

ЗАИМСТВОВАНИЯ
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
ЦИТИРОВАНИЯ
САМОЦИТИРОВАНИЯ

Дата последней проверки: 15.06.2022

ИПС Адилет; Библио
Цитирование; Перевс

Татьяна Анатольевна

ФИО проверяющего
15.06.2022

Чтобы убедиться
в подлинности справки, используя
который содержит ссылку на от

7.2. Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов):

Станина – 4 листа А1; Траверса – 1 лист А1; Колонна – 1 лист А1; Стол (СБ) – 1 (СБ) – 2 листа А1; Траверса-ШВП (СБ) – 2 листа А1; ШВП (СБ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние станины из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние колонны из станины из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние колонны из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние колонны из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние траверсы из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние траверсы из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние станка из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние станка из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1.

8. Особые требования по выполнению разделов:

Расчет станины, колонны и траверсы выполнить методом конечных элементов в ПО TopSolid; Расчет станка выполнить методом конечных элементов в ПО ANSYS.

9. Календарный график выполнения выпускной работы

Наименование этапов работы	Объем работы, %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1) Разработка технического задания	5	до 29.05.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
2) Разработка 3D-моделей основных узлов станка	5	до 01.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
3) Расчет моделей станка в TopSolid	10	до 03.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
4) Сборка 3D-моделей станка	15	до 06.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
5) Расчет сборки станка в Ansys	10	до 07.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
6) Анализ НДС станины, колонны и траверсы	10	до 10.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
7) Анализ НДС сборки станка	10	до 13.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
8) Составление КД (чертежи, спецификации)	10	до 16.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>
9) Оформление РПЗ	25	до 20.06.2022 г.	<i>С.И. Киреев</i>

Дата выдачи задания «26» мая 2022 г.

Задание к исполнению принял *С.И. Киреев*

Руководители работы *С.И. Киреев*

«26» мая 2022 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта

ОГРН освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

С.И. Киреев

« » 2022 г.

табл
фор

стан
ООО

фре
при
стан

Ста
1 л
А1;
Нап
Нап

Изм
Разра
Провер
Н. кон
Утв.

Реферат

Пояснительная записка содержит 155 листов формата А4, 121 рисунок, 33 таблицы, 6 источников литературы. Графическая часть включает 21 лист формата А1.

МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК, ПОДАЧ, ПОРТАЛЬНО ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК, СХЕМА КИНЕМАТИЧЕСКАЯ, СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, СРАВНЕНИЕ АНАЛОГОВ, РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ.

Целью работы является разработать компоновку портально-фрезерного станка на основе технического задания, выданного компанией ООО «СтанкоМашСтрой».

В пояснительной записке содержится сравнение компоновок портально-фрезерных станков, кинематическая и принципиальная схемы, силовой расчет приводов станка, содержит информацию по проектированию основных узлов станка и анализ их расчета методом конечных элементов.

Графическая часть содержит:

Станина – 4 листа А1; Траверса – 1 лист А1; Колонна – 1 лист А1; Станина-ШВП (СБ) – 2 листа А1; Траверса-ШВП (СБ) – 2 листа А1; ШВП (СБ) – 1 лист А1; Стол (СБ) – 1 лист А1; Портально-фрезерный станок (ВО) – 1 листа А1; Напряженно-деформированное состояние станины из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние станины из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1; Напряженно-деформированное состояние колонны из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1;

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Кандобаров	Небылица			В	К	Р
Провер.	Митясов	Большаков			2		155
Н. контр.	Большаков				Каф. «ТОМ», гр.18МС1		
Утв.	Зверовщиков						

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

4

Напряженно-деформированное состояние колонны из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1;
 Напряженно-деформированное состояние траверсы из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1;
 Напряженно-деформированное состояние траверсы из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1;
 Напряженно-деформированное состояние станка из СЧ25 (ТЧ) – 1 лист А1;
 Напряженно-деформированное состояние станка из СЧ35 (ТЧ) – 1 лист А1.

						ПГУ 2.15.03.02.08.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата			3

						ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата			5

Содержание

1	Техническое задание на проектирование портально-фрезерного станка....	5
1.1	Техническое задание на проектирование портально-фрезерного станка.....	5
1.2	Анализ конструкций станков-аналогов.....	6
2	Проектирование портально-фрезерного станка.....	11
2.1	Разработка принципиальной схемы станка.....	11
2.2	Разработка кинематической схемы и силовой расчет приводов станка.....	13
2.2.1	Разработка кинематической схемы станка.....	13
2.2.2	Силовой расчет приводов станка. Расчет ШВП.....	14
2.2.3	Расчет подшипниковых опор.....	24
3	Разработка конструкции портально-фрезерного станка.....	25
3.1	Разработка конструкции станины.....	28
3.2	Разработка конструкции колонны.....	30
3.3	Разработка конструкции траверсы.....	31
4	Исследование спроектированной конструкции портально-фрезерного станка методом конечных элементов.....	33
4.1	Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции станины.....	33
4.2	Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции колонны.....	78
4.3	Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции траверсы.....	102
4.4	Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции станка.....	145
	Заключение.....	153
	Список использованной литературы.....	154
	Приложение.....	155

1 Техническое задание на проектирование портально-фрезерного станка и анализ конструкций станков-аналогов

1.1 Техническое задание на проектирование портально-фрезерного станка

Требования	Значения
Класс точности станка	Н
Типоразмер шпинделя	По требованию заказчика
Наибольший размер заготовки, мм, не менее	1800x800x600
Ход по оси X, не менее	2400 мм
Ход по оси Y, не менее	1600 мм
Ход по оси Z, не менее	400 мм
Мощность приводов	
Подача по оси X, не менее	3 кВт
Подача по оси Y, не менее	3кВт
Подача по оси Z, не менее	2 кВт
Количество позиций в инструментальном магазине, не менее	6
Диапазон подач:	
Подача по оси X	0,1...3000 мм/мин
Подача по оси Y	0,1...3000 мм/мин
Подача по оси Z	0,1...3000 мм/мин
Максимальные перемещения при максимальной расчетной нагрузке:	
Станина, не более	0,01
Колонна, не более	0,05мм
Траверса, не более	0,05мм

1.2 Анализ конструкции станков-аналогов

Процесс проектирования металлорежущих станков (МРС) начинается с анализа компоновочных схем станков-аналогов. МРС куда более разнообразны, нежели любые другие технологические машины. Различаются станки по технологическому назначению, виду режущего инструмента, формами обрабатываемых заготовок и т.д.

Великое множество разнообразных компоновок металлорежущих станков говорит о том, что имеют место не только разнообразные технологические задачи, но ещё и широкое развитие конструкций станков, а также способов обработки деталей.

Компоновка – это система, включающая в себя расположение узлов относительно друг друга с целью получения различных пропорций, структур и свойств. Станки с одинаковым технологическим назначением могут иметь различную компоновочную схему, в каждой из которых есть свои преимущества. Выбор наиболее удачно компоновочной схемы производится в соответствии с техническим заданием (ТЗ).

Ниже представлен анализ различных компоновок МРС с порталным исполнением.

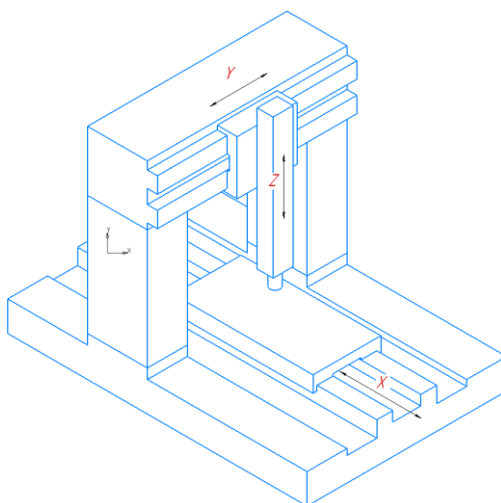


Рисунок 1 – Компоновочная схема №1

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		8

Данную компоновочную схему имеет станок WALDRICH-COBURG 14-10. Это порталный фрезерный станок с ЧПУ 1983 года выпуска.

Станок собирается на общем основании (станине), которое является базой для установки остальных узлов станка, таких как стол и колонны. Шпиндельный узел крепится к салазкам, которые перемещаются по направляющим, расположенным на траверсе. Такая компоновка обладает относительной жесткостью, а сборка такого станка не вызывает сложностей.

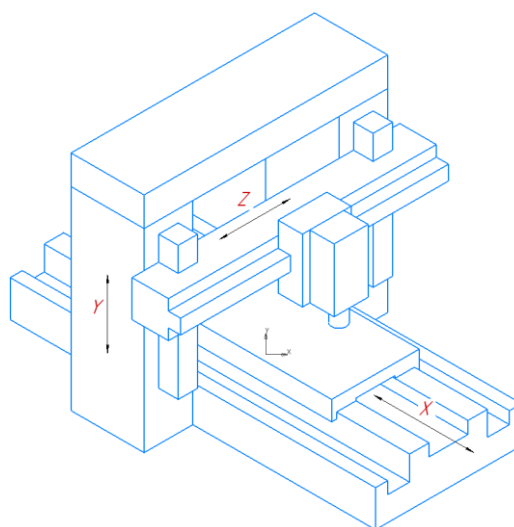


Рисунок 2 – Компоновочная схема №2

Данную компоновочную схему имеет станок WALDRICH-COBURG 20-10 FP 280. Это порталный фрезерный станок с ЧПУ 1973 года выпуска.

В данном станке станина выступает основанием только для подвижного стола. Траверса перемещается по направляющим, расположенным на колоннах, а шпиндельный узел ходит направляющим траверсы.

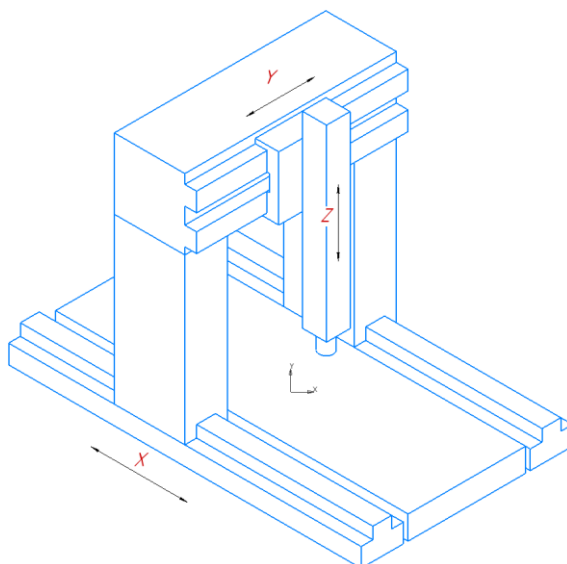


Рисунок 3 – Компоновочная схема №3

Данную компоновочную схему имеет станок THERA. Это порталный фрезерный станок с ЧПУ 2020 года выпуска.

Станок укомплектован подвижным порталом, что позволяет сделать стол неподвижным. Шпиндельный узел «ходит» по неподвижной траверсе, которая размещена на колоннах.

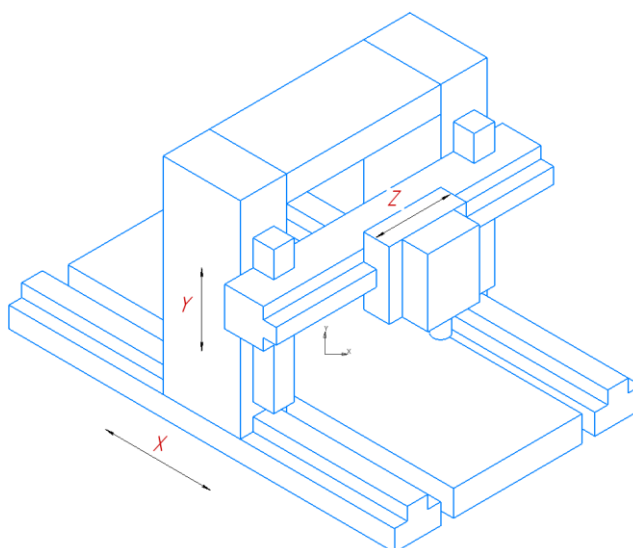


Рисунок 4 – Компоновочная схема №4

Данную компоновочную схему имеет станок SKDY 40-50. Это порталный фрезерный станок с ЧПУ 2016 года выпуска.

Станок укомплектован подвижным порталом и траверсой, стол же неподвижен. Траверса перемещается по направляющим, расположенным на колоннах, а шпиндельный узел ходит направляющим траверсы.

Станки с подвижным столом:

Станки такого типа собираются на общем основании – станине, которая будет служить базой для установки всех прочих частей: колонн, стола, траверсы. В них колонны жестко крепятся к станине. Стол перемещается по направляющим. Шпиндельный узел размещается на траверсе.

Станки с подвижным столом относительно компактны в применении, и как правило, не имеют специальных требований по фундаменту, так как устанавливаются на обычный промышленный пол.

Станки с подвижным порталом:

Станки с подвижным порталом имеют свои особенности, например, неподвижный рабочий стол, который в теории может иметь любую грузоподъемность. Другой особенностью является то, что в таких станках требуется перемещать довольно массивные колонны и траверсу, и при этом, сохранять высокие требования по точности позиционирования.

Все подвижные узлы такого станка (колонны, траверсы, шпиндельная бабка) проектируются очень массивными и жесткими, это требуется для недопущения каких-либо геометрических деформаций в процессе работы станка.

Так же можно выделить то, что эти станки обладают относительно большими габаритными размерами и под них нужно готовить специальный фундамент.

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

Станки с подвижной траверсой:

В станках такого типа траверса чаще всего «ходит» направляющим, расположенным на колоннах. Колонны же в свою очередь соединяются между собой поперечиной. Одной из особенностей такой конструкции является увеличение максимальной высоты обрабатываемой заготовки при сохранении общего габарита станка.

С другой стороны, такой подход приводит к установке двух приводов, которые придется синхронизировать между собой, а в силу неравномерного их износа – возможен сдвиг, что приведет к потере точности при обработке.

Исходя из анализа, представленного выше – считаем наиболее целесообразным использование компоновочной схемы №1.

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

2 Проектирование портально-фрезерного станка

2.1 Разработка принципиальной схемы станка

Принципиальная схема станка – это схема, показывающая пути передачи движения от двигателей к рабочим органам машины (стол, салазки, шпиндель) через механические устройства (муфты), передающие крутящий момент.

На этой схеме изображаются механизмы (шарики-винтовые передачи, зубчатые колеса, муфты, ременные передачи и т.д.), которые принимают непосредственное участие в передаче движения. Поставка размеров и соблюдение пропорций необязательно.

На рисунке 5 показана принципиальная схема портально-фрезерного станка. На схеме представлены:

- 1 – станина;
- 2 – стол;
- 3 – ходовой винт;
- 4 – колонна;
- 5 – траверса;
- 6 – салазки;
- 7 – шпиндель.

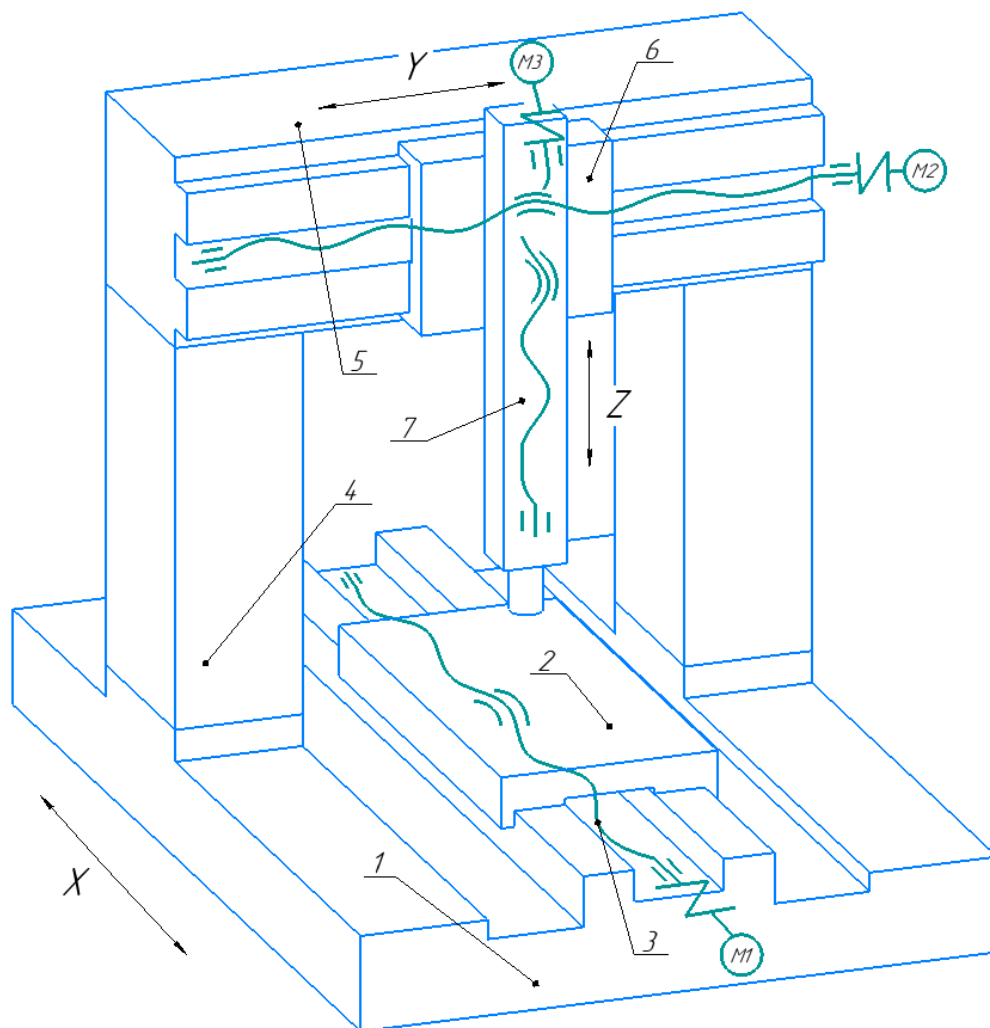


Рисунок 5 – Принципиальная схема проектируемого портально-фрезерного станка

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

14

2.2 Разработка кинематической схемы и силовой расчет приводов станка

2.2.1 Разработка кинематической схемы станка

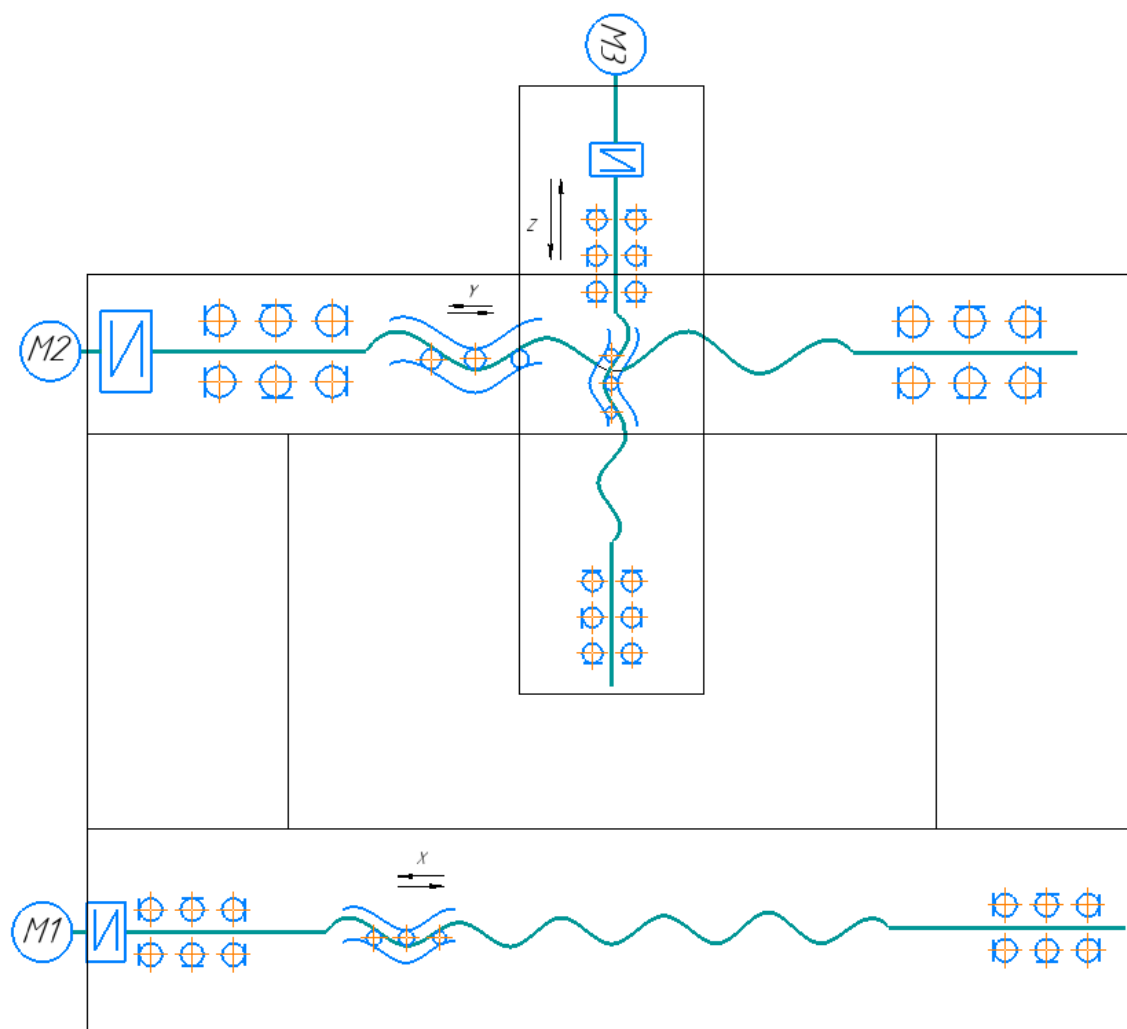


Рисунок 6 – Кинематическая схема проектируемого портально-фрезерного станка

2.2.2 Силовой расчет приводов станка. Расчет ШВП.

Передача винт-гайка качения (рисунок 7) состоит из стального вала (винта) 1 с резьбой и гайки 2 с резьбой идентичного профиля. В каналах, образованных витками резьбы винта и гайки, расположены шарики 4,

перекатывающиеся вдоль канала. Для предотвращения выкатывания шариков предусмотрены специальные каналы возврата 3, расположенные в гайке, которые вместе с заполненными шариками витками образуют замкнутый контур. Для предотвращения проталкивания шариков мимо канала возврата есть отражатели. Шарiki могут быть разделены сепаратором 5.

Для обеспечения смазывания и предотвращения попадания грязи в механизм предусмотрены системы смазывания 6 со встроенными уплотнениями 7.

Как правило, винт устанавливается в опорах на неподвижной детали, а гайка жестко присоединяется к перемещаемому узлу. Опоры фиксируют винт в осевом и радиальном направлениях. Схема закрепления оказывает существенное влияние на жесткость и быстроходность передачи. Различают три основные схемы закрепления (рисунок 8). Схема *а* может быть использована только для достаточно коротких валов. Куда более распространенными являются схемы *б* и *в*, при этом закрепление по схеме *в* обеспечивает наибольшую осевую жесткость.

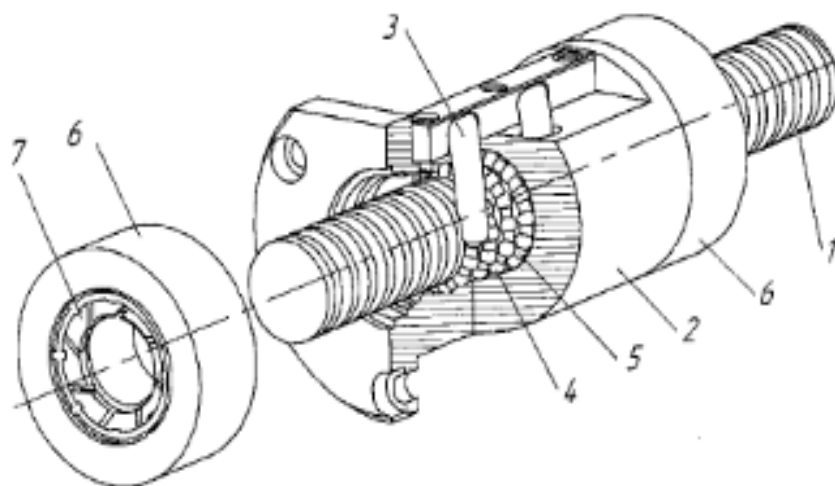


Рисунок 7 – Передача винт-гайка качения

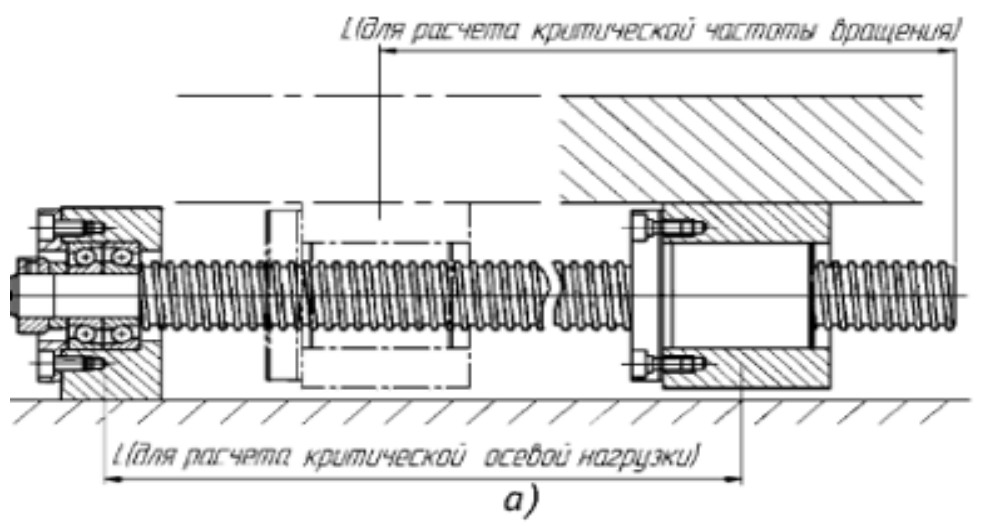
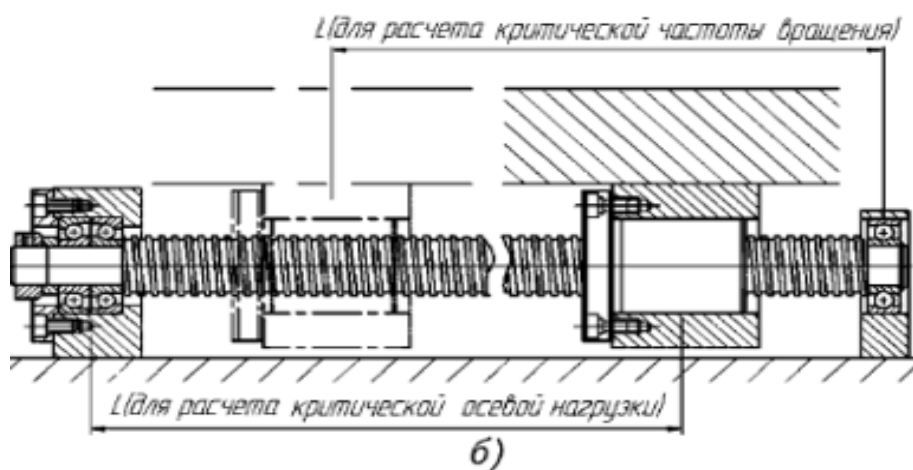
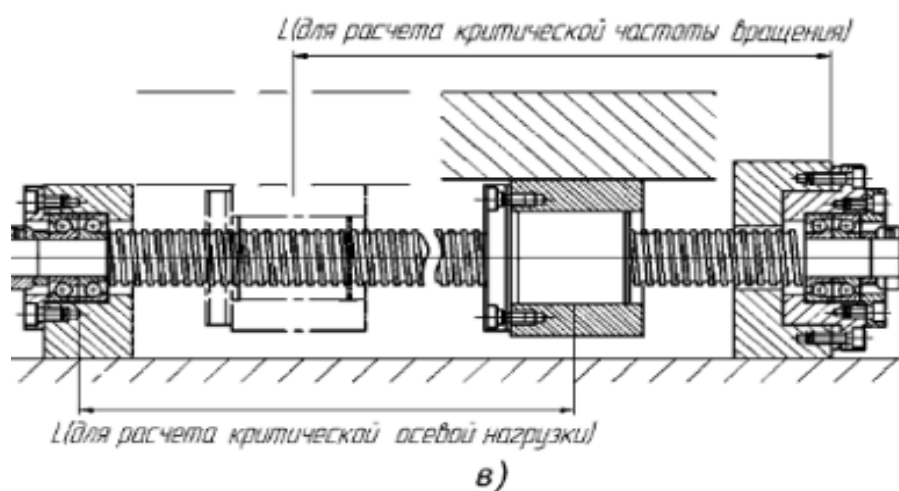


Рисунок 8 – Основные схемы закрепления ходового винта:

a – один конец закреплен, другой свободный; $б$ – один конец закреплен, другой поддерживается радиальной опорой; $в$ – оба конца закреплены.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

В процессе проверочного расчета винты проверяются на устойчивость под действием осевой нагрузки (продольный изгиб) и устойчивость под действием поперечных возмущающих сил (критическая частота вращения), а также на жесткость и нагрев.

Расчет винта на устойчивость

Различают два вида расчетов винта на устойчивость: по критической осевой силе $F_{кр}$ (продольная устойчивость) и по критической частоте вращения $n_{кр}$.

Расчет винта по критической осевой силе:

Этот расчет особенно требуется для передач, сделанных по схеме *a* (рисунок 8) или длинных винтов небольшого диаметра и сводится к проверке условия:

$$n_y = \frac{F_{кр}}{F_{MAX}} \geq [n_y], \quad (1)$$

где $[n_y] = 1,5 \dots 5$ – необходимый запас устойчивости, в станкостроении $[n_y] = 3$;

$F_{MAX} = 40000$ Н – наибольшее осевое усилие, действующее на винт;

n_y – расчетный запас устойчивости.

Значение $F_{кр}$ определяется по уравнению Эйлера, если гибкость винта:

$$\lambda = \frac{4\mu l_1}{d} \geq \lambda_{пред}, \quad (2)$$

то есть

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l_1)^2}, \quad (3)$$

где $J = \left(\frac{\pi d^4}{64}\right) \left(0.375 + \frac{0.625 d_H}{d}\right)$ – приведенный момент инерции винта, мм⁴;

d_H – наружный диаметр винта, мм;

d – внутренний диаметр винта, мм;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала;

l_1 – для двухопорных винтов расстояние между серединами опор винта, мм;

l_2 – расстояние между торцами опор, мм;

μ – коэффициент, учитывающий характер заделки концов винта:

$\mu = 2$, если один конец жестко закреплен, а второй свободен (схема а, рисунок 8)

$\mu = 0,7$ – один конец закреплен, а второй установлен на шарнирной опоре (схема б, рисунок 8)

$\mu = 0,5$ – оба конца жестко закреплены (схема в, рисунок 8)

$\lambda_{\text{пред}} = 85$ – предельная гибкость винта, изготовленного из марок стали: сталь 45, сталь 50, сталь А45, сталь А50, сталь 40Х, 40ХГ и т.д.

Если $\lambda > \lambda_{\text{пред}} = 85$, то критическая сила определяется по формуле Ясинского, Н:

$$F_{\text{кр}} = (589 - 3.82\lambda)\pi d^2 / 4 \quad (4)$$

В случае, если применяемая схема монтажа не обеспечивает требуемый запас продольной устойчивости, то необходимо изменить схемы установки винта или увеличить его диаметр.

Исходные данные для расчета ШВП по оси Х:

$l_1 = 2747$ мм;

$d_n = 40$ мм;

$d = 37$ мм;

Определяем гибкость винта по формуле 2:

$$\lambda = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 2747}{37} = 148,5 \text{ мм} > 85 \text{ мм};$$

Так как $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$, для нахождения критической силы воспользуемся формулой 3:

$$F_{\text{кр}} = \frac{3,14^2 * 2,1 * 10^5 * 96610}{(0,5 * 2747)^2} = 106034 \text{ Н};$$

$$J = \frac{3,14 * 37^4 * (0,375 + 0,625 * \frac{40}{37})}{64} = 96610 \text{ мм}^4;$$

Определяем продольную устойчивость винта:

$$n_y = \frac{106034}{40000} = 2,65 < 3;$$

Полученный запас устойчивости недостаточен, условие не соблюдается.

При высоких частотах вращения винт может потерять устойчивость, вследствие появления резонанса. Для установления опасности его возникновения необходимо обеспечить условие:

$$n_{\text{кр}} \geq n_{\text{в max}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения ходового винта, мин⁻¹;

$n_{\text{в max}} = 3000$ – наибольшая частота вращения ходового винта, мин⁻¹.

$$n_{\text{кр}} = 1,75 * \frac{30d}{0,5l_2^2} \sqrt{\frac{Eg}{p}}, \quad (6)$$

где $g = 9,8 * 10^3$ – ускорение свободного падения, мм/с²;

$p = 7,8 * 10^{-5}$ – плотность материала винта, Н/мм³;

$l_2 = 2582$ мм;

Определяем критическую частоту вращения ходового винта по формуле 6:

$$n_{\text{кр}} = 1,75 * \frac{30 * 37}{0,5 * 2582^2} \sqrt{\frac{2,1 * 10^5 * 9,8 * 10^3}{7,8 * 10^{-5}}} = 2993 \text{ мин}^{-1} < 3000;$$

Полученная критическая частота вращения ниже, чем наибольшая частота вращения ходового винта, условие не соблюдается.

Исходя из полученных результатов, считаю целесообразным увеличение диаметра ходового винта до 50 мм.

Исходные данные для расчета ШВП по оси X:

$$l_1 = 2747 \text{ мм};$$

$$d_n = 50 \text{ мм};$$

$$d = 47 \text{ мм};$$

Определяем гибкость винта по формуле 2:

$$\lambda = \frac{4 * 0,5 * 2747}{47} = 116,9 \text{ мм} > 85 \text{ мм};$$

Так как $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$, для нахождения критической силы воспользуемся формулой 3:

$$F_{\text{кр}} = \frac{3,14^2 * 2,1 * 10^5 * 248960}{(0,5 * 2747)^2} = 273244 \text{ Н};$$

$$J = \frac{3,14 * 47^4 * \left(0,375 + 0,625 * \frac{50}{47}\right)}{64} = 248960 \text{ мм}^4;$$

Определяем продольную устойчивость винта:

$$n_y = \frac{273244}{40000} = 6,83 > 3;$$

Полученный запас устойчивости превышает необходимый, условие соблюдается.

При высоких частотах вращения винт может потерять устойчивость, вследствие появления резонанса. Для установления опасности его возникновения необходимо обеспечить условие:

$$n_{\text{кр}} \geq n_{\text{в max}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения ходового винта, мин^{-1} ;

$n_{\text{в max}} = 3000$ – наибольшая частота вращения ходового винта, мин^{-1} .

$$n_{\text{кр}} = 1,75 * \frac{30d}{0,5l_2^2} \sqrt{\frac{Eg}{p}}, \quad (6)$$

где $g = 9,8 * 10^3$ – ускорение свободного падения, $\text{мм}/\text{с}^2$;

$p = 7,8 * 10^{-5}$ – плотность материала винта, $\text{Н}/\text{мм}^3$;

$$l_2 = 2582 \text{ мм};$$

Определяем критическая частоту вращения ходового винта по формуле 6:

$$n_{кр} = 1,75 * \frac{30 * 47}{0,5 * 2582^2} \sqrt{\frac{2,1 * 10^5 * 9,8 * 10^3}{7,8 * 10^{-5}}} = 3802 \text{ мин}^{-1} > 3000;$$

Полученная критическая частота вращения выше, чем наибольшая частота вращения ходового винта, условие соблюдается.

В целях унификации принимаем все используемые ШВП диаметром 50мм.

Исходные данные для расчета ШВП по оси Y:

$$l_1 = 1900 \text{ мм};$$

$$d_n = 50 \text{ мм};$$

$$d = 47 \text{ мм};$$

Определяем гибкость винта по формуле 2:

$$\lambda = \frac{4 * 0,5 * 1900}{47} = 80,9 \text{ мм} < 85 \text{ мм};$$

Так как $\lambda < \lambda_{пред}$, для нахождения критической силы воспользуемся формулой 4:

$$F_{кр} = (589 - 3,82 * 80,9) * \frac{3,14 * 47^2}{4} = 485472 \text{ Н};$$

Определяем продольную устойчивость винта:

$$n_y = \frac{485472}{40000} = 12,14 > 3;$$

Полученный запас устойчивости превышает необходимый, условие соблюдается.

При высоких частотах вращения винт может потерять устойчивость, вследствие появления резонанса. Для установления опасности его возникновения необходимо обеспечить условие:

$$n_{\text{кр}} \geq n_{\text{вmax}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{кр}}$ – критическая частота вращения ходового винта, мин⁻¹;

$n_{\text{вmax}} = 3000$ – наибольшая частота вращения ходового винта, мин⁻¹.

$$n_{\text{кр}} = 1,75 * \frac{30d}{0,5l_2^2} \sqrt{\frac{Eg}{p}}, \quad (6)$$

где $g = 9,8 * 10^3$ – ускорение свободного падения, мм/с²;

$p = 7,8 * 10^{-5}$ – плотность материала винта, Н/мм³;

$l_2 = 1735$ мм;

Определяем критическую частоту вращения ходового винта по формуле 6:

$$n_{\text{кр}} = 1,75 * \frac{30 * 47}{0,5 * 1735^2} \sqrt{\frac{2,1 * 10^5 * 9,8 * 10^3}{7,8 * 10^{-5}}} = 8420 \text{ мин}^{-1} > 3000;$$

Полученная критическая частота вращения выше, чем наибольшая частота вращения ходового винта, условие соблюдается.

Исходные данные для расчета ШВП по оси Z:

$l_1 = 700$ мм;

$d_{\text{н}} = 50$ мм;

$d = 47$ мм;

Определяем гибкость винта по формуле 2:

$$\lambda = \frac{4 * 0,5 * 700}{47} = 29,8 \text{ мм} < 85 \text{ мм};$$

Так как $\lambda < \lambda_{\text{пред}}$, для нахождения критической силы воспользуемся формулой 4:

$$F_{\text{кр}} = (589 - 3,82 * 29,8) * \frac{3,14 * 47^2}{4} = 823965 \text{ Н};$$

Определяем продольную устойчивость винта:

$$n_y = \frac{823965}{40000} = 20,6 > 3;$$

Полученный запас устойчивости превышает необходимый, условие соблюдается.

При высоких частотах вращения винт может потерять устойчивость, вследствие появления резонанса. Для установления опасности его возникновения необходимо обеспечить условие:

$$n_{кр} \geq n_{в max}, \quad (5)$$

где $n_{кр}$ – критическая частота вращения ходового винта, мин^{-1} ;

$n_{в max} = 3000$ – наибольшая частота вращения ходового винта, мин^{-1} .

$$n_{кр} = 1,75 * \frac{30d}{0,5l_2^2} \sqrt{\frac{Eg}{p}}, \quad (6)$$

где $g = 9,8 * 10^3$ – ускорение свободного падения, мм/с^2 ;

$p = 7,8 * 10^{-5}$ – плотность материала винта, Н/мм^3 ;

$l_2 = 535 \text{ мм}$;

Определяем критическую частоту вращения ходового винта по формуле 6:

$$n_{кр} = 1,75 * \frac{30 * 47}{0,5 * 535^2} \sqrt{\frac{2,1 * 10^5 * 9,8 * 10^3}{7,8 * 10^{-5}}} = 88563 \text{ мин}^{-1} > 3000;$$

Полученная критическая частота вращения выше, чем наибольшая частота вращения ходового винта, условие соблюдается.

2.2.3 Расчет подшипниковых опор

Жесткость опор винта приближенно определяется выражением, Н/мкм:

$$j_{оп} = C d_{п}, \quad (7)$$

где $C = 5, 10$ и 30 для радиально-упорных шариковых, упорных шариков и роликовых упорных подшипников соответственно;

$d_{п}$ – диаметр винта под крепление подшипников;

Определяем жесткость опор винтов согласно формуле 7:

$$j_{оп} = 5 * 30 = 150 \frac{\text{Н}}{\text{мкм}};$$

3 Разработка конструкции портально-фрезерного станка

После выбора компоновочной, разработки принципиальной и кинематической схем станка – проектируем конструкцию станка. В портально-фрезерном станке стол движется только в продольном направлении, поперечное и вертикальное получает шпиндельный узел.

Литые чугунные детали: станины, колонны, траверсы, шестерни, кронштейны и др., являются важными элементами станков. Они должны удовлетворять следующим требованиям: износостойкости, стабильности геометрической формы, прочности, плотности и др. Некоторым деталям достаточно удовлетворять одному из перечисленных требований, но большей части литых деталей нужно соблюдать сразу комплекс требований. К примеру, корпусные детали (станины, колонны, траверсы, салазки и др.) должны иметь высокую жесткость, включать в себя износостойкие направляющие и не коробиться.

Характеристикой чугуна, которая преимущественно определяет работоспособность деталей этой группы - временное сопротивление при растяжении.

Работоспособность – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, которые установлены требованиями технической документации. Техническим условием для отливки этих деталей рекомендуется чугун высших марок. Так как высокие значения плотности и прочности достигаются при перлитной структуре и равномерно распределенных включениях графита средних размеров, то требования к износостойкости обеспечиваются в этих случаях в чаще всего автоматически.

Чугун для изготовления таких деталей, как станины и колонны, траверсы, корпуса шпиндельных бабок и др., выбирают по величине временного сопротивления исходя из условий получения необходимой

жесткости и стабильности геометрической формы детали. Чаще всего для этих деталей принимают допустимым чугун СЧ25 или СЧ35.

Таким образом, технические условия предусматривают для изготовления деталей различного назначения чугун марок СЧ25 или выше. Однако при назначении конструктором марки чугуна для конкретных деталей возникают затруднения, связанные с чувствительностью чугуна к скорости его охлаждения.

Литые детали современных металлорежущих станков преимущественно имеют высокую жесткость. Жесткость станков значительно ниже. В основном причины отжатый узлов и деталей станка под нагрузкой вызваны наличием подвижных и неподвижных стыков между деталями.

Повышение жесткости литых деталей чаще всего достигается конструктивными мероприятиями: уменьшение плеч изгибающих и скручивающих сил, введением дополнительных опор, применением конфигураций поперечных сечений, хорошо сопротивляющихся изгибу и кручению.

Технологические литые детали должны иметь:

- 1) Простые и прямолинейные общие контуры, облегчающие изготовление, процессы формовки и очистки отливок;
- 2) Обоснованную толщину стенок в различных сечениях, чтобы обеспечивать необходимую прочность конструкции и возможность заполнения формы металлом;
- 3) Достаточное число окон для надежной и удобной установки стержней, вывода из них газов и последующей очистки внутренних полостей отливки.
- 4) Конструктивные уклоны, которые обеспечивают изготовление формы без усложняющих приемов и искажения контуров отливки формовочными уклонами;

Линейная усадка металла отливок является основной причиной появления остаточных напряжений. Для станочных отливок, имеющих относительно сложные контуры и достаточно большую разностенность – чаще всего характерна затрудненная усадка из-за механического или термического торможения её, а также совместного их действия. Как итог, в отливках при определенных температурах возникают остаточные напряжения.

При температуре около 900 °С чугун не имеет прочностных и пластических свойств (рисунок 9), что, в свою очередь, определяет образование в этой температурной зоне горячих трещин в отливках. С понижением температуры до 800 °С - пластичность чугуна возрастает, достигая максимума, затем стремительно уменьшается до 700 °С и становится почти незначительной при достижении 300 °С. Одновременно с этим происходит повышение прочностных свойств, которые достигают максимума примерно при 400°С. В случае превышения внутренними напряжениями, в результате торможения, усадки отливки прочностных свой чугуна в отливке при 500-600 °С образуются холодные трещины.

Выполнение плавных переходов и выравнивание скорости охлаждения различных сечений существенно уменьшают внутренние напряжения в отливках, а увеличение толщины их стенок и применение ребер жесткости позволяют повысить прочность опасных сечений, а также сопротивляемость отливки возникновению холодных трещин.

Непосредственные изменения базовых деталей металлорежущих станков показывают, что самопроизвольное изменение их геометрической формы достигает 20...200 мкм на 1000мм длины. Поэтому чугунные детали, от которых требуется высокая стабильность размеров, подвергают в большинстве случаев специальной обработке, называемой старением.

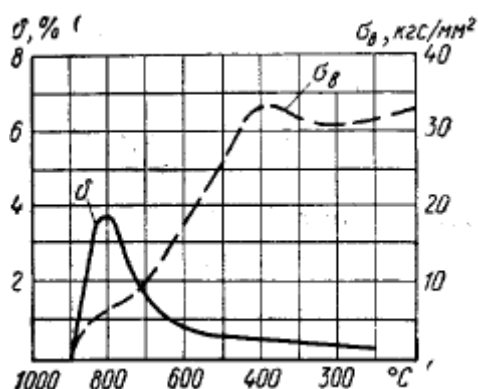


Рисунок 9 – Зависимость механических свойств серого чугуна от температуры

3.1 Разработка конструкции станины

Форма и размеры станины напрямую зависят от конструкции станка, выбранной компоновки, материала и метода её изготовления. Исходя из этого, станины можно классифицировать по различным признакам.

По расположению станины бывают вертикальным, горизонтальными и наклонными. Они также могут быть составным или цельными. Исходя из назначения станины можно разделить на две группы:

1) Станины без направляющих. Их назначение сводится к обеспечению относительного положения присоединяемых к ним деталей и сборочных единиц.

2) Станины с направляющими. Их назначение сводится не только к обеспечению требуемого относительного положения, но и обеспечению требуемых движений узлов, которые будут установлены на направляющие: столов, суппортов, кареток и т.д.

Станины второй группы также отличаются между собой конструкцией. Например, направляющие могут быть как отлиты вместе со станиной, так и могут быть накладными (планки, пластины) и будут крепиться винтами или же приклеиваться.

При проектировании станины необходимо выбрать её компоновку, и подобрать размеры и материал изготовления так, чтобы станины смогла выполнять свое служебное назначение с требуемой надежностью при минимальных затратах на её изготовление и эксплуатацию. Один из немаловажных критериев оптимизации конструкции станины является её минимальная металлоемкость.

Исходя из вышеуказанного критерия – в станине спроектирована структура (с П-образными перегородками), которая при сохранении высокой жесткости детали существенно снижают её металлоемкость (рисунок 10).

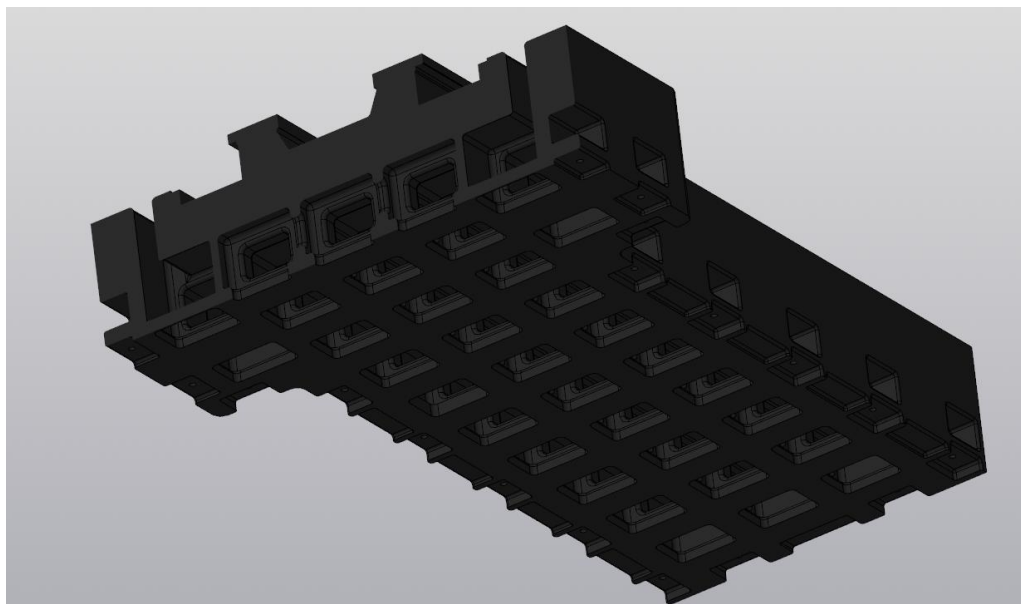


Рисунок 10 – Структура станины

Важно упомянуть, что наибольшее влияние на жесткость станины оказывает её ширина. Увеличение ширины станины с П-образными перегородками на 10% вызывает увеличение её жесткости на 25-30%.

3.2 Разработка конструкции колонны

Колонна – это вертикальная опора, которая жестко соединяется сразу со станиной и траверсой. Благодаря колоннам обеспечивается крепление последней на необходимой высоте над столом, что в свою очередь в дальнейшем позволит обрабатывать на станке детали с относительно большими габаритными размерами.

При изготовлении колонн требуется получить наибольшую жесткость детали при её наименьшей металлоемкости, поэтому при проектировании колонн была предусмотрена специальная структура (рисунок 10), позволяющая снизить металлоемкость колонны и её массу при незначительном влиянии на итоговую жесткость.

Материалом для литья был выбран серый чугун. Серый легированный чугун имеет более высокую стоимость, однако позволяет уменьшить металлоемкость детали при требуемой жесткости, повысить размерную точность литья и снизить припуски на обработку.

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

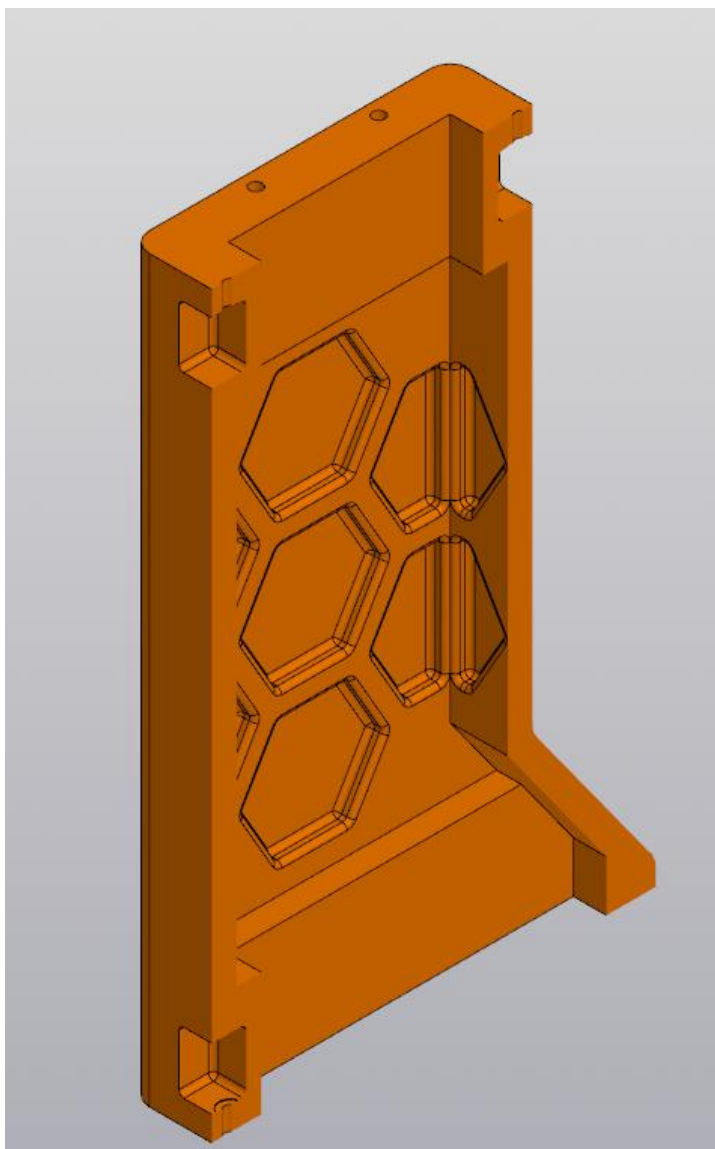


Рисунок 10 – Структура колонны

3.3 Разработка конструкции траверсы

Траверса – это горизонтальная балка, позволяющая существенно повысить жесткость портала путем её жесткого крепления на колонны станка.

Литая заготовка должна обладать высокой износостойкостью и твердостью монолитных направляющих, не допустим отбел чугуна в тонких стенках, приводящий к большим напряжениям, короблениям и трещинам.

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

В тонкостенных отливках из серого чугуна при охлаждении могут появиться трещины в связи с сопротивлением стержней литейной формы усадке отливки, особенно в диапазоне 200...250 °С, в этот момент чугун обладает минимальной прочностью и пластичностью. Вероятность появления трещин можно уменьшить: введением дополнительных продольных ребер в отливку, уменьшением размеров окон в продольных стенках, уменьшением размеров внутренних полостей отливки, увеличением толщины стенок. Однако перечисленные мероприятия увеличивают металлоемкость деталей и поэтому они должны быть обоснованы.

Траверса служит базой для крепления и перемещения по своим направляющим шпиндельного узла, поэтому, она должна обладать высокой жесткостью, поэтому при проектировании траверсы были добавлены дополнительные продольные ребра в отливку (рисунок 11), размеры окон выбирались исходя из итоговой массы детали и её металлоемкости.

Для отливки деталей станков широко используют модифицированный чугун. Для получения высококачественных отливок применяют чугун марок СЧ25, СЧ30, СЧ35 и т.д.

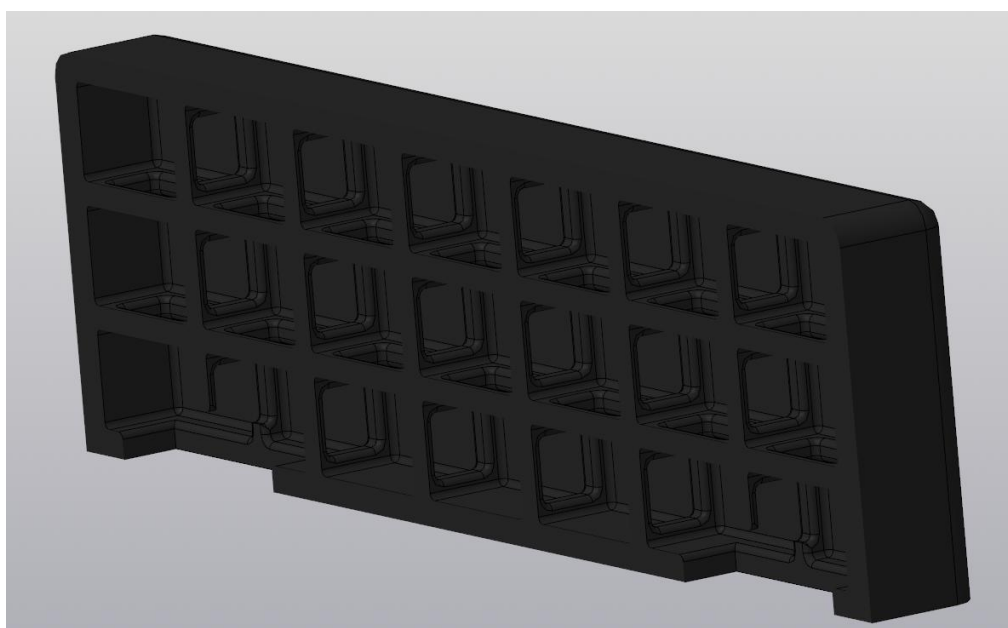


Рисунок 11 – Структура траверсы

4. Исследование спроектированной конструкции портално-фрезерного станка методом конечных элементов

В инженерных расчетах, с целью упрощения, реальные конструкции принято заменять идеализированными моделями или расчетными схемами. Что позволяет составить математическое описание объекта расчета и наиболее просто решить задачу.

Таким образом, применение упрощенных моделей формы конструкций деталей позволяет получать замкнутые решения, что облегчает проведение общего инженерного анализа.

Анализ НДС начинается с создания твердотельных моделей и их сборки, для чего можно применять различные CAD – программы, например *TopSolid*, *Nastran* и другие.

4.1 Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции станины

На рисунке 12 представлена твердотельная модель станины, выполненная с применением CAD – программы КОМПАС 3D.

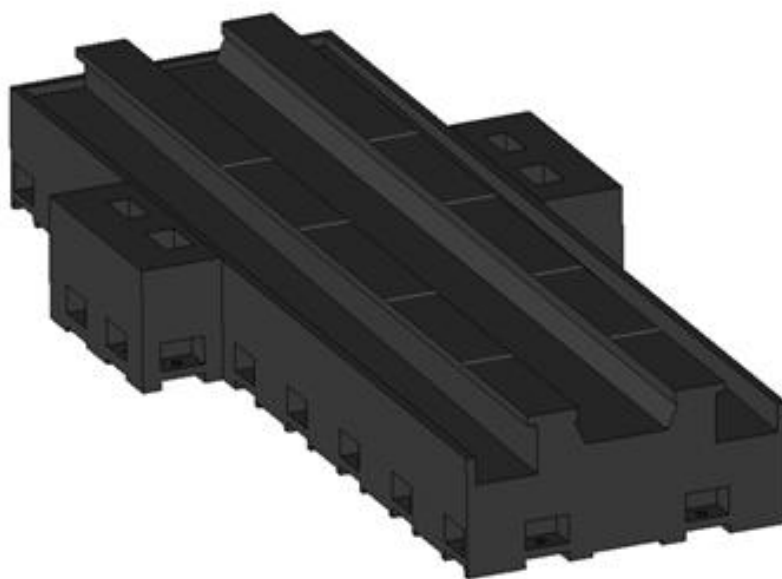


Рисунок 12 – Твердотельная модель станины

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции станины было выполнено при помощи CAD – программы *TopSolid*.

При исследовании были использованы граничные условия, которые показаны на рисунке 13 и указаны в таблице 1. Схема нагружения при центральном положении стола, показана на рисунке 13. Так же для расчёта нам будут нужны характеристика материала, которые представлены в таблице 3.

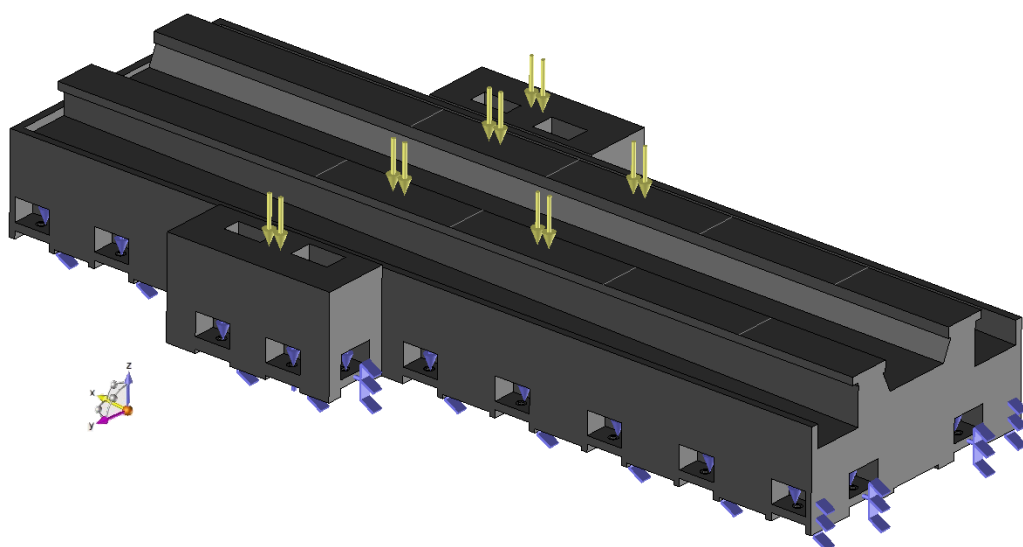


Рисунок 13 – Расчетная модель станины.

Таблица 1 – Граничные условия этой модели

Наименование	Значение
Вставить перемещения	0,0мм вдоль Z
Закрепление	

Таблица 2 – Нагрузки на модель

Наименование	Значение
Равномерная нагрузка к поверхности	100000Н вдоль Z
Равномерная нагрузка к поверхности	50000Н вдоль Z

Таблица 3 – Характеристика материала

Материал□	Деталь□	Модуль Юнга□ МПа□	Коэффициент Пуассона□	Плотность□ Кг/м3□	Предел□ упругости□
Cast-Iron-GJL-250-EN-1561□	станина_ap214_СЧ25□	110000□	0,29□	7200□	170□

На рисунке 14 показана сетка на твердотельной модели станины и в таблице 4 показана информация о сетке.

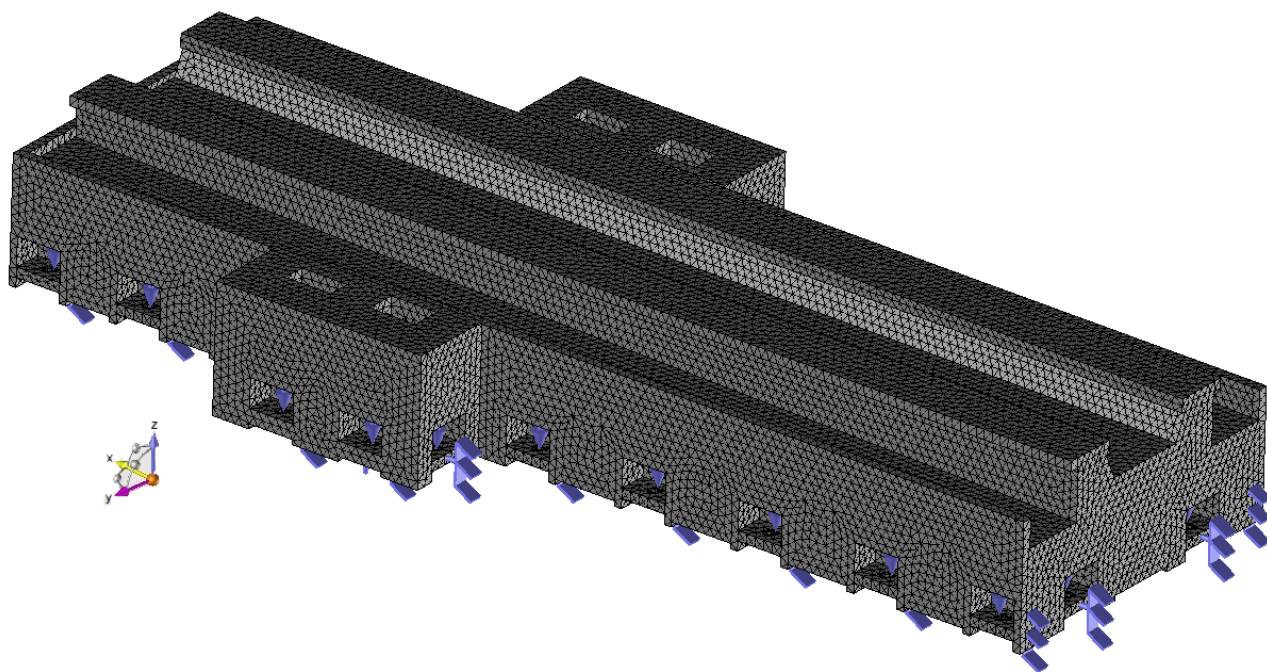


Рисунок 14 – Нанесение сетки на твердотельную модель
станины

Таблица 4 –Информация о сетке

<i>Деталь</i>	<i>Количество узлов</i>	<i>Количество элементов</i>	<i>Тип элемента</i>
Твердотельный	713624	474944	10-узловой тетраэдр

На рисунке 15 показаны перемещения по нормали.

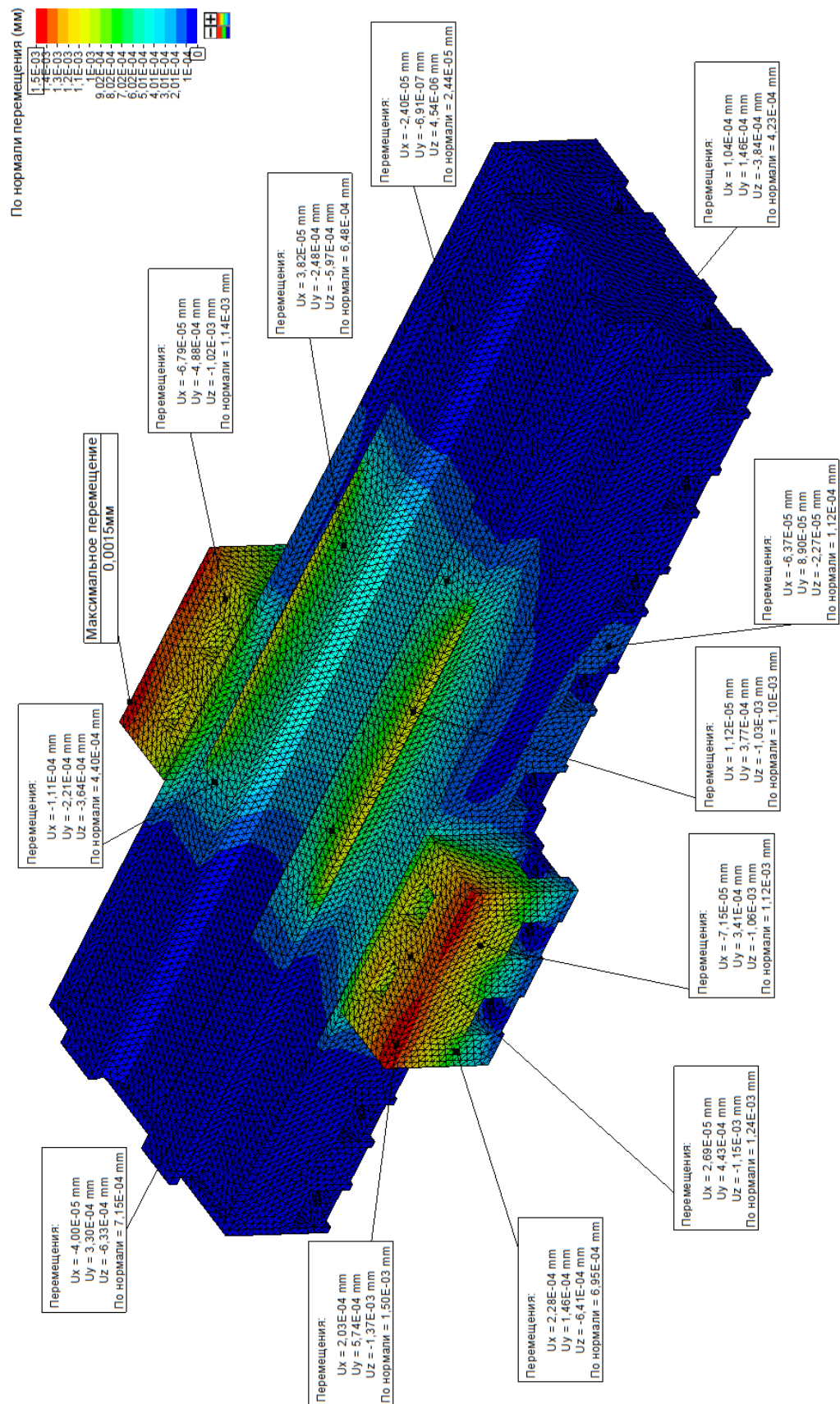


Рисунок 15 – Перемещения по нормали

На рисунке 16 показано перемещение вдоль оси X.

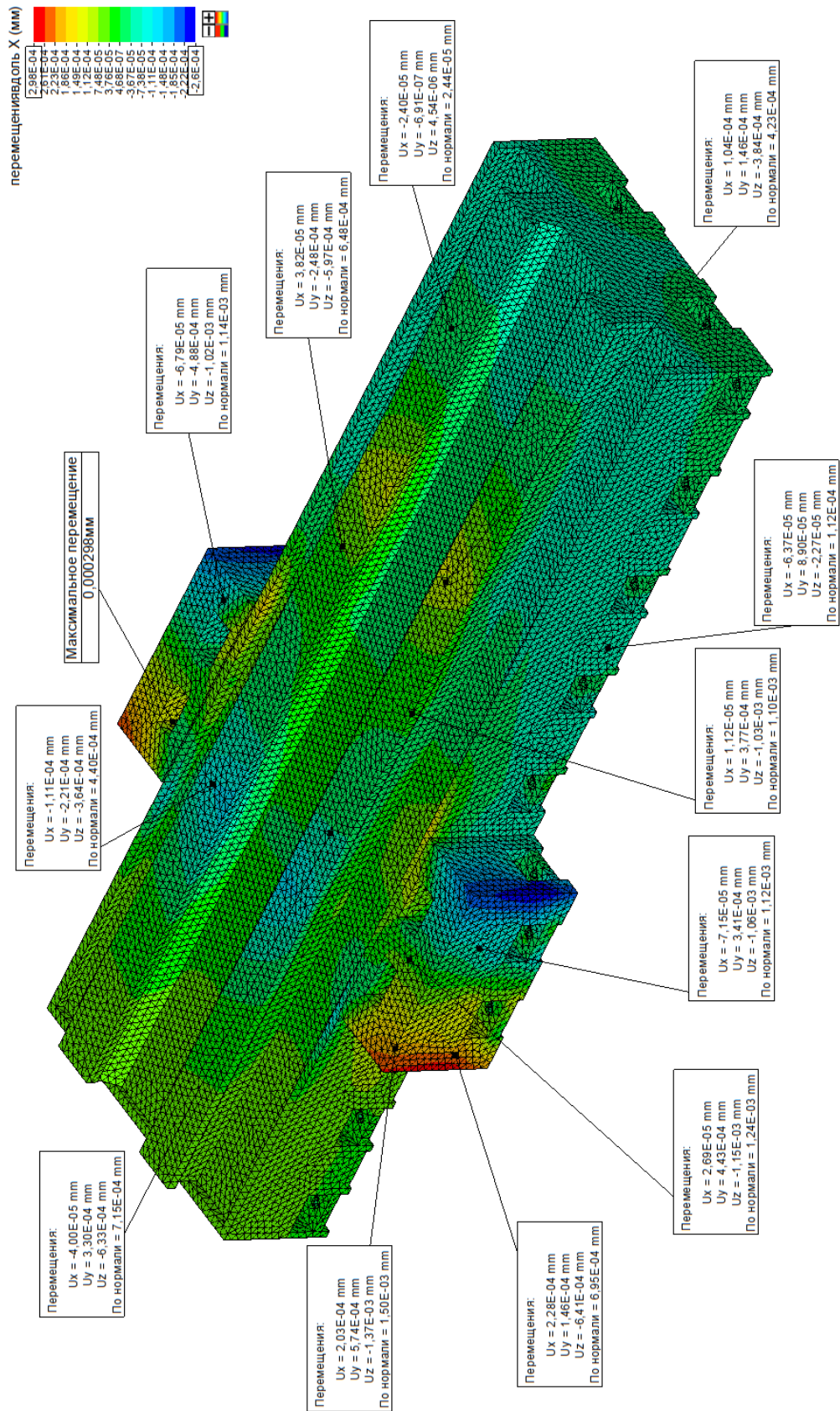


Рисунок 16 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 17 представлено перемещение вдоль оси Y.

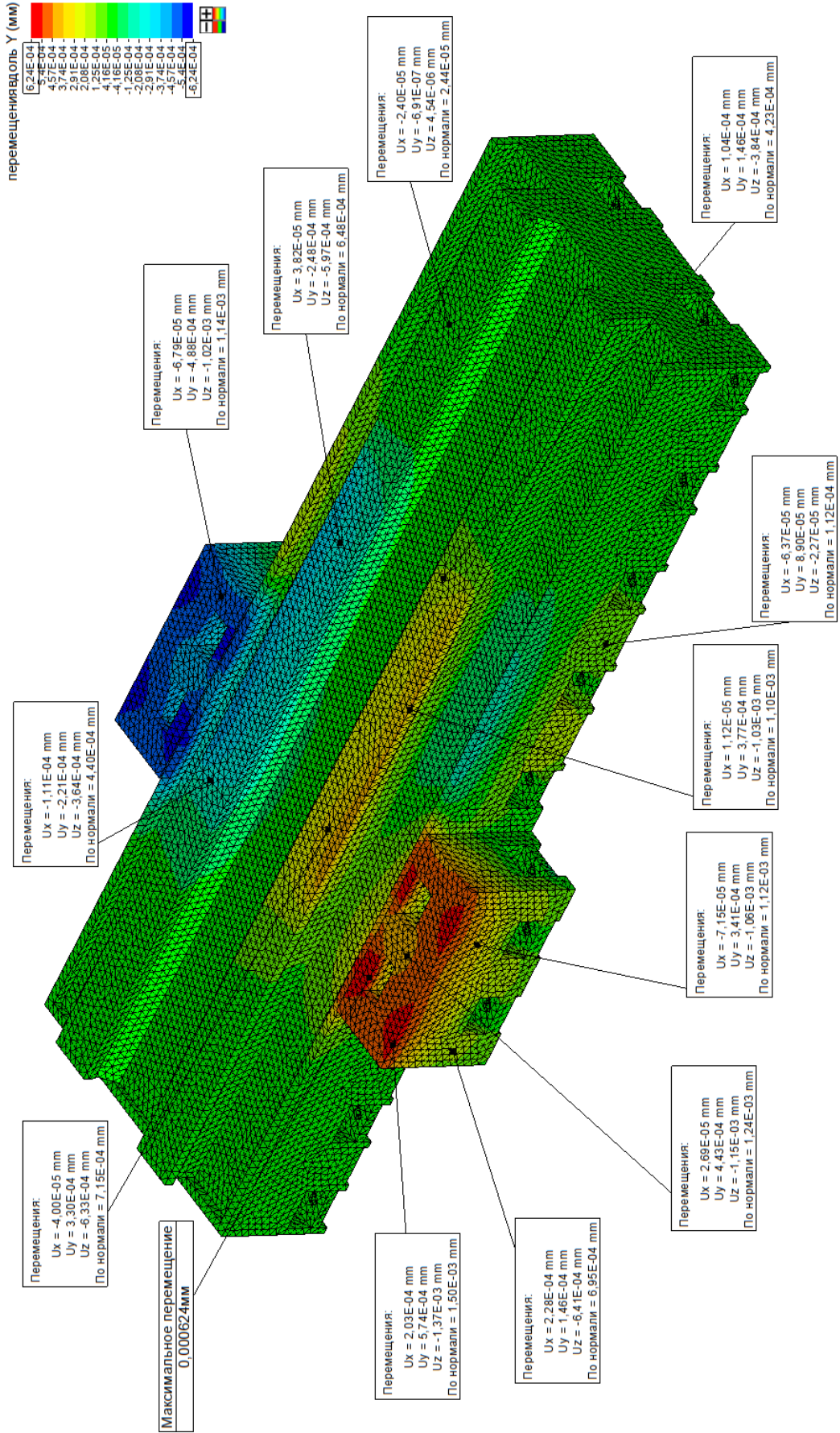


Рисунок 17 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 18 показано перемещение вдоль оси Z.

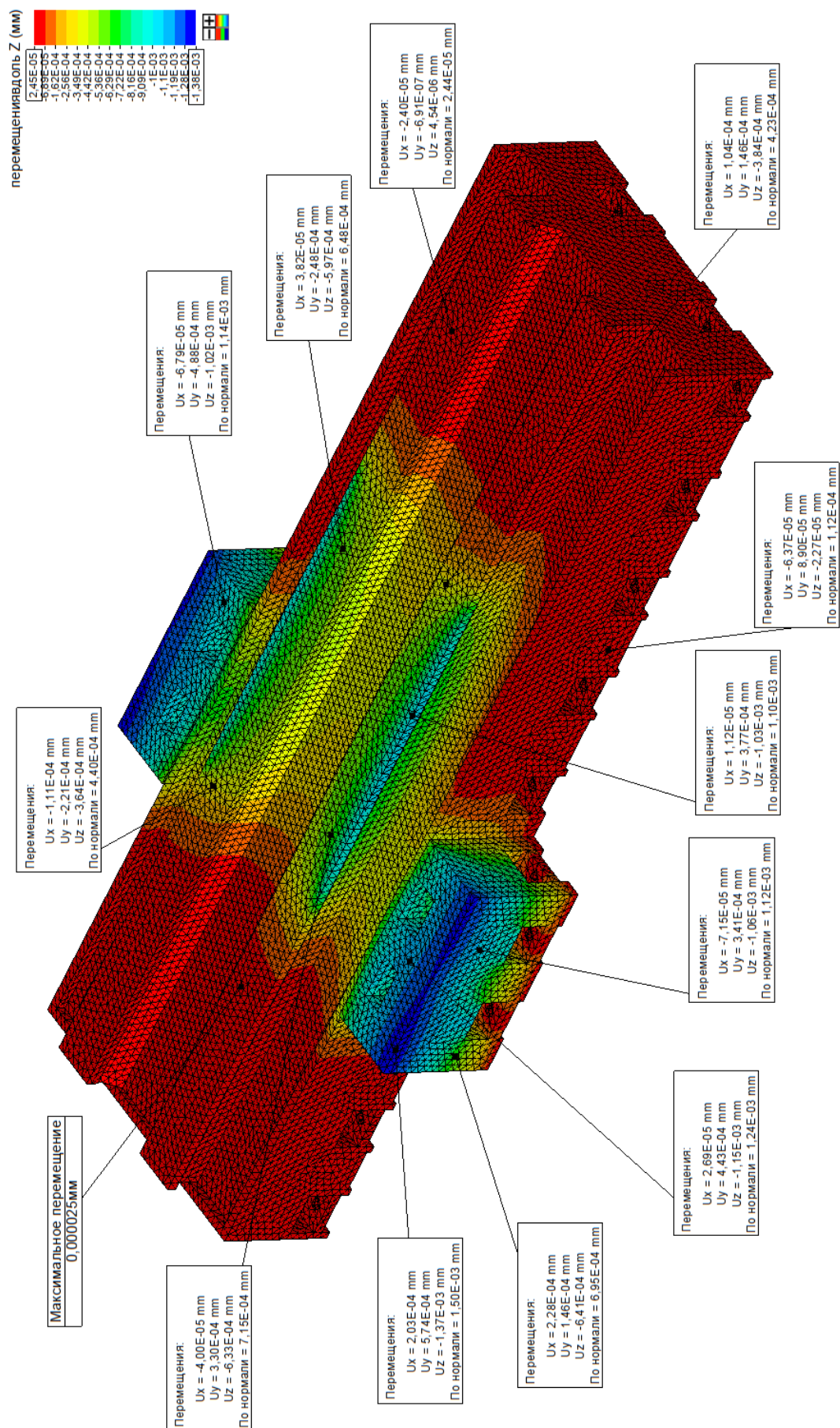


Рисунок 18 – Перемещение вдоль оси Z

3D finite element analysis (FEA) model of a mechanical part showing displacement results. The model is color-coded from blue (low displacement) to red (high displacement). A vertical color bar on the left indicates displacement values in mm, ranging from 6.24E-04 to 4.16E-05. Several callout boxes provide specific displacement data for different points on the model.

Color Bar Legend (Displacement in mm):

- 6.24E-04
- 5.62E-04
- 5.41E-04
- 4.99E-04
- 4.86E-04
- 4.74E-04
- 4.61E-04
- 3.74E-04
- 3.33E-04
- 2.91E-04
- 2.68E-04
- 2.68E-04
- 1.56E-04
- 8.32E-05
- 4.16E-05

Displacement Data Points:

- Top Left:**

Перемещения:
 $U_x = -1.11E-04$ mm
 $U_y = -2.21E-04$ mm
 $U_z = -3.64E-04$ mm
 По нормали = $4.40E-04$ mm
- Top Right:**

Перемещения:
 $U_x = -6.79E-05$ mm
 $U_y = -4.88E-04$ mm
 $U_z = -1.02E-03$ mm
 По нормали = $1.14E-03$ mm
- Bottom Left:**

Перемещения:
 $U_x = 3.82E-05$ mm
 $U_y = -2.48E-04$ mm
 $U_z = -5.97E-04$ mm
 По нормали = $6.48E-04$ mm
- Bottom Center:**

Перемещения:
 $U_x = -2.40E-05$ mm
 $U_y = -6.91E-07$ mm
 $U_z = 4.54E-06$ mm
 По нормали = $2.44E-05$ mm
- Bottom Right:**

Перемещения:
 $U_x = 1.04E-04$ mm
 $U_y = 1.46E-04$ mm
 $U_z = -3.84E-04$ mm
 По нормали = $4.23E-04$ mm
- Far Right:**

Перемещения:
 $U_x = -6.37E-05$ mm
 $U_y = 8.90E-05$ mm
 $U_z = -2.27E-05$ mm
 По нормали = $1.12E-04$ mm
- Far Left:**

Перемещения:
 $U_x = 1.12E-05$ mm
 $U_y = 3.77E-04$ mm
 $U_z = -1.03E-03$ mm
 По нормали = $1.10E-03$ mm
- Far Bottom Left:**

Перемещения:
 $U_x = -7.15E-05$ mm
 $U_y = 3.41E-04$ mm
 $U_z = -1.06E-03$ mm
 По нормали = $1.12E-03$ mm
- Far Bottom Center:**

Перемещения:
 $U_x = 2.69E-05$ mm
 $U_y = 4.43E-04$ mm
 $U_z = -1.15E-03$ mm
 По нормали = $1.24E-03$ mm
- Far Bottom Right:**

Перемещения:
 $U_x = 2.03E-04$ mm
 $U_y = 6.74E-04$ mm
 $U_z = -1.37E-03$ mm
 По нормали = $1.50E-03$ mm
- Far Bottom Left (Bottom):**

Перемещения:
 $U_x = -4.00E-05$ mm
 $U_y = 3.30E-04$ mm
 $U_z = -6.33E-04$ mm
 По нормали = $7.15E-04$ mm
- Far Bottom Center (Bottom):**

Перемещения:
 $U_x = 2.28E-04$ mm
 $U_y = 1.46E-04$ mm
 $U_z = -6.41E-04$ mm
 По нормали = $6.95E-04$ mm

Maximal Displacement: 0.000624 mm

Лист

На рисунке 20 представлены перемещения в плоскости XZ

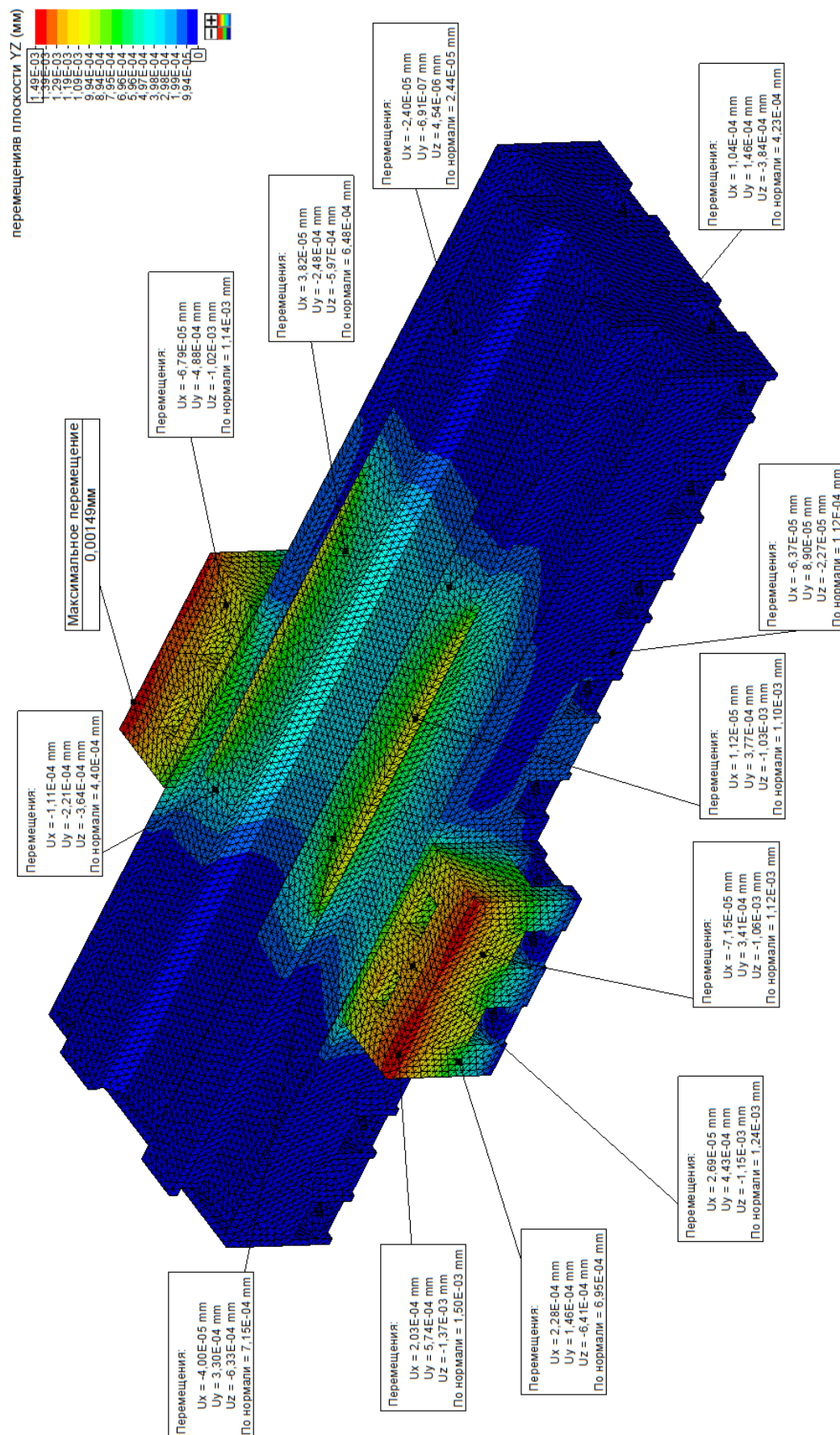


Рисунок 20. Поверхность перемещений в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям, а также смещению по нормали мы привели в таблице 5, а в таблице 6 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 5 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение по X	96457	2,9699E-004
Перемещение по Y	88645	6,2080E-004
Перемещение по Z	329472	2,4496E-005
Смещение по нормали	97094	1,4992E-003

Таблица 6 – Максимальные перемещения в плоскостях

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение в плоскости XY	14644	6,24E-004
Перемещение в плоскости XZ	14972	1,4E-004
Перемещение в плоскости YZ	429531	1,49E-005

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 22 и 23

Напряжения по Мизесу в МПа.
Предел упругости = 170МПа

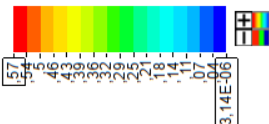
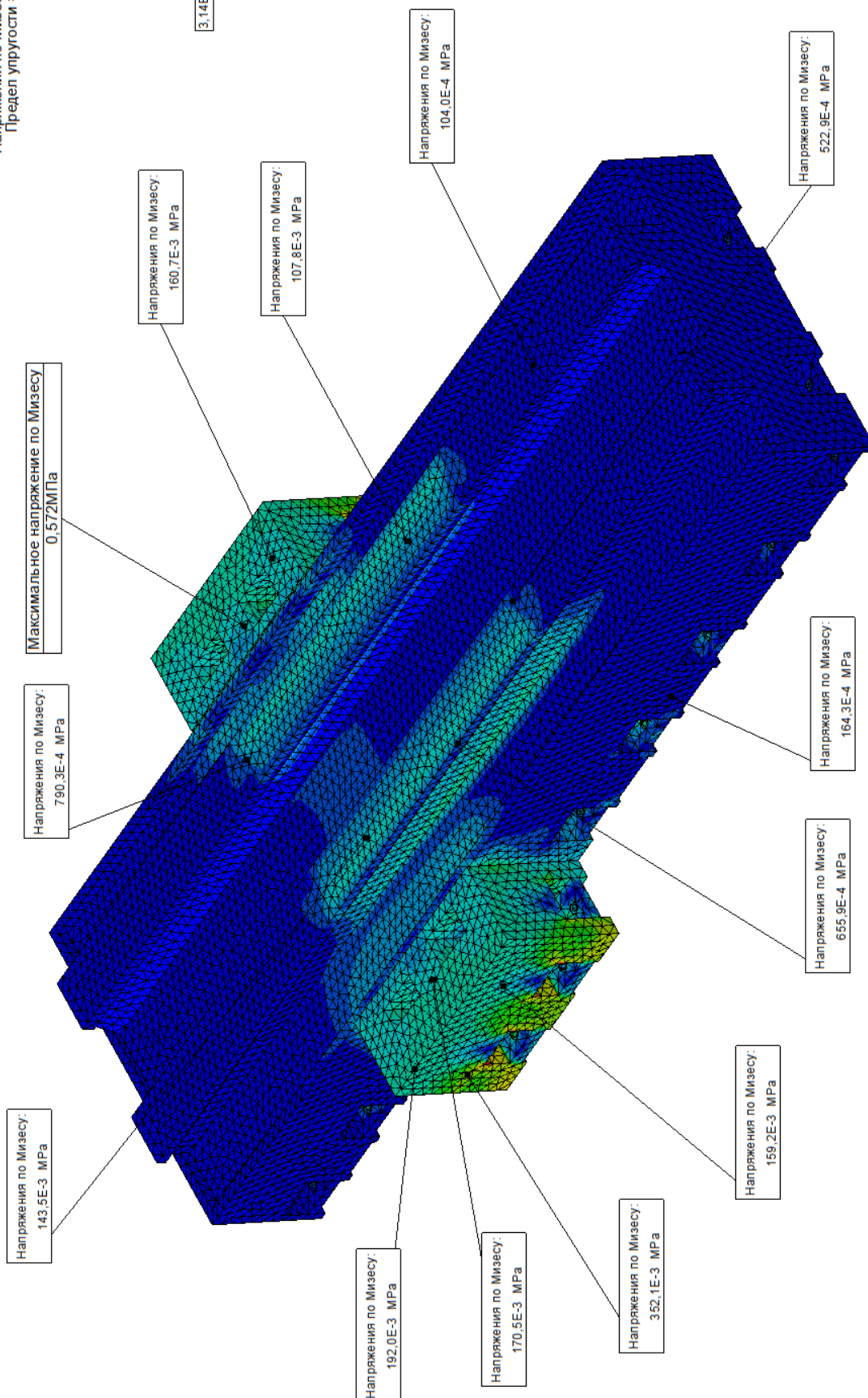


Рисунок 22 – Напряжения по Мизесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

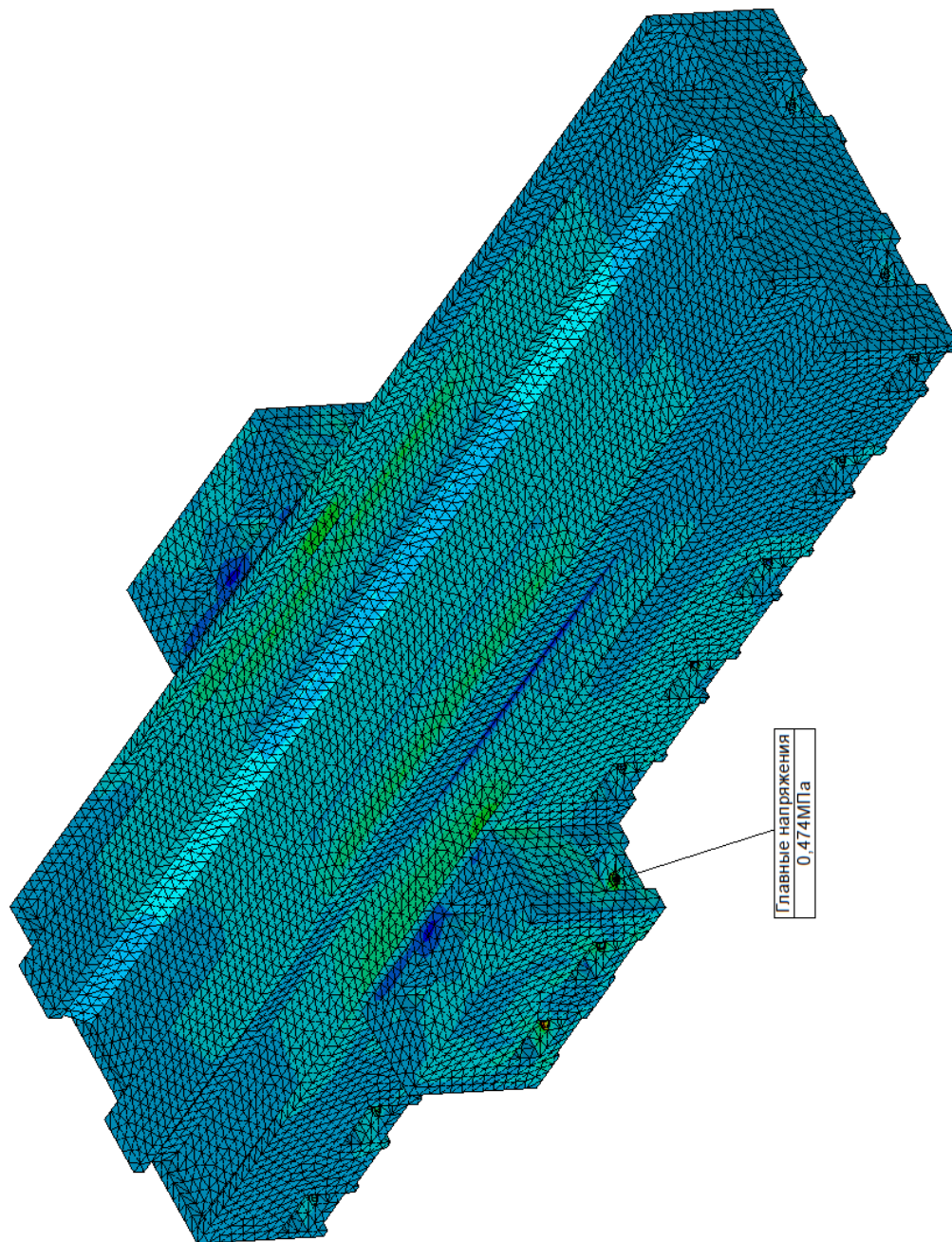


Рисунок 23 – Главные напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Далее представлены результаты для крайнего положения стола на станине.

На рисунке 24 показаны перемещения по нормали.

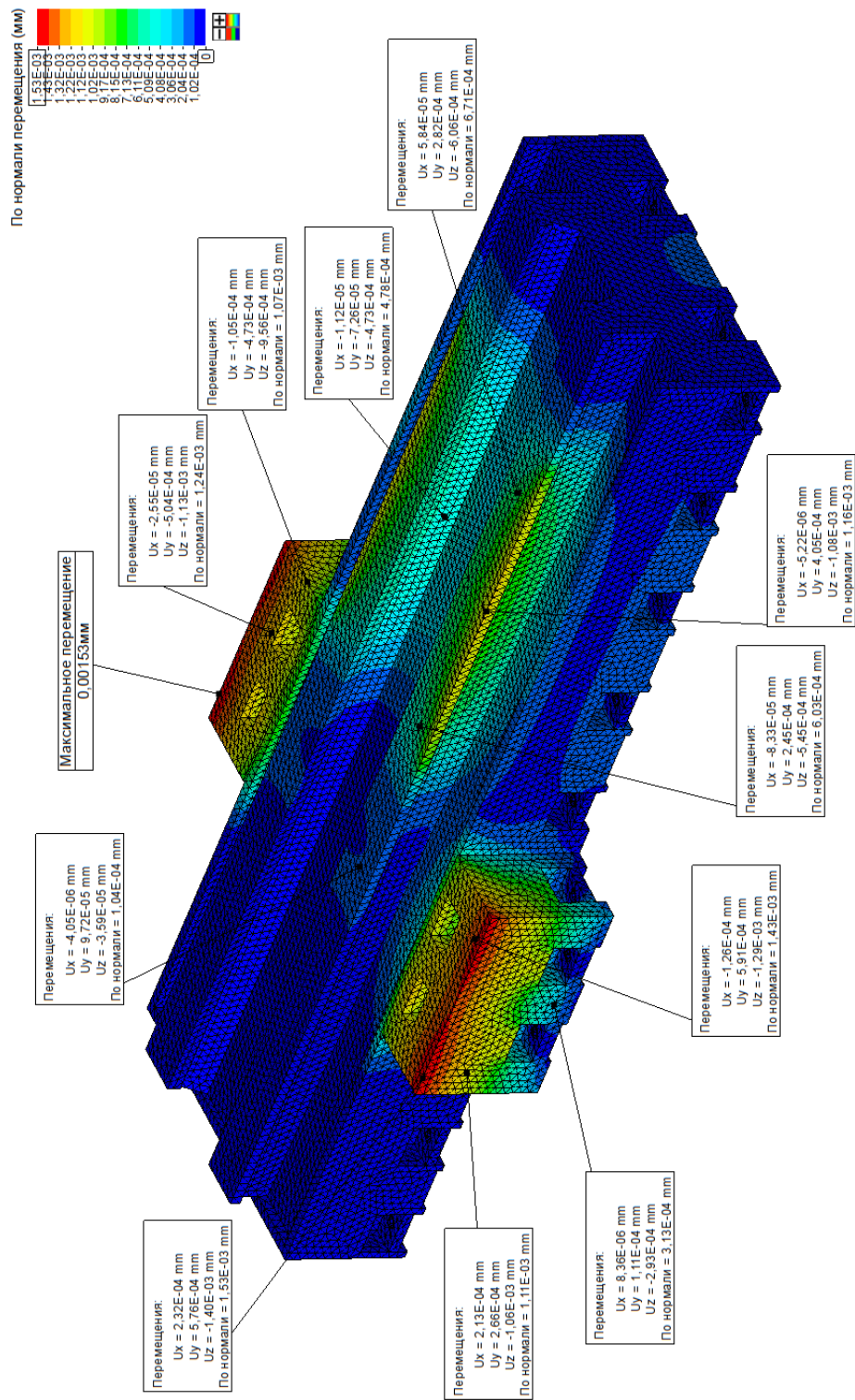


Рисунок 24 – Перемещения по нормали

На рисунке 25 показано перемещение вдоль оси X.

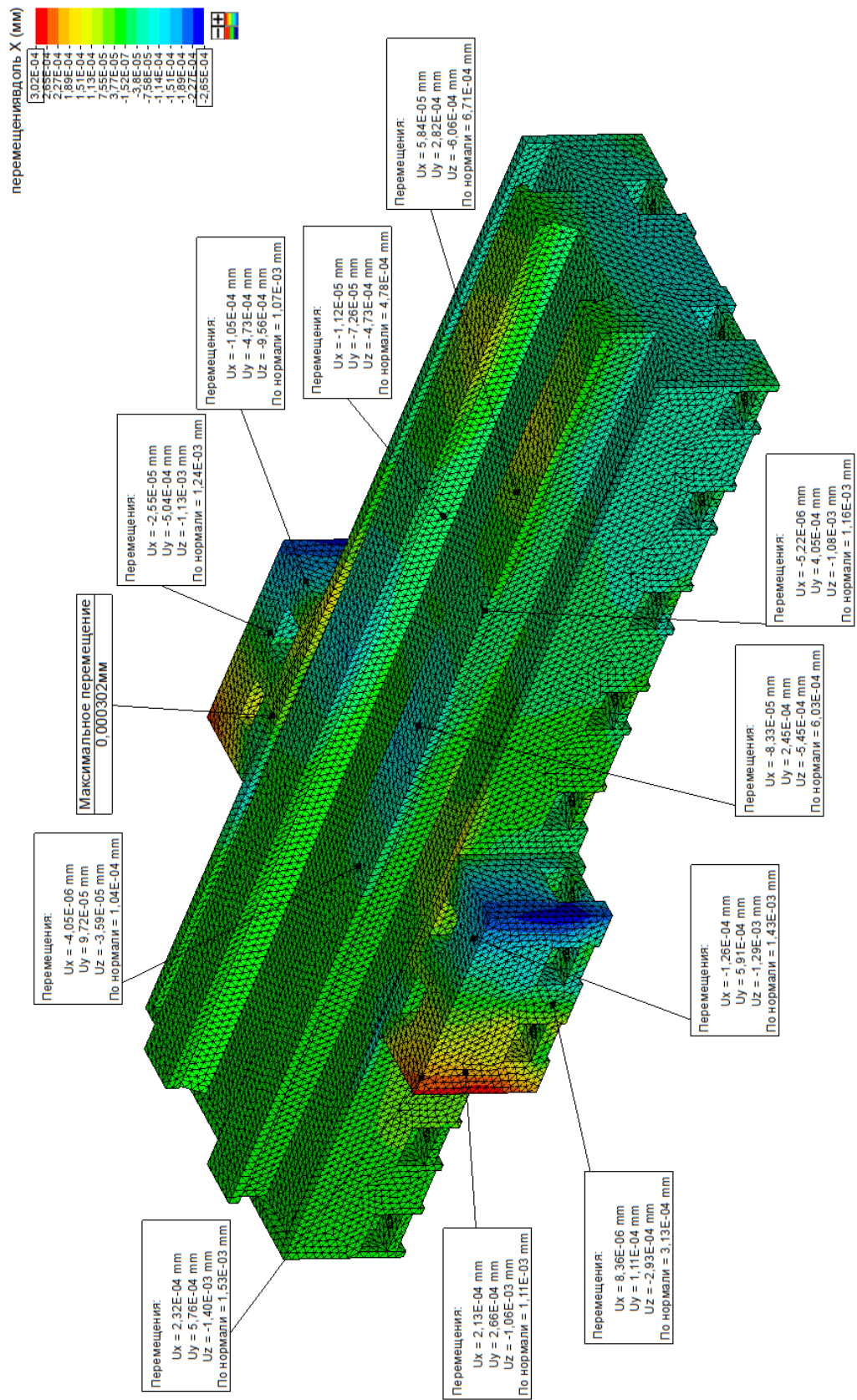


Рисунок 25 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 26 представлено перемещение вдоль оси Y.

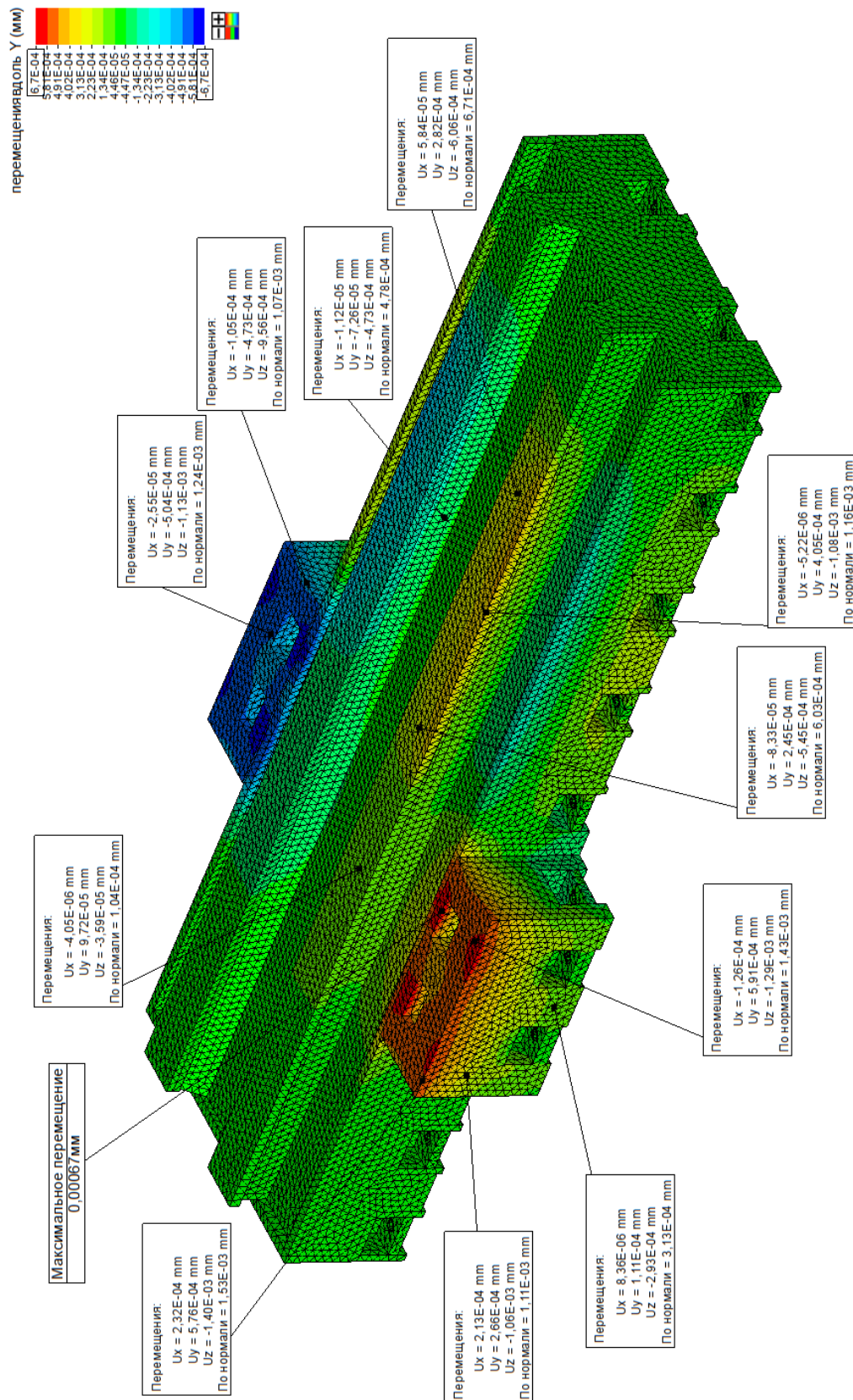


Рисунок 26 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 27 показано перемещение вдоль оси Z.

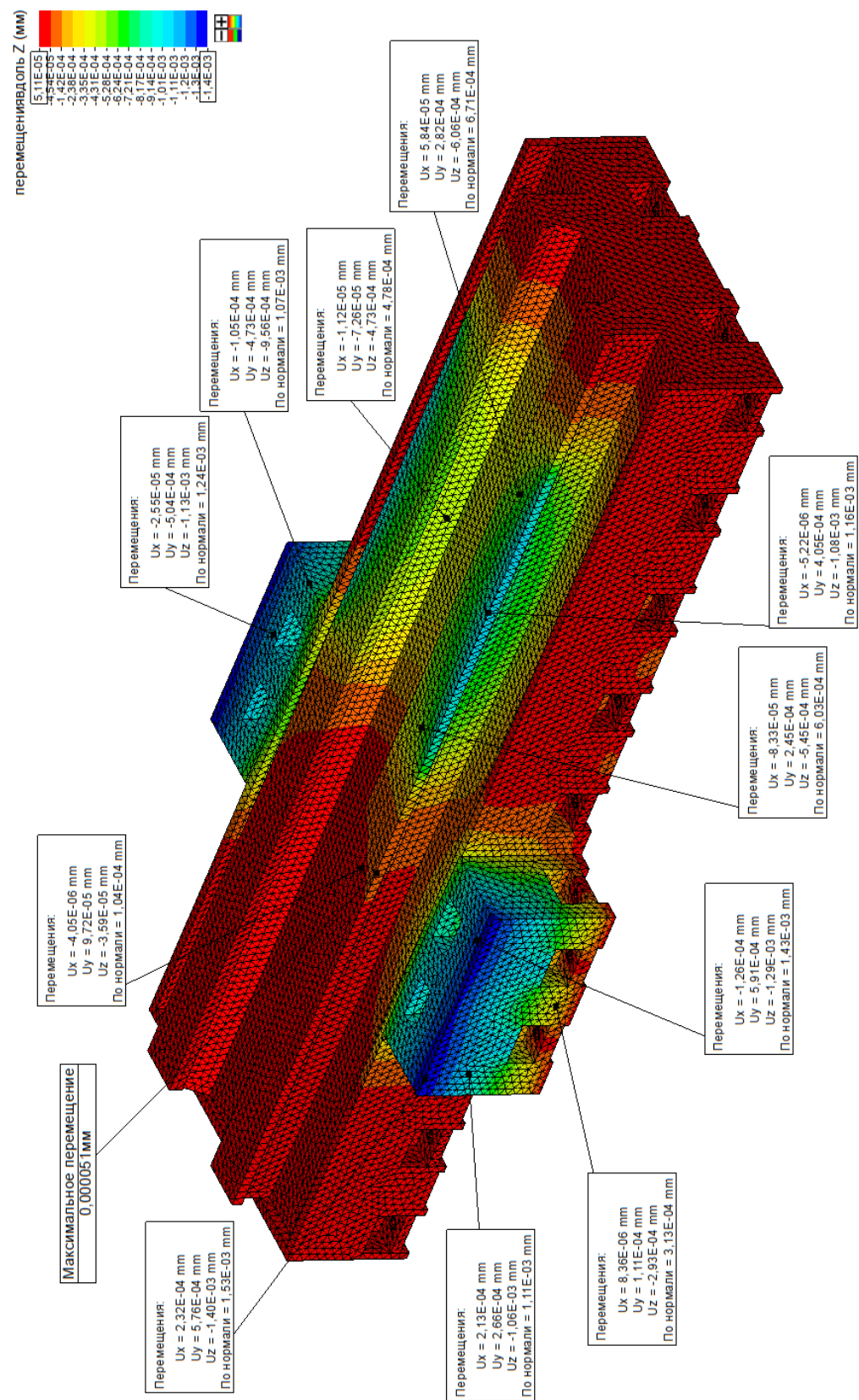


Рисунок 27 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 28 показано перемещение в плоскости ХУ

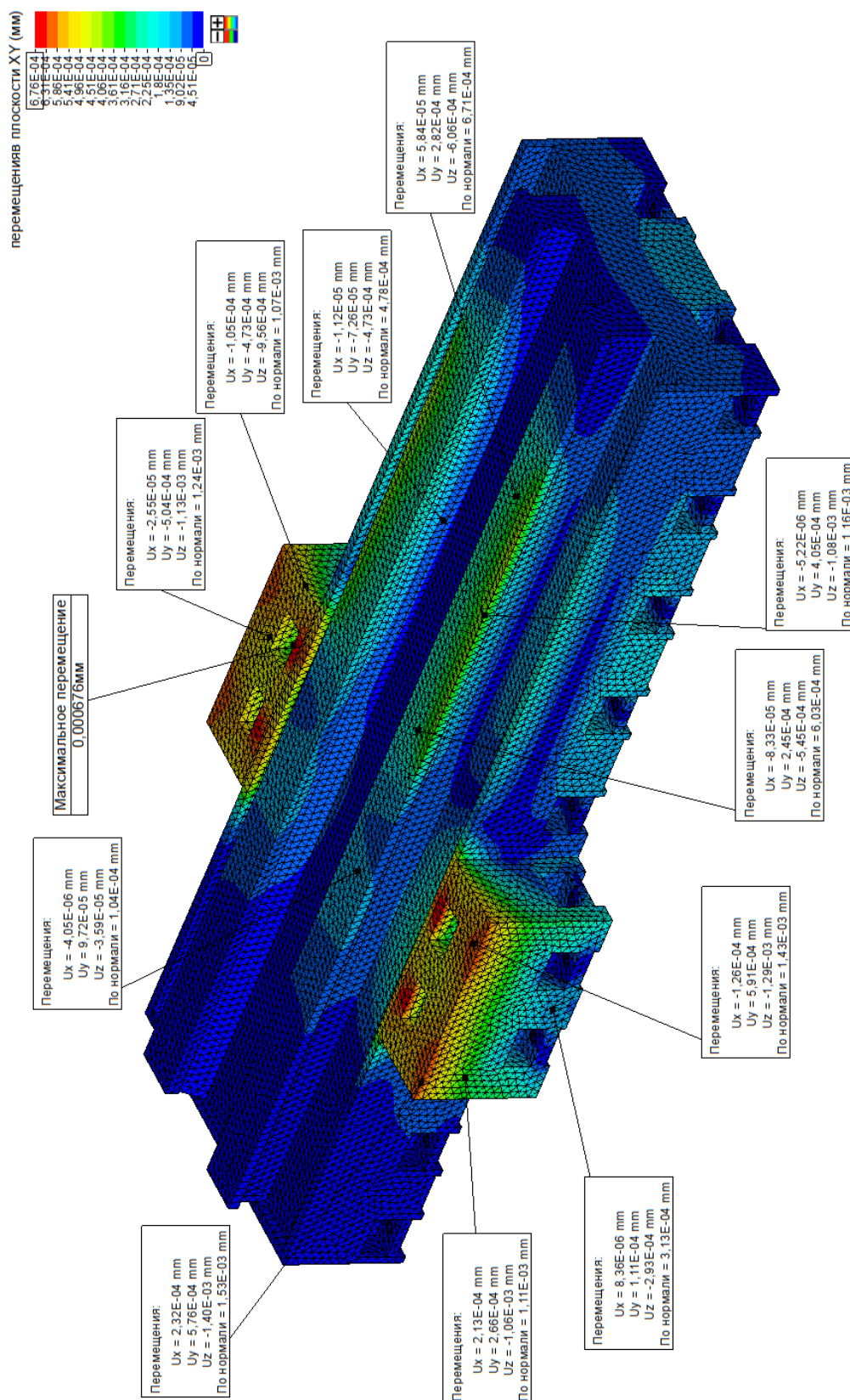


Рисунок 28 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 29 представлены перемещения в плоскости XZ

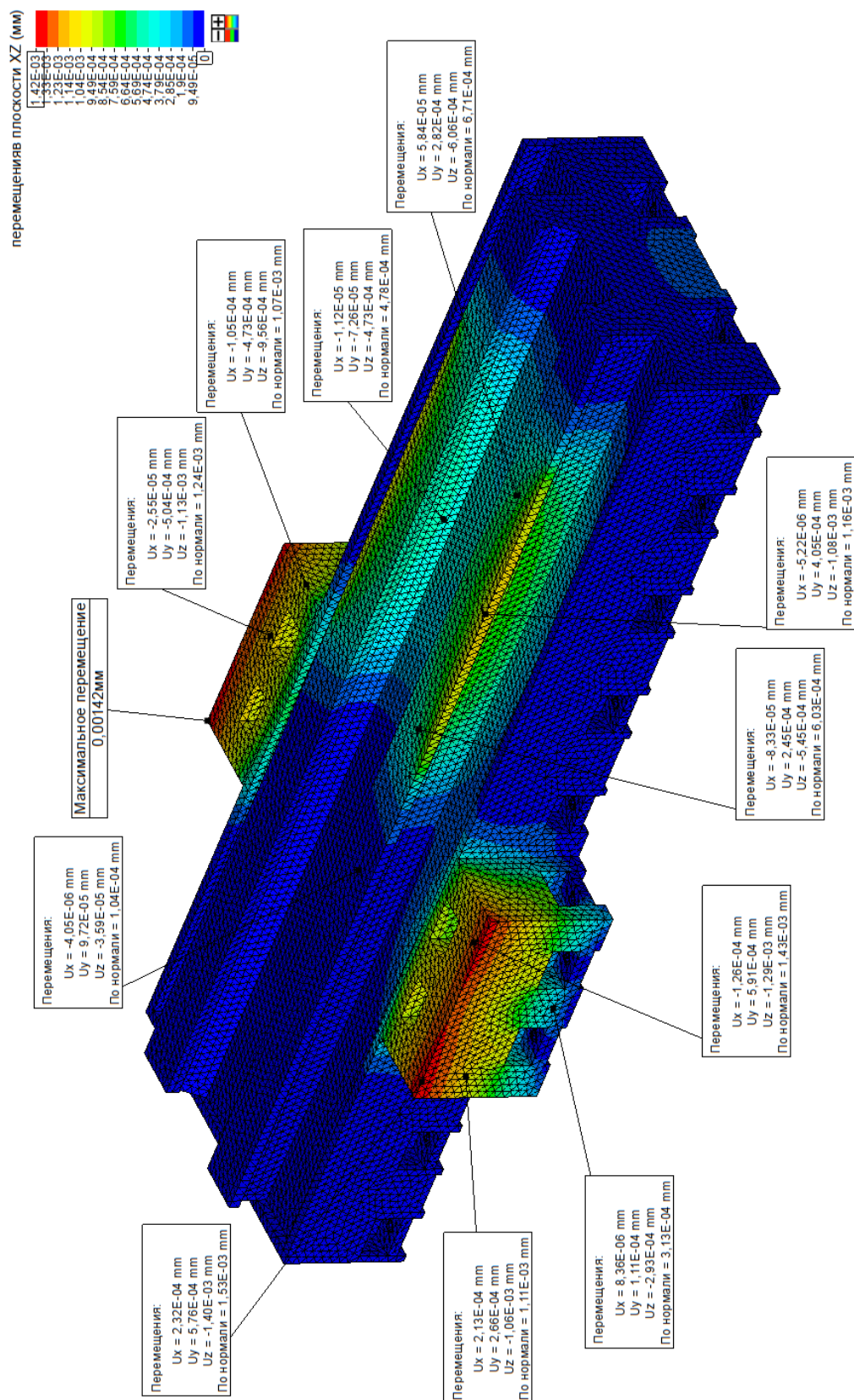
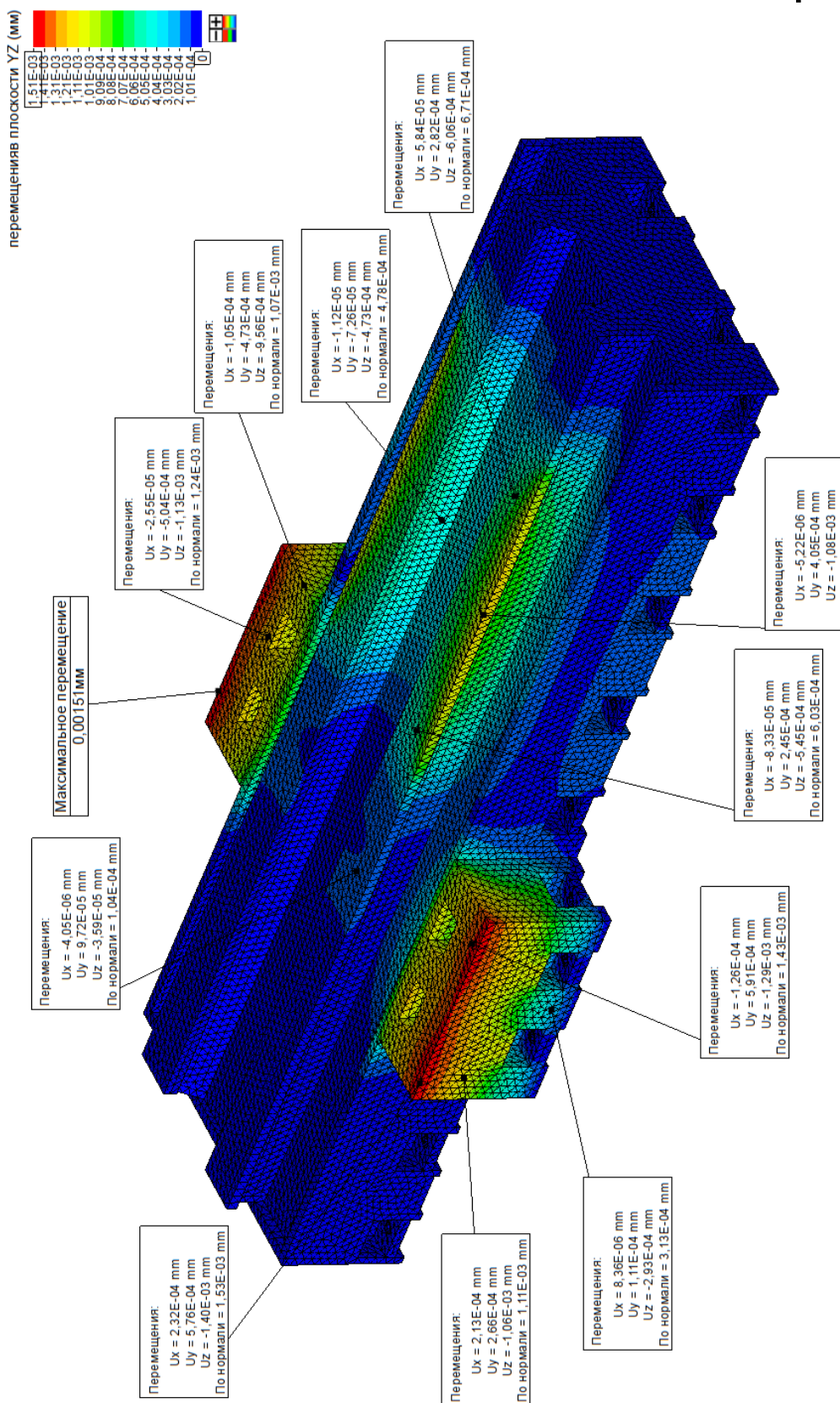


Рисунок 29 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 30 показаны перемещения в плоскости YZ



Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 2.15.03.02.08.00.00ПЗ

Лист

53

Данные по максимальному перемещению по осям и смещению по нормали мы привели в таблице 7, а в таблице 8 показаны перемещение в плоскостях.

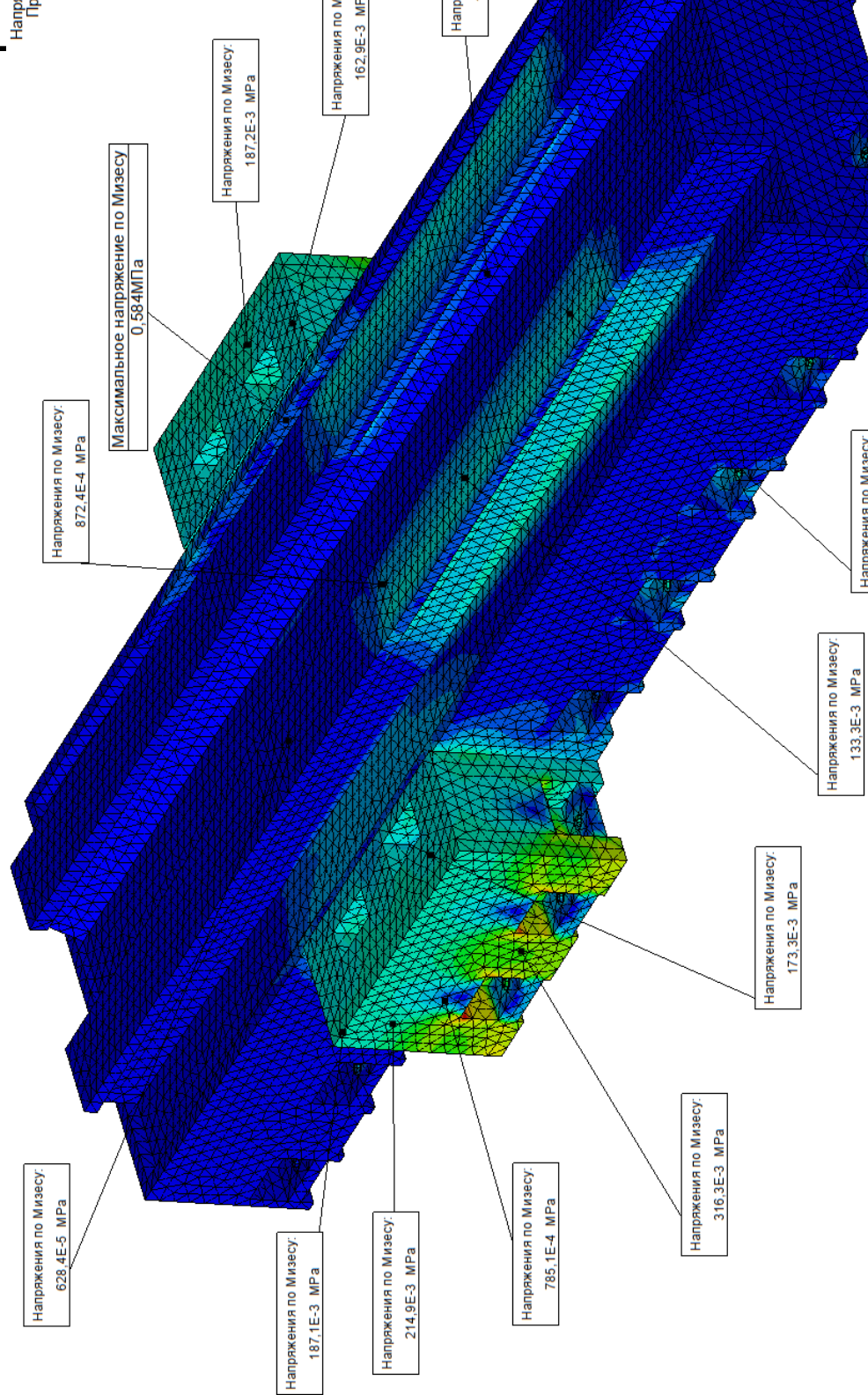
Таблица 7 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение по X	96457	2,9699E-004
Перемещение по Y	88645	6,2080E-004
Перемещение по Z	329472	2,4496E-005
Смещение по нормали	97094	1,4992E-003

Таблица 8 – Максимальные перемещения в плоскостях

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение в плоскости XY	14644	6,76E-004
Перемещение в плоскости XZ	14972	1,42E-004
Перемещение в плоскости YZ	429531	1,51E-005

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 31 и 32



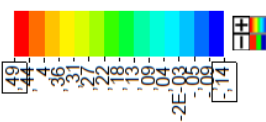
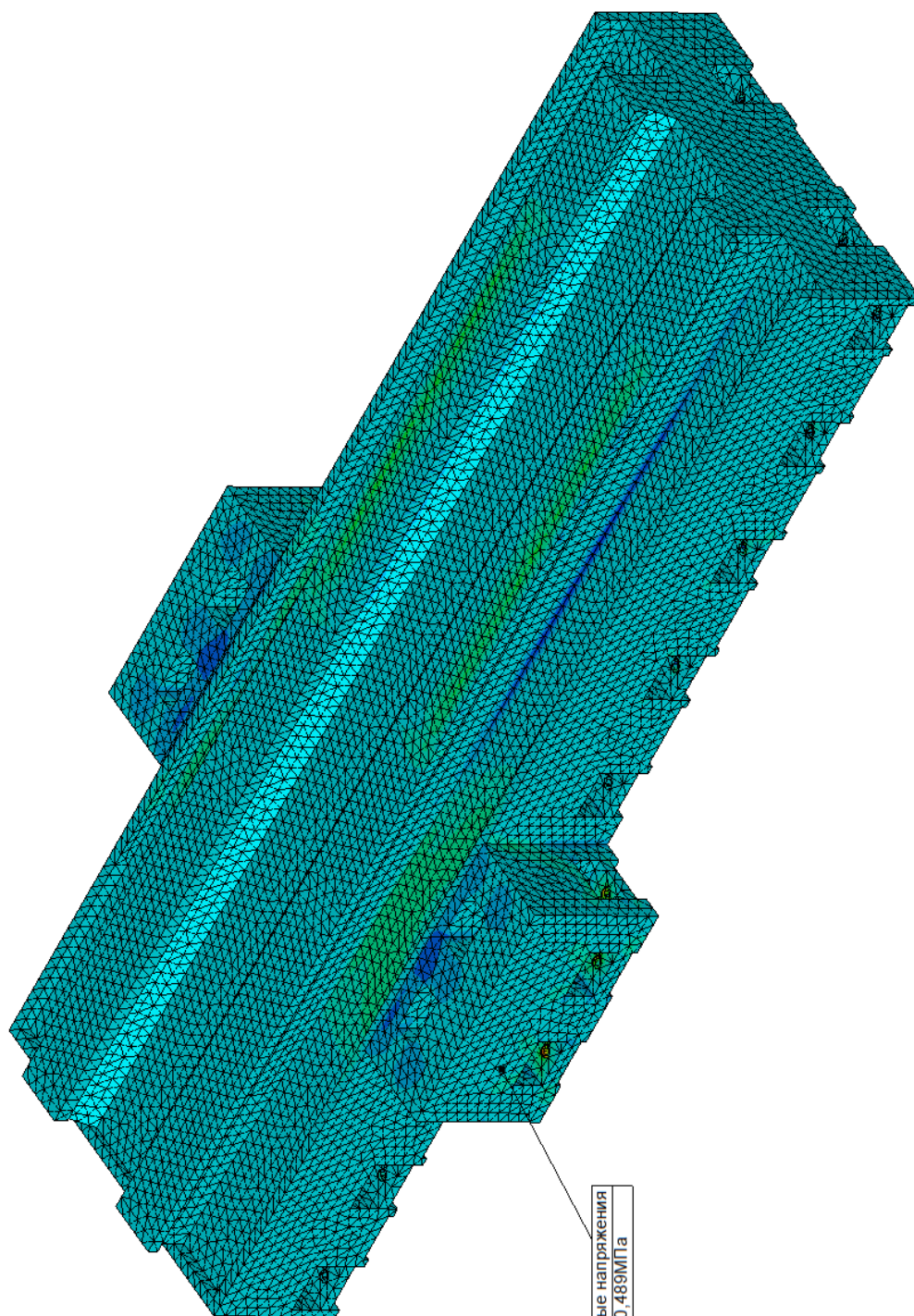
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

55

Главные напряжения Sigma11 в МПа



Главные напряжения
0,489МПа

Рисунок 32 – Главные напряженияSigma 11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

57

Продельываем тоже самое, но уже для материала СЧ35.

Таблица 9 – Характеристика материала

<i>Материал</i>	<i>Деталь</i>	<i>Модуль Юнга МПа</i>	<i>Коэффициент Пуассона</i>	<i>Плотность Кг/м3</i>	<i>Предел упругости</i>
Cast Iron GJL-350 EN 1561	станина_ар214	130000	0,29	7200	230

На рисунке 33 показаны перемещения по нормали.

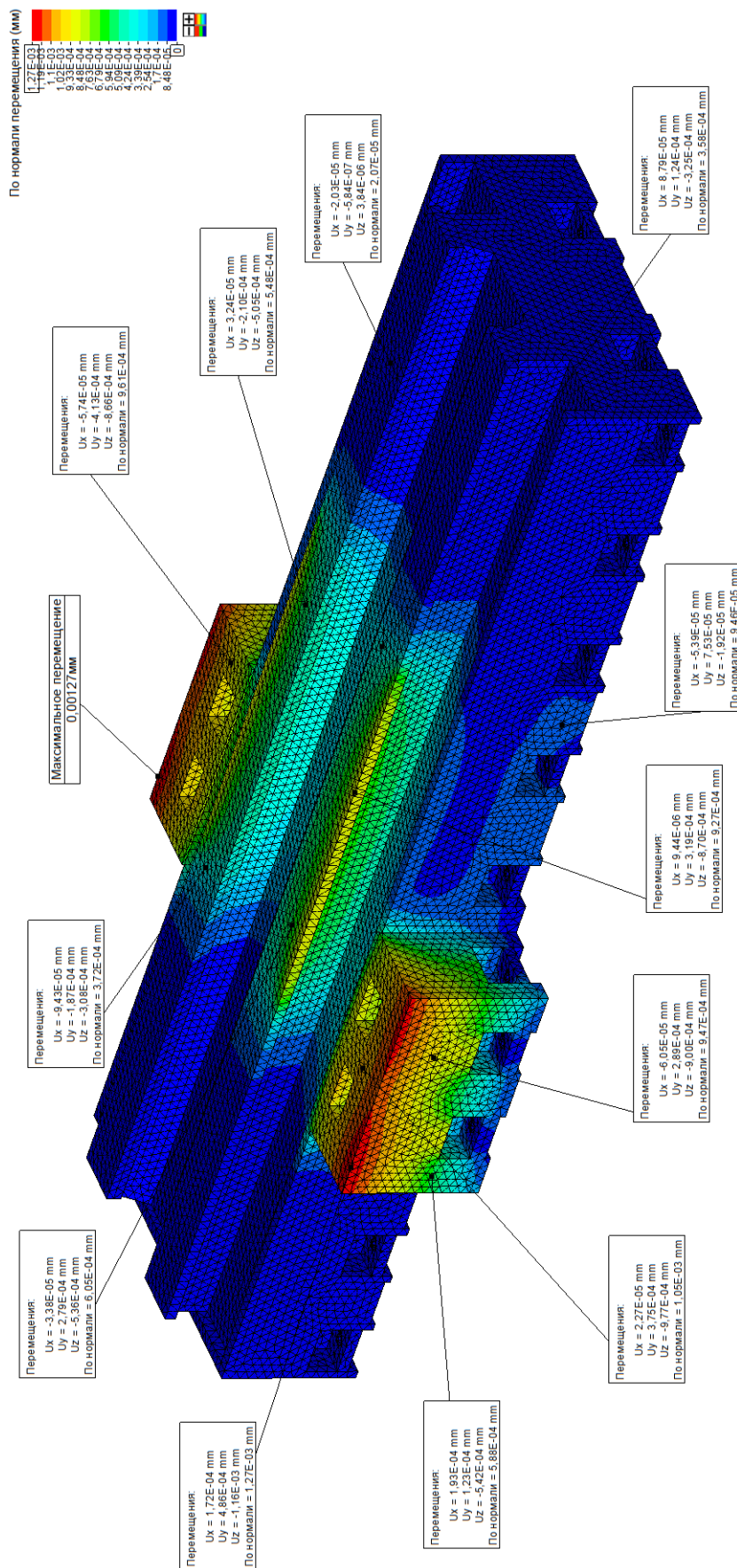


Рисунок 33 – Перемещения по нормали

На рисунке 34 показано перемещение вдоль оси X.

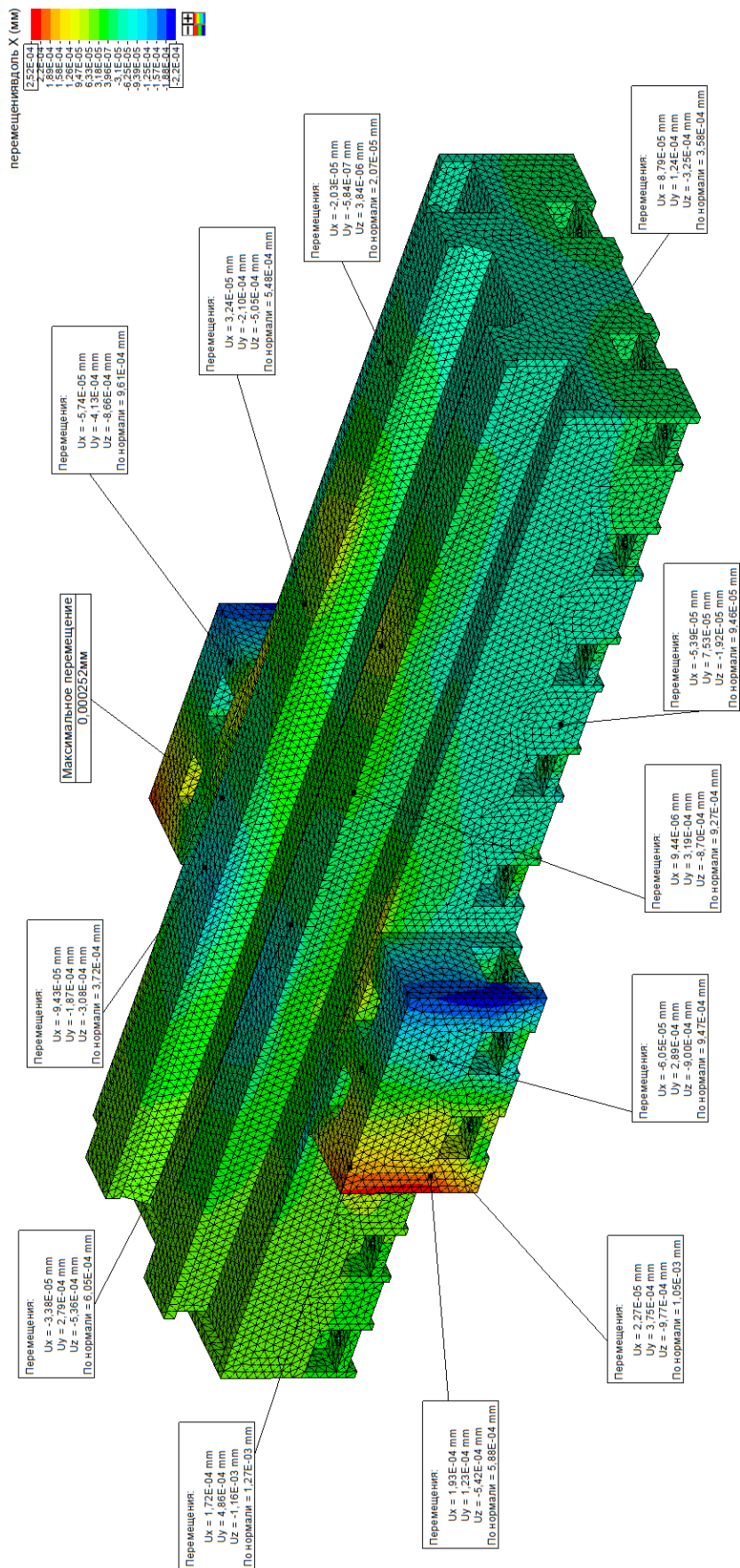


Рисунок 34 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 35 представлено перемещение вдоль оси Y.

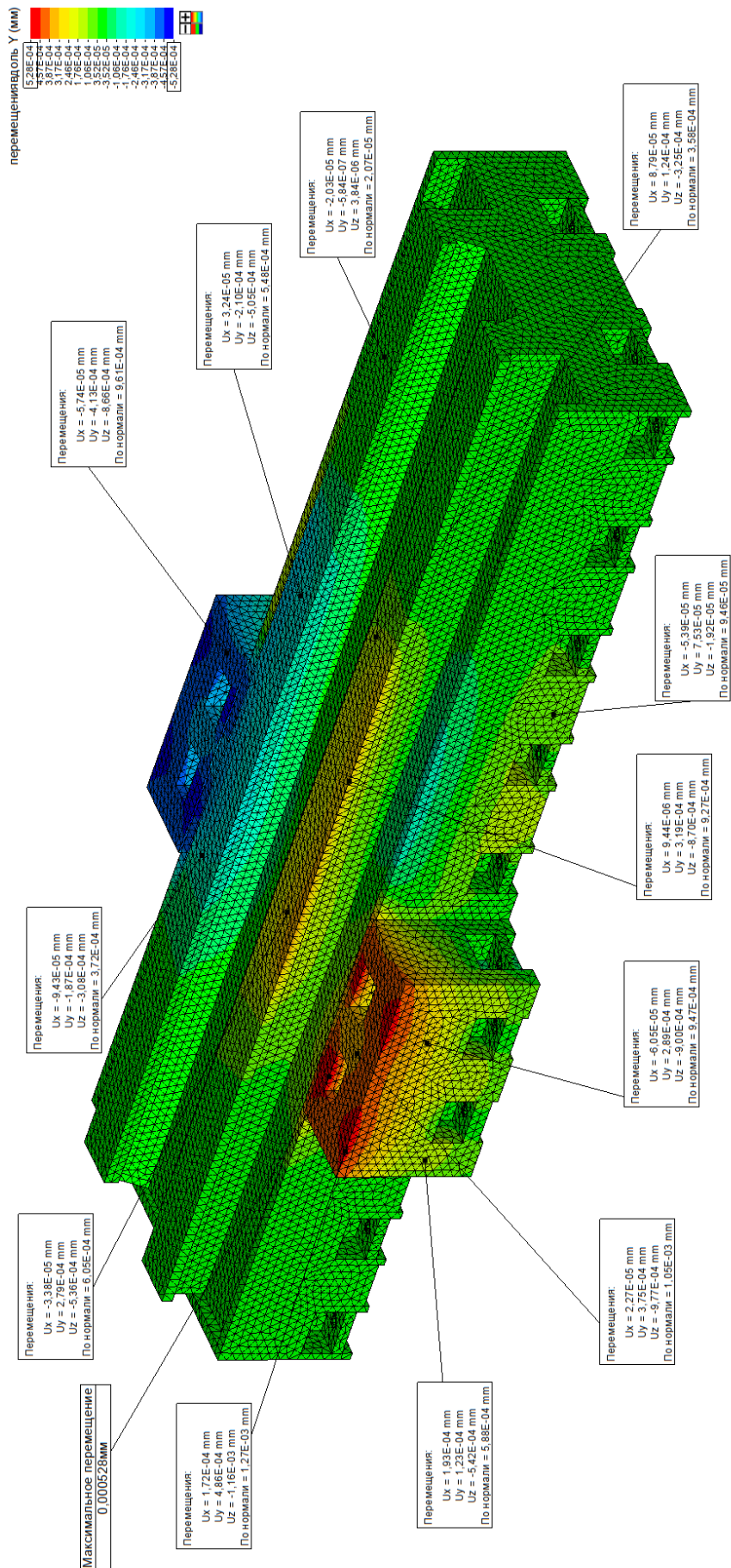


Рисунок 35 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 36 показано перемещение вдоль оси Z.

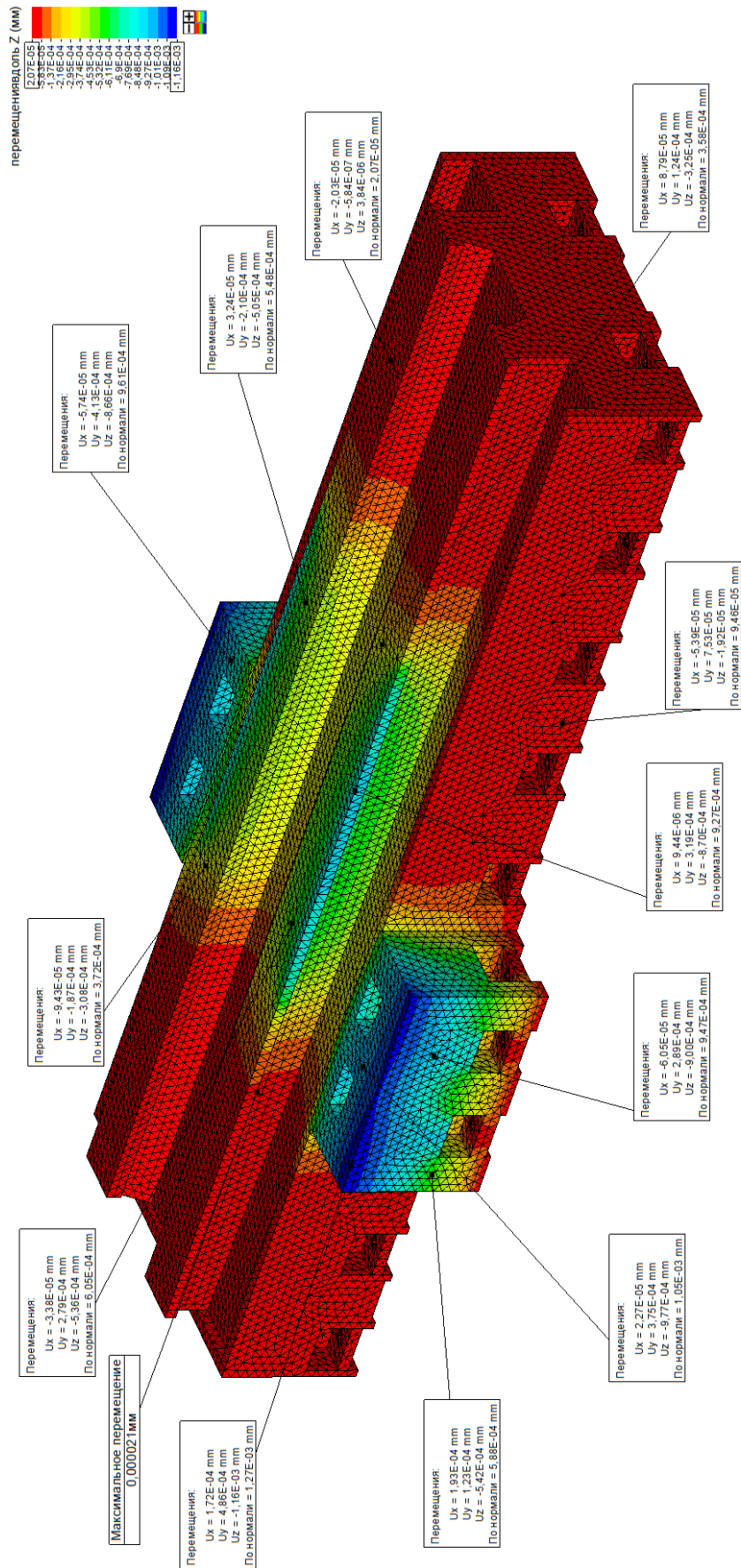


Рисунок 36 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 37 показано перемещение в плоскости ХУ

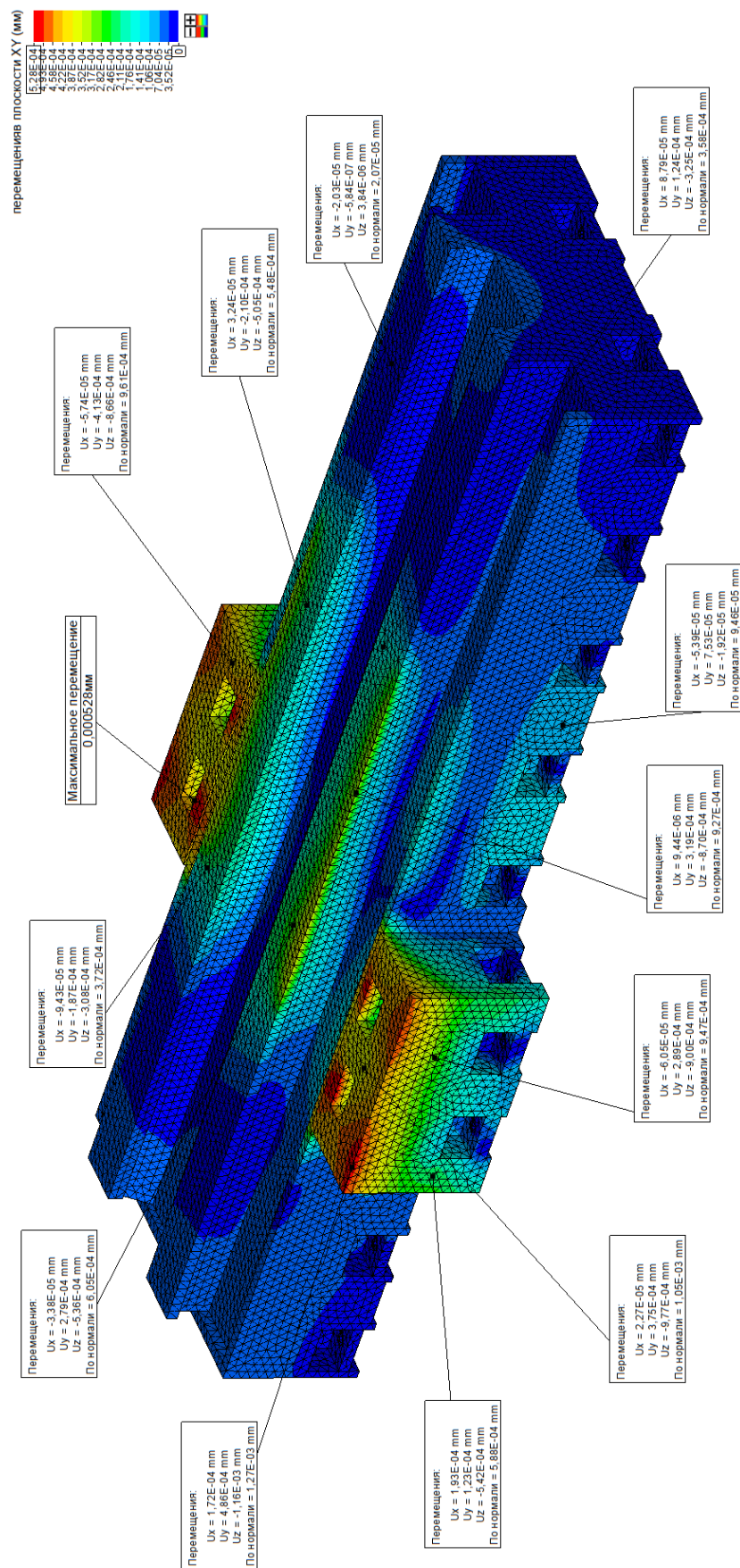


Рисунок 37 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 38 представлены перемещения в плоскости XZ

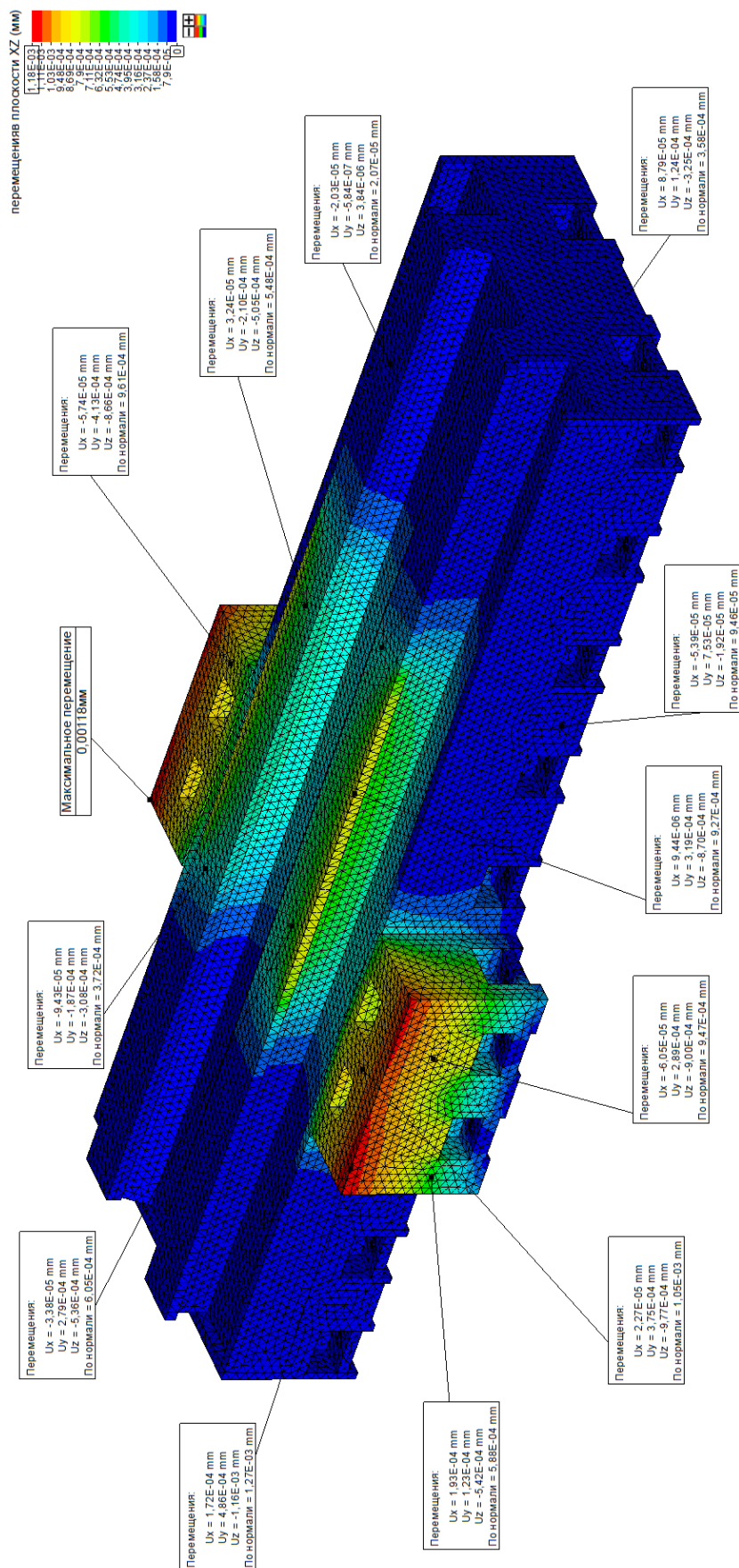


Рисунок 38 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 39 показаны перемещения в плоскости YZ

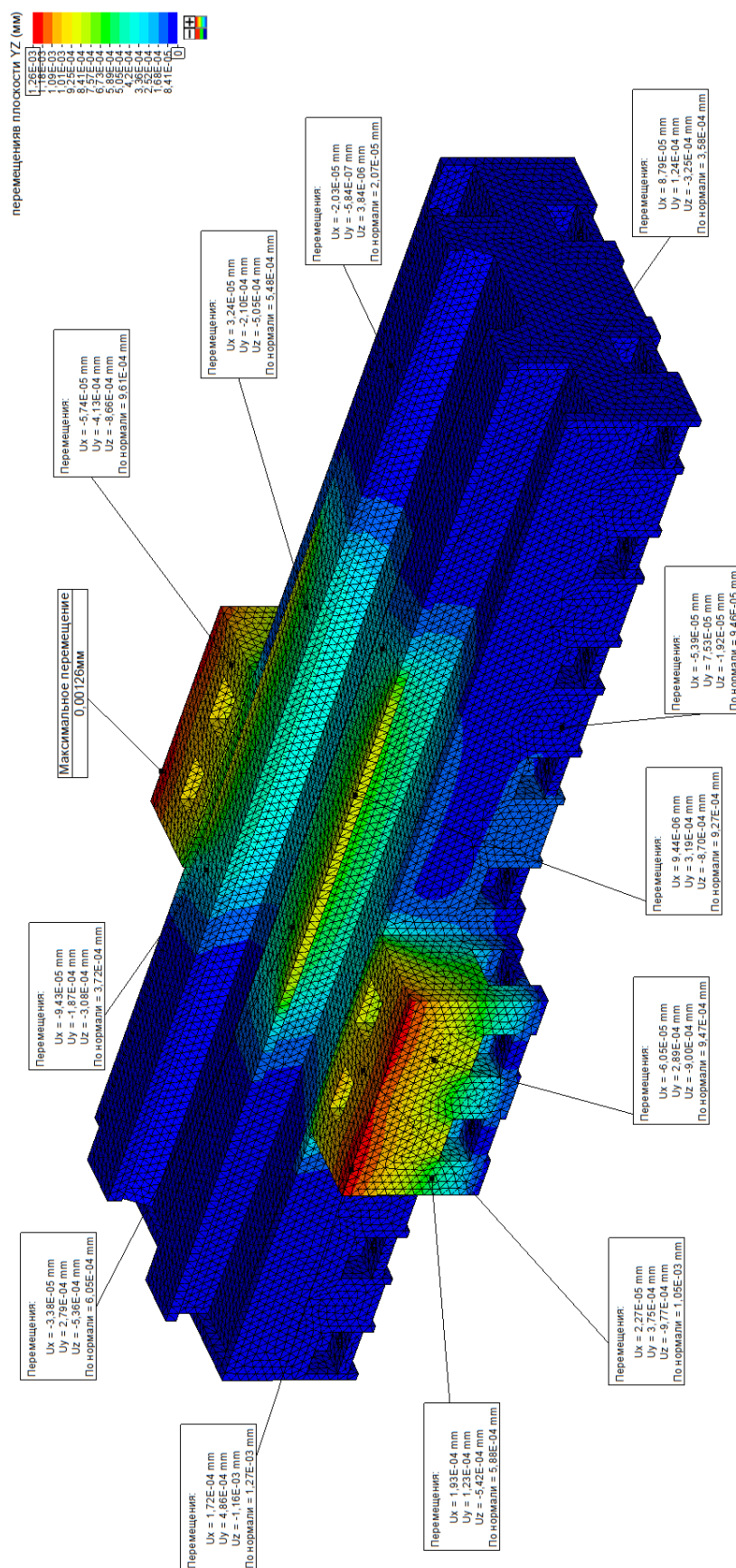


Рисунок 39 – Перемещения в плоскости YZ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

65

Данные по максимальному перемещению по осям и смещению по нормали мы привели в таблице 10, а в таблице 11 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 10 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение по X</i>	<i>14644</i>	<i>2,5190E-004</i>
<i>Перемещение по Y</i>	<i>14972</i>	<i>5,2765E-004</i>
<i>Перемещение по Z</i>	<i>429531</i>	<i>2,0727E-005</i>
<i>Смещение по нормали</i>	<i>12821</i>	<i>1,2725E-003</i>

Таблица 11 – Максимальные перемещения в плоскостях

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение в плоскости XY</i>	<i>14644</i>	<i>5,72E-004</i>
<i>Перемещение в плоскости XZ</i>	<i>15027</i>	<i>1,2E-004</i>
<i>Перемещение в плоскости YZ</i>	<i>660358</i>	<i>1,28E-005</i>

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 40 и 41

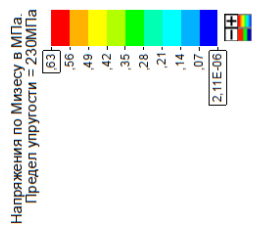
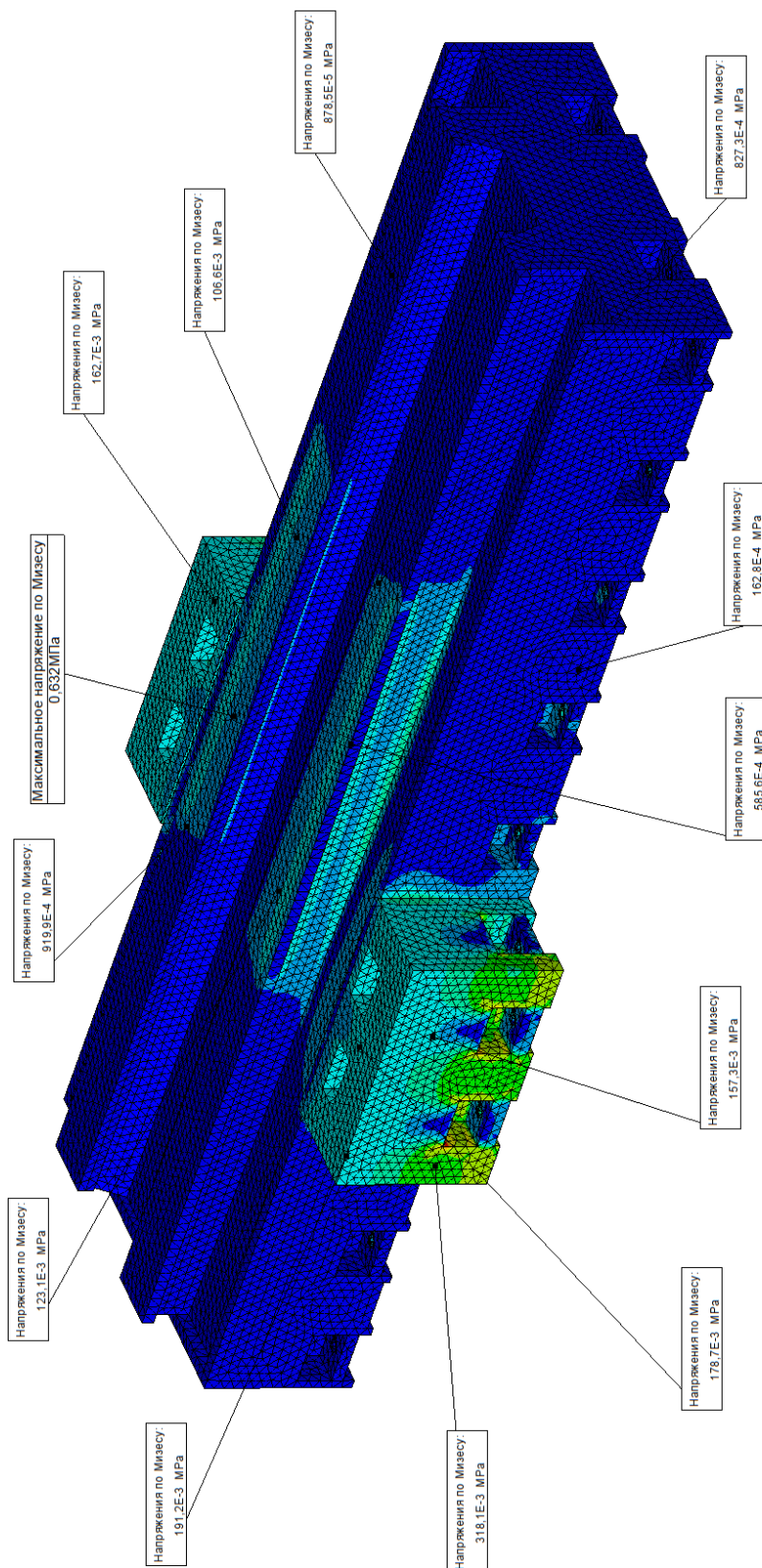


Рисунок 40 – Напряжения по Мизесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Главные напряжения Sigma11 в МПа

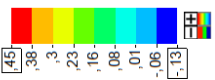
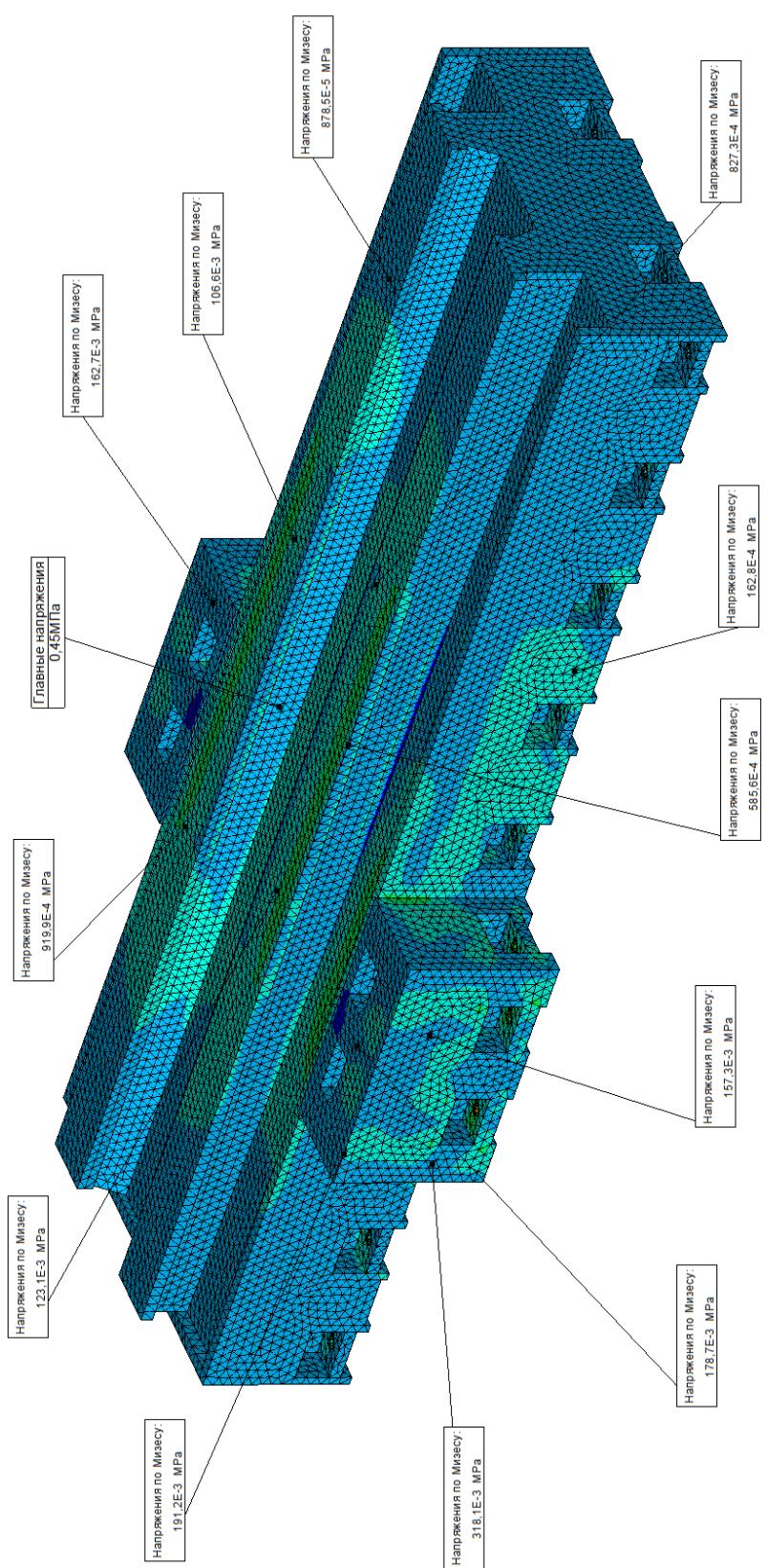


Рисунок 41 – Главные напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Далее представлены результаты для крайнего положения стола на станине.

На рисунке 42 показаны перемещения по нормали.

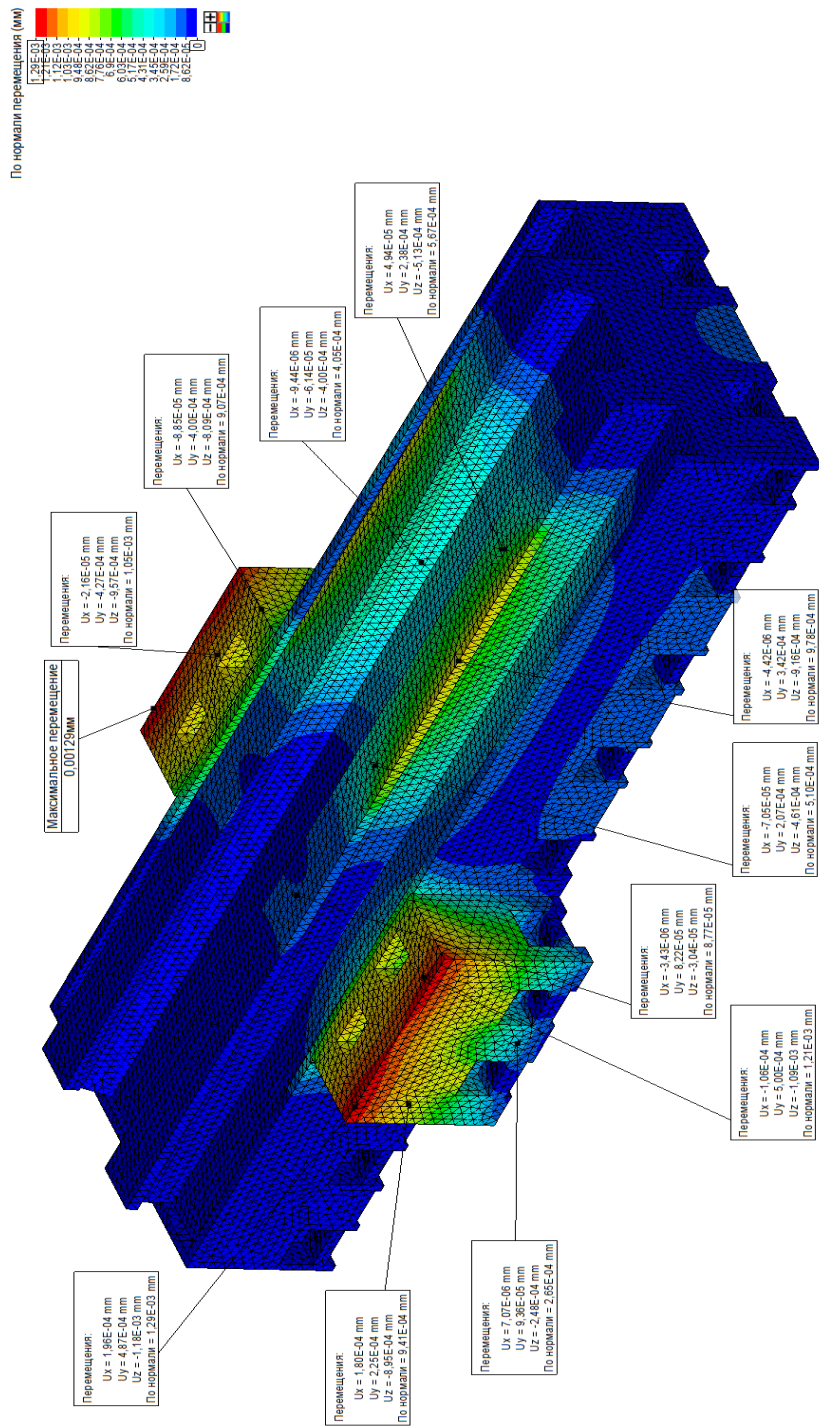


Рисунок 42 – Перемещения по нормали

На рисунке 43 показано перемещение вдоль оси X.

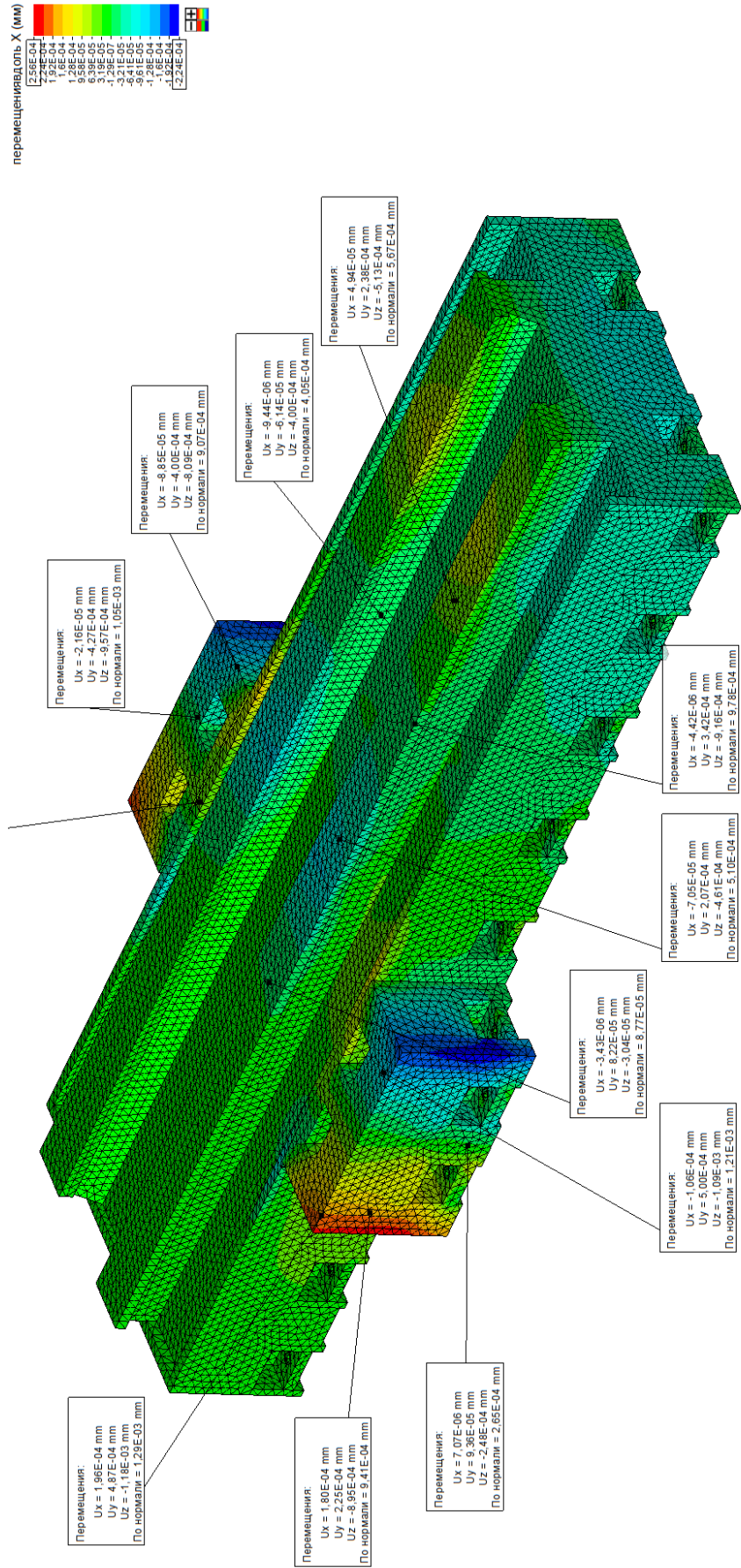


Рисунок 43 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 44 представлено перемещение вдоль оси Y.

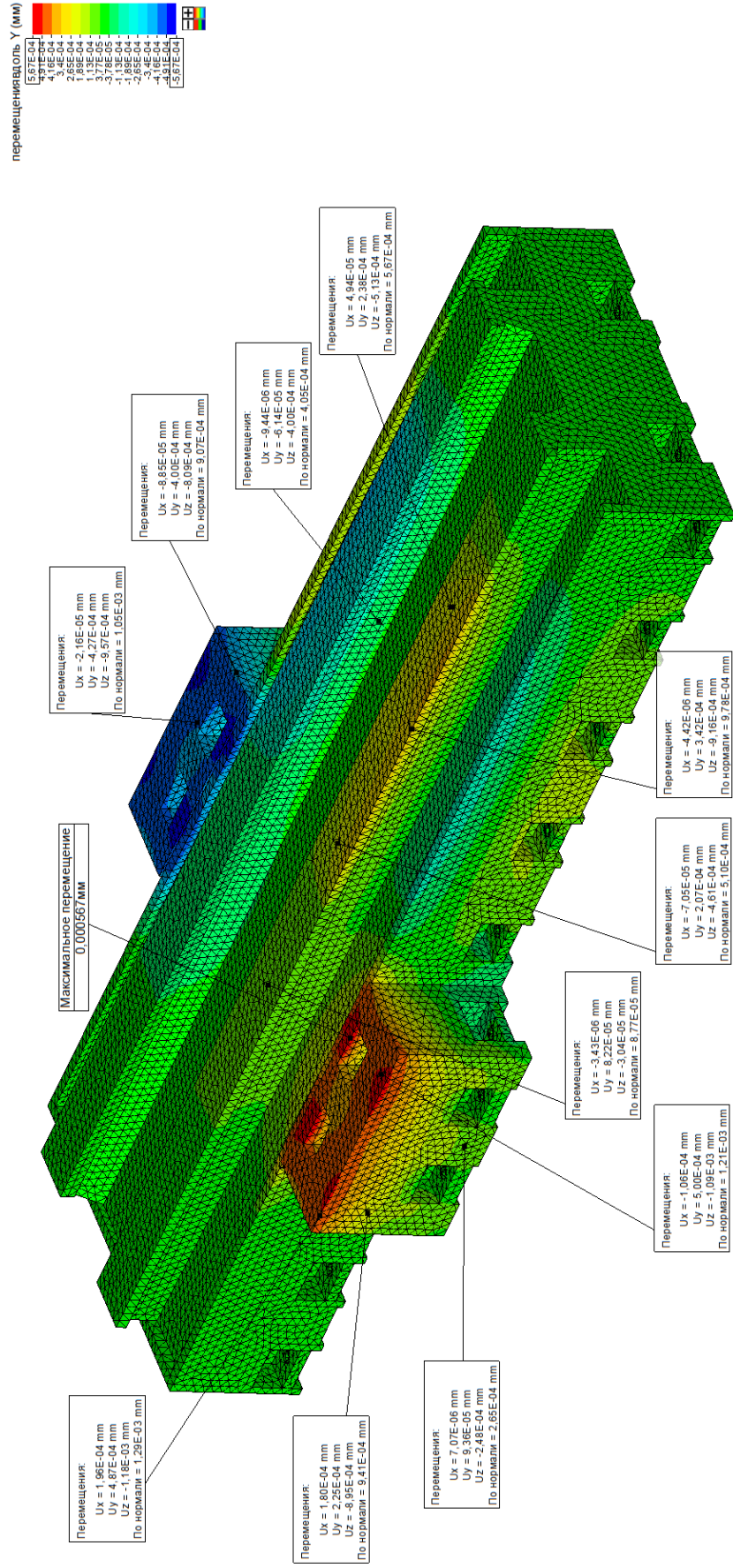


Рисунок 44 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 45 показано перемещение вдоль оси Z.

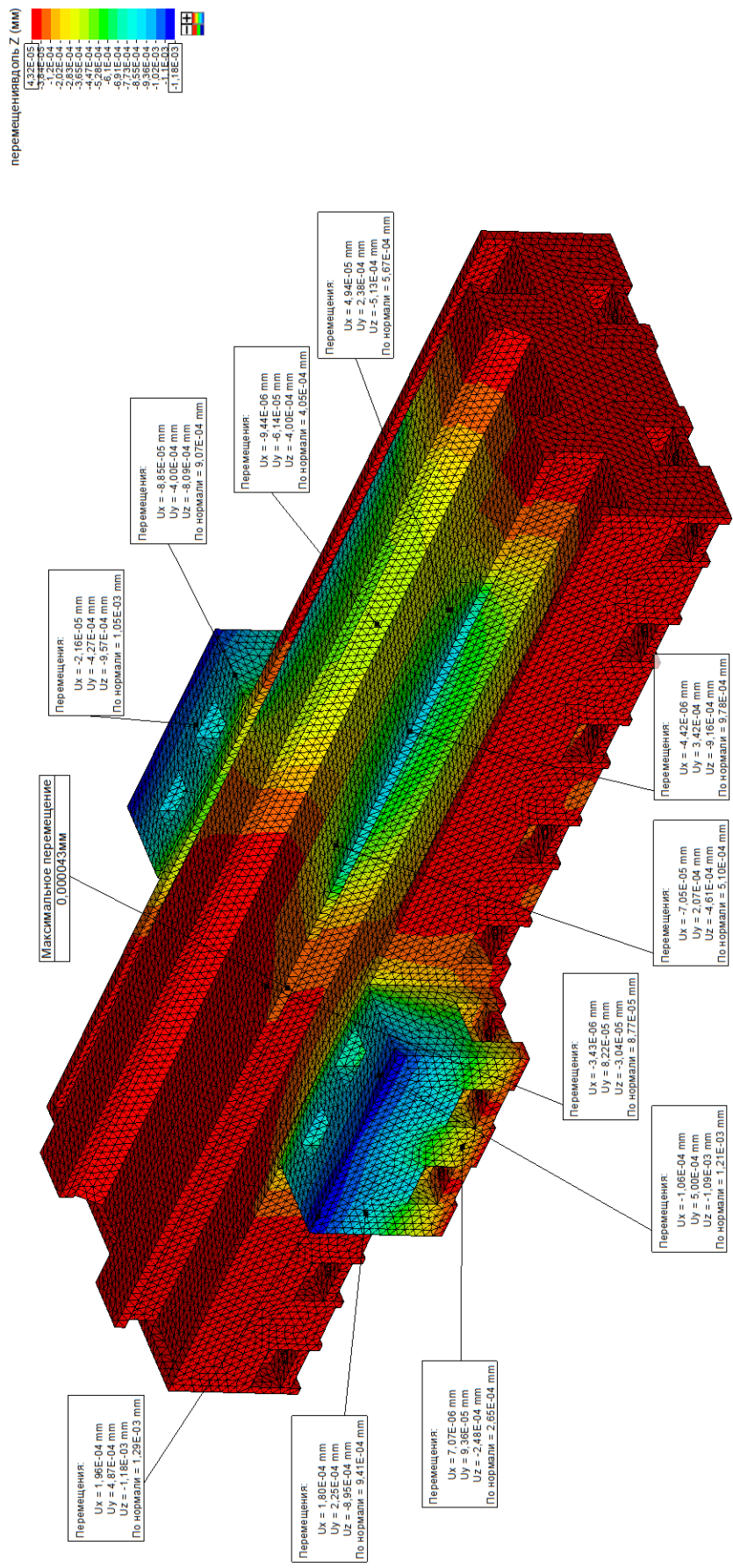


Рисунок 45 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 46 показано перемещение в плоскости ХУ

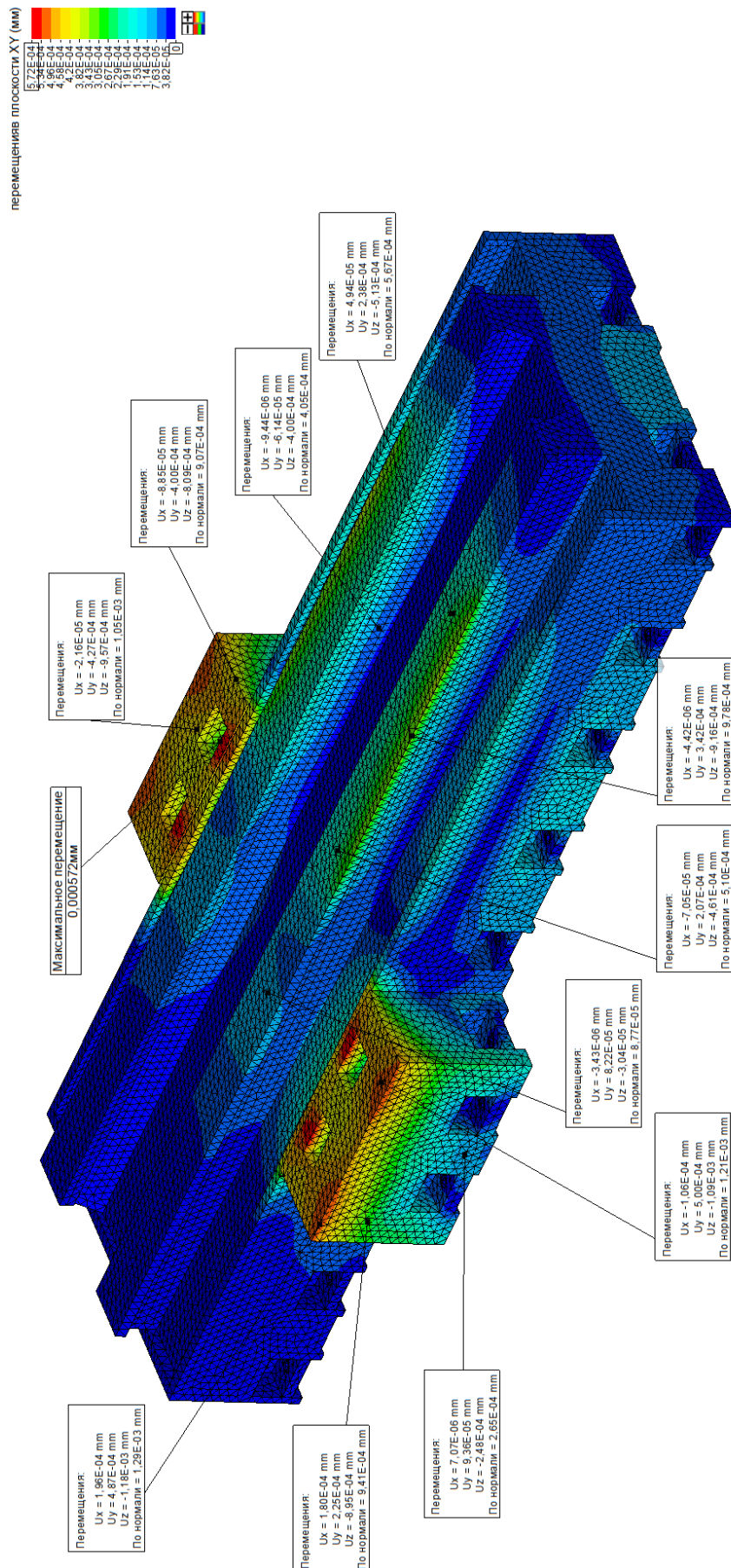


Рисунок 46 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 47 представлены перемещения в плоскости XZ

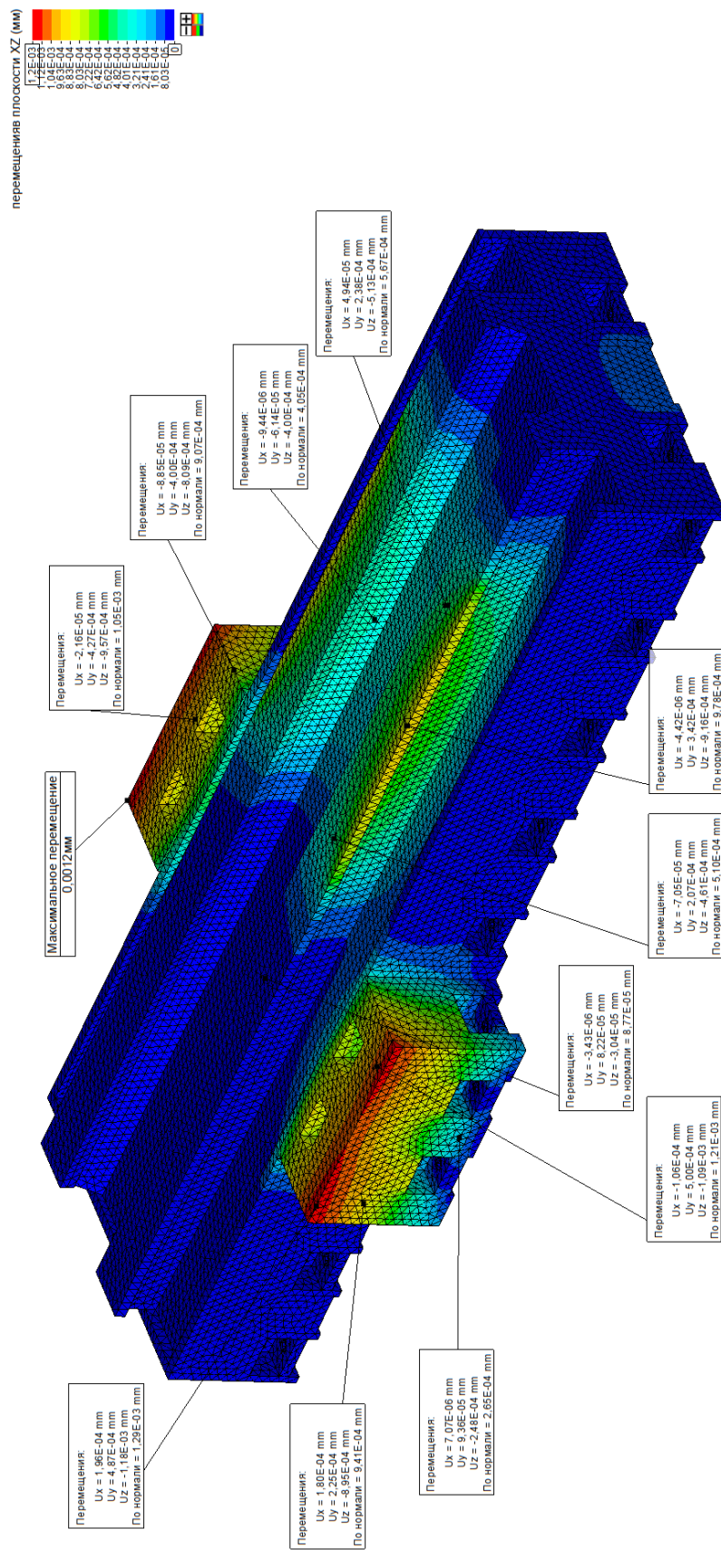


Рисунок 47 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 48 показаны перемещения в плоскости YZ

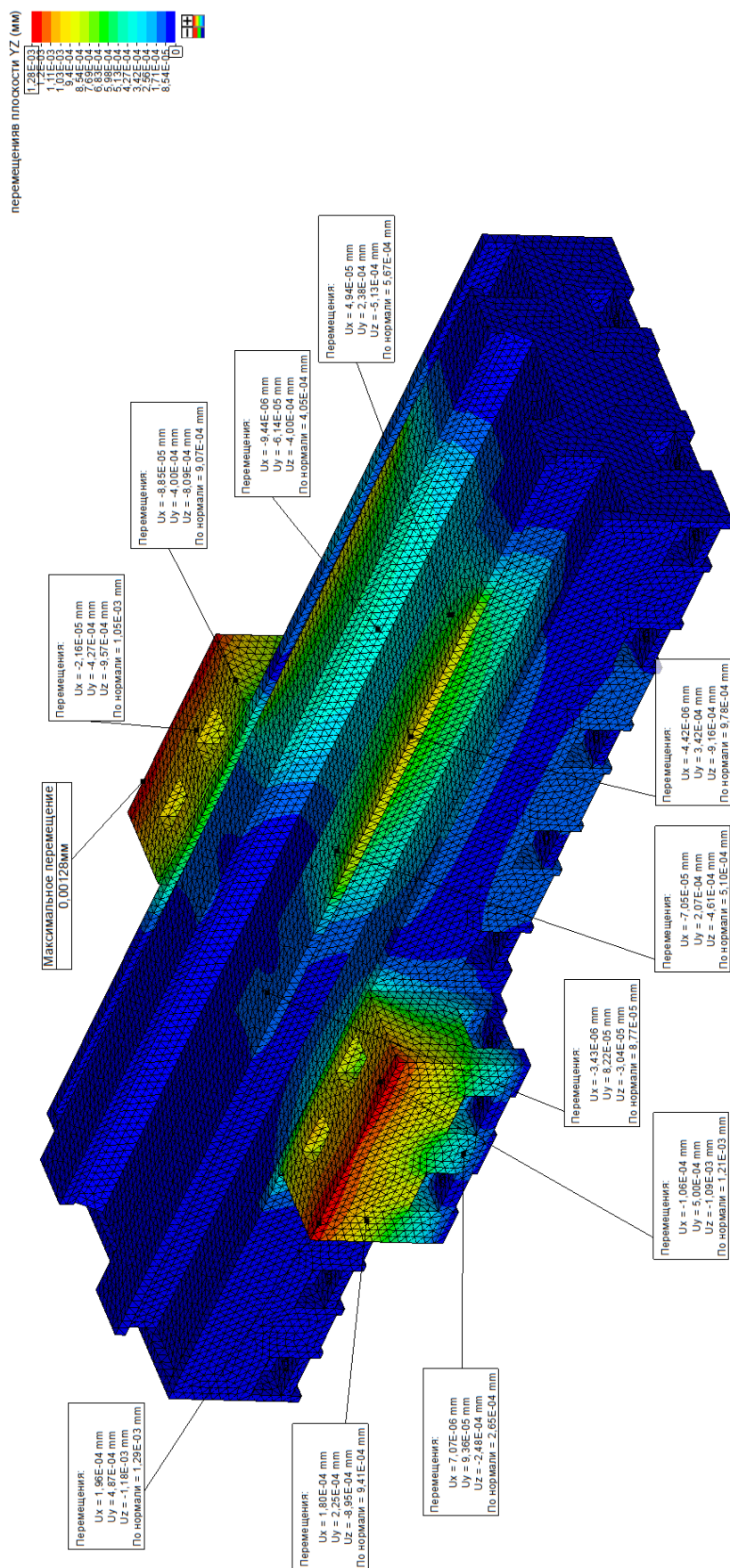


Рисунок 48 – Перемещения в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям и смещению по нормали мы привели в таблице 12, а в таблице 13 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 12 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение по X	14644	2,5581E-004
Перемещение по Y	15027	5,6686E-004
Перемещение по Z	660358	4,3247E-005
Смещение по нормали	117727	1,2931E-003

Таблица 13 – Максимальные перемещения в плоскостях

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение в плоскости XY	14644	5,78E-004
Перемещение в плоскости XZ	14972	1,3E-004
Перемещение в плоскости YZ	429531	1,3E-005

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 49 и 50

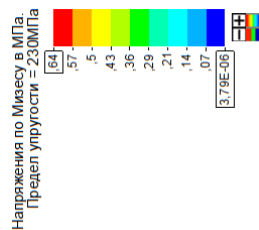
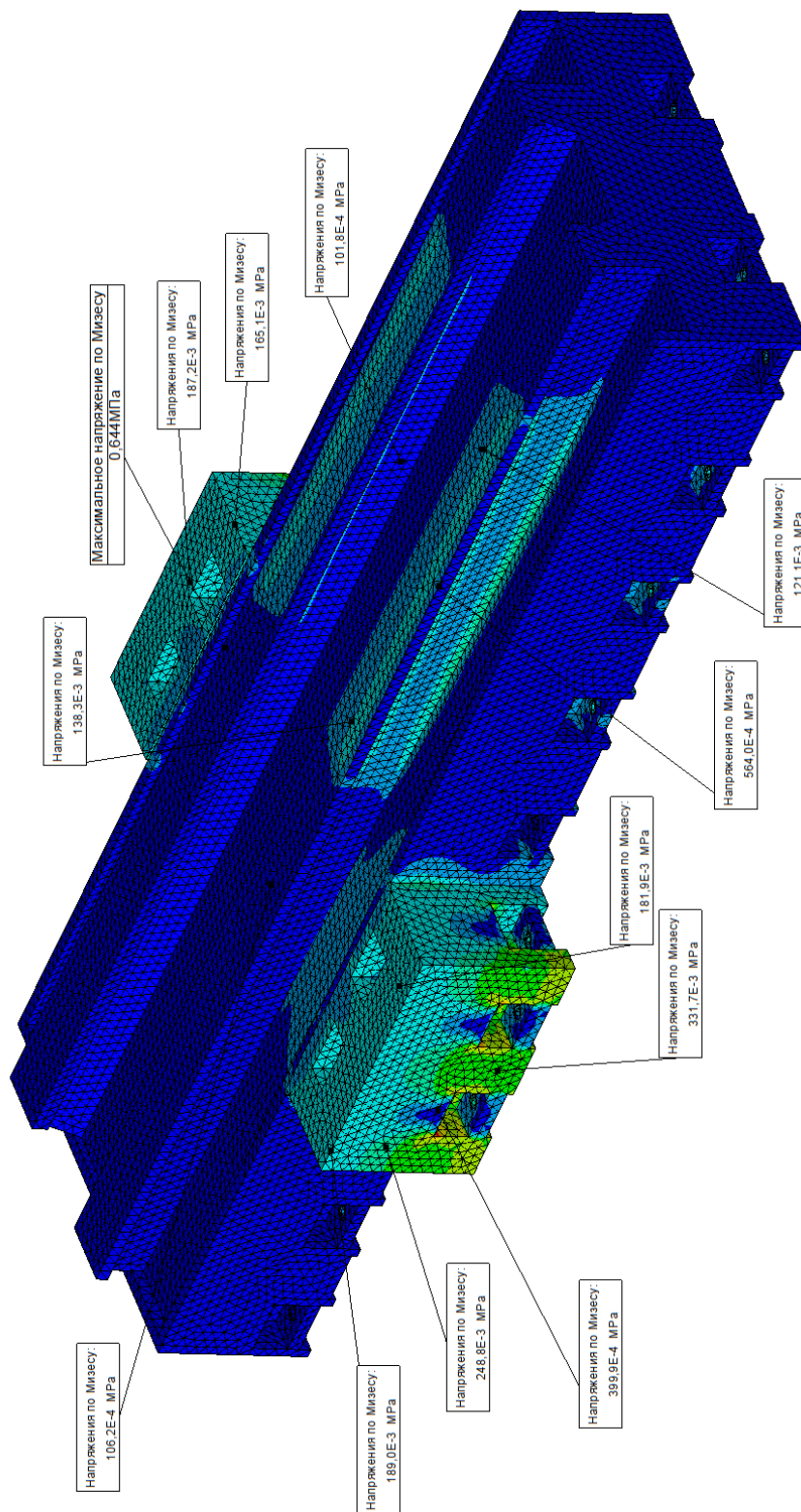


Рисунок 49 – Напряжения по Мизесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

77

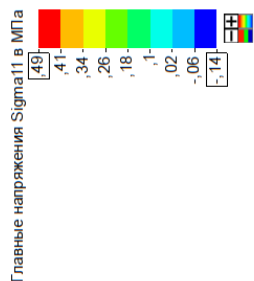
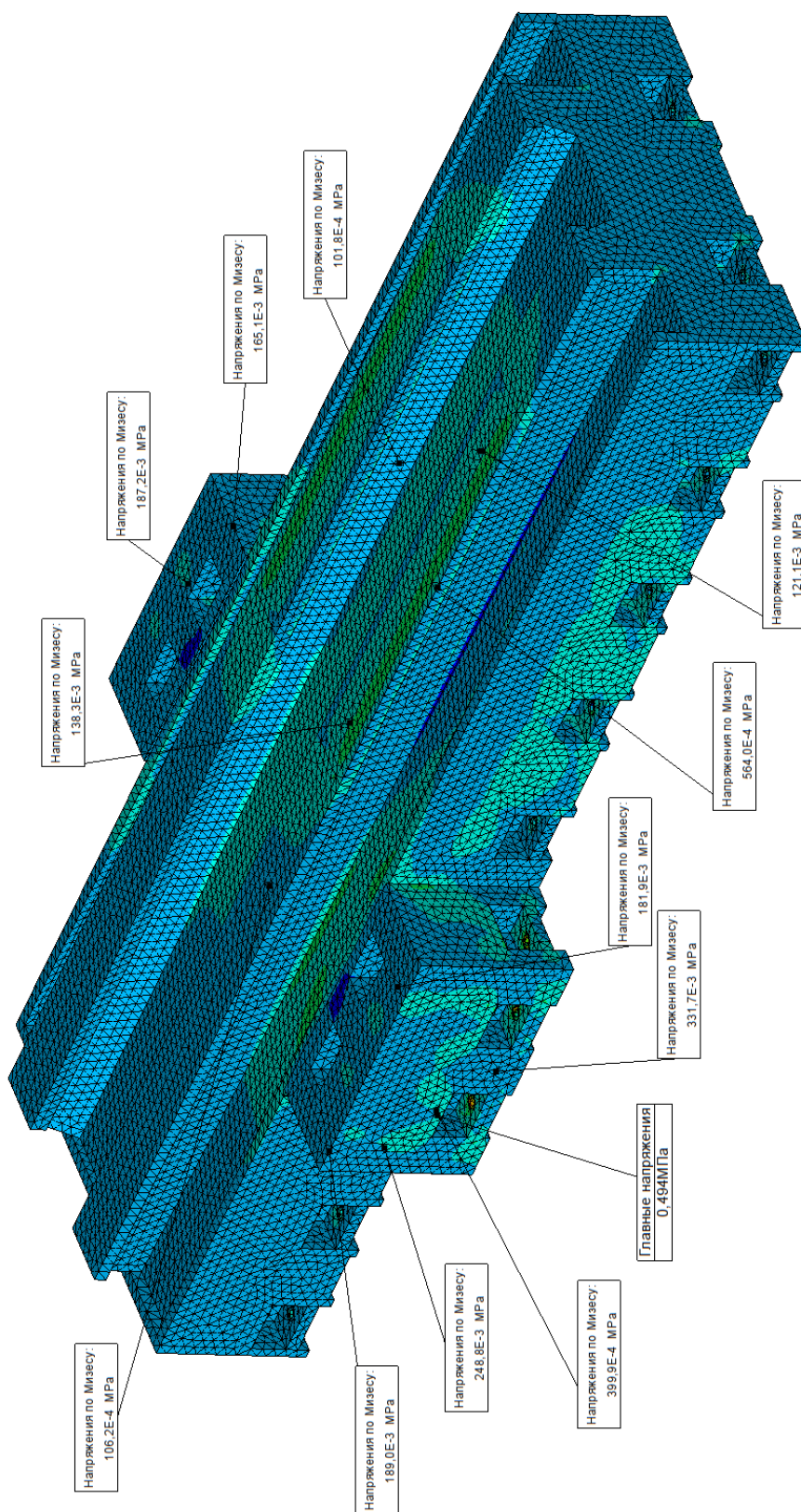


Рисунок 50 – Главные напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

78

Как итог, выбор в пользу материала изготовления станины СЧ35 позволит снизить максимальные перемещения в станине на 15-16%, при этом увеличив напряжения всего на 10%.

4.2 Анализ напряженно деформируемого состояния конструкции колонны

На рисунке 51 представлена твердотельная модель колонны, выполненная с применением CAD – программы КОМПАС 3D.

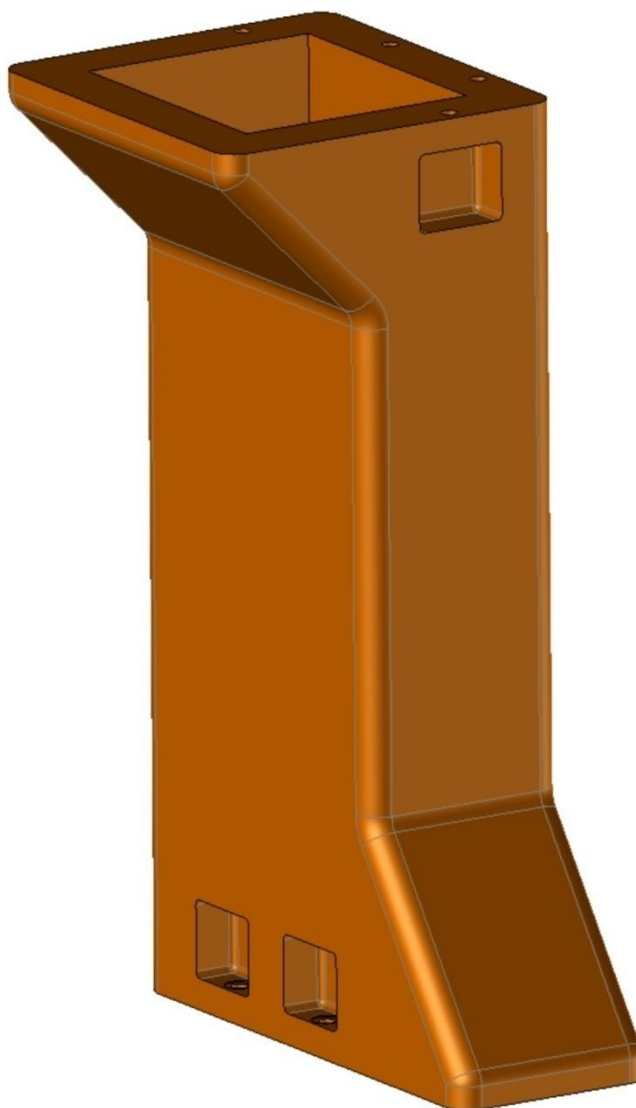


Рисунок 51 – Твердотельная модель колонны

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции колонны был выполнен при помощи CAD – программы *TopSolid*.

При исследовании были использованы граничные условия, которые показаны на рисунке 52 и указаны в таблице 14. Так же для расчёта нам будут нужны характеристики материала, которые представлены в таблице 16.

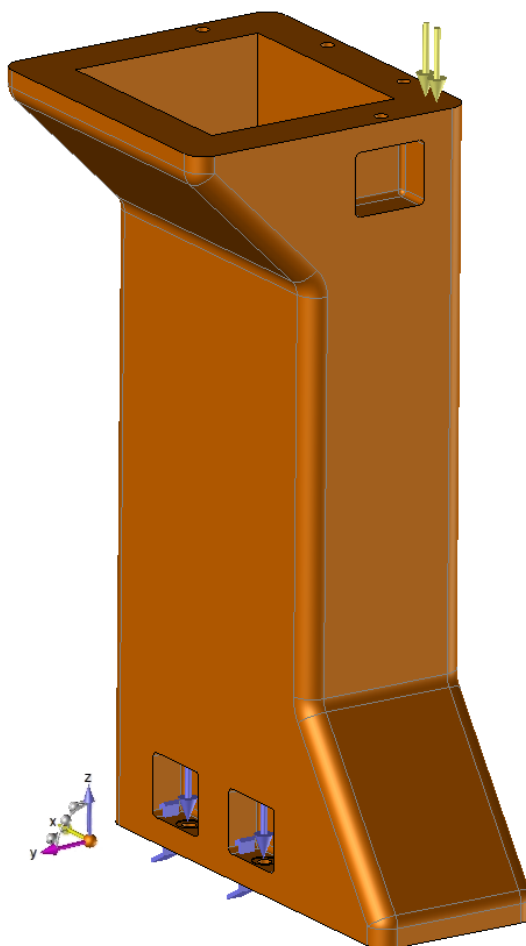


Рисунок 52 – Расчетная модель колонны

Таблица 14 – Граничные условия этой модели

Наименование	Значение
Вставить перемещения	0,0мм вдоль Z
Закрепление	

Таблица 15 – Нагрузки на модель

Наименование	Значение
Равномерная нагрузка к поверхности	50000Н вдоль Z

Таблица 16 – Характеристика материала

Материал□	Деталь□	Модуль Юнга□ МПа□	Коэффициент Пуассона□	Плотность□ Кг/м3□	Предел□ упругости□
Cast-Iron-GJL-250-EN-1561□	Колонна_ар214_СЧ25□	110000□	0,29□	7200□	170□

На рисунке 53 показана сетка детали колонна, а в таблице 17 показана информация о сетке.



Рисунок 53 – Нанесение сетки на твердотельную модель

КОЛОННЫ

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		81

Таблица 17 –Информация о сетке

<i>Деталь</i>	<i>Количество узлов</i>	<i>Количество элементов</i>	<i>Тип элемента</i>
Твердотельный	594330	393502	10-узловой тетраэдр

На рисунке 54 показано перемещение по нормали.

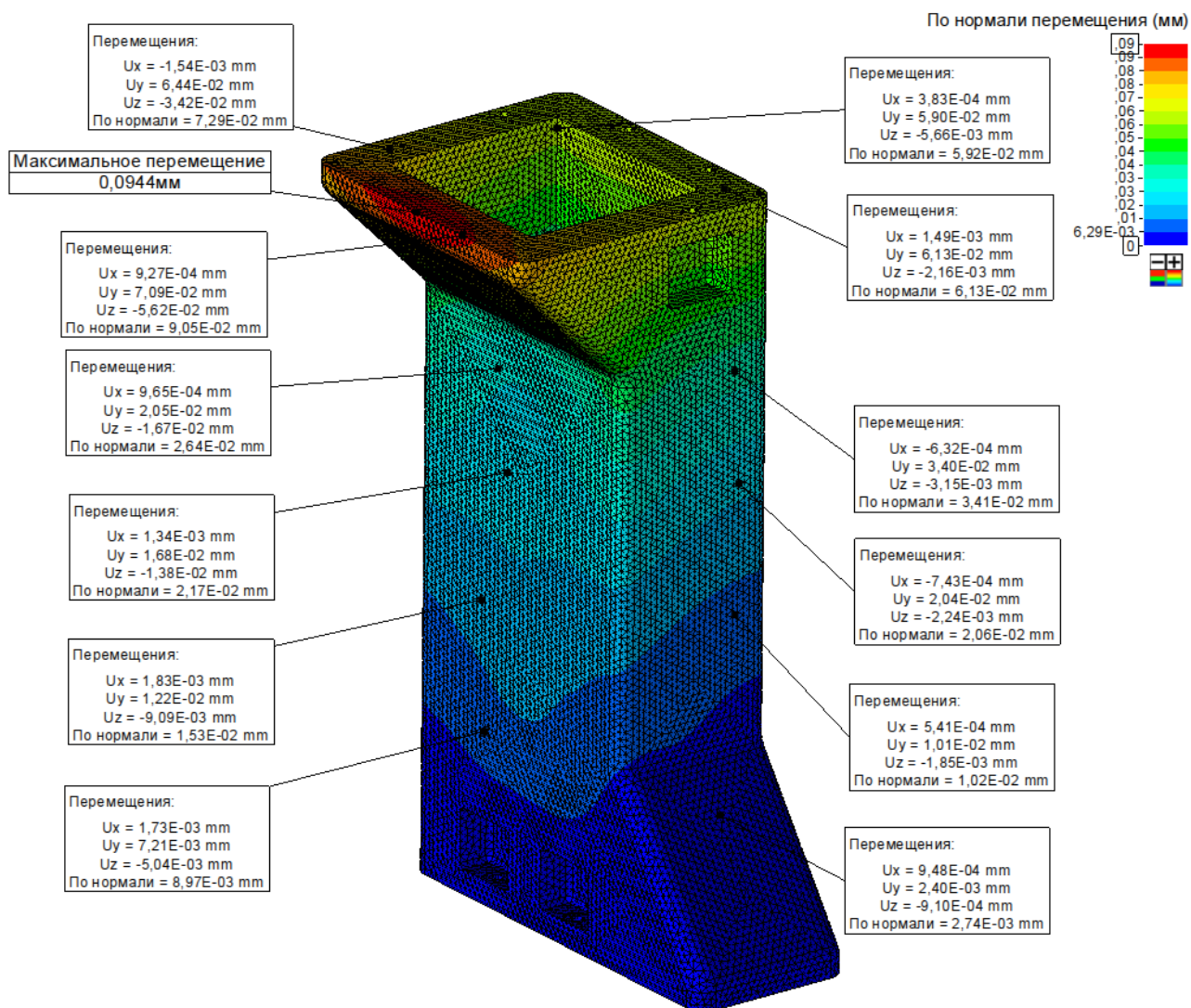


Рисунок 54 – Перемещения по нормали

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

83

На рисунке 55 показаны перемещения вдоль оси X.

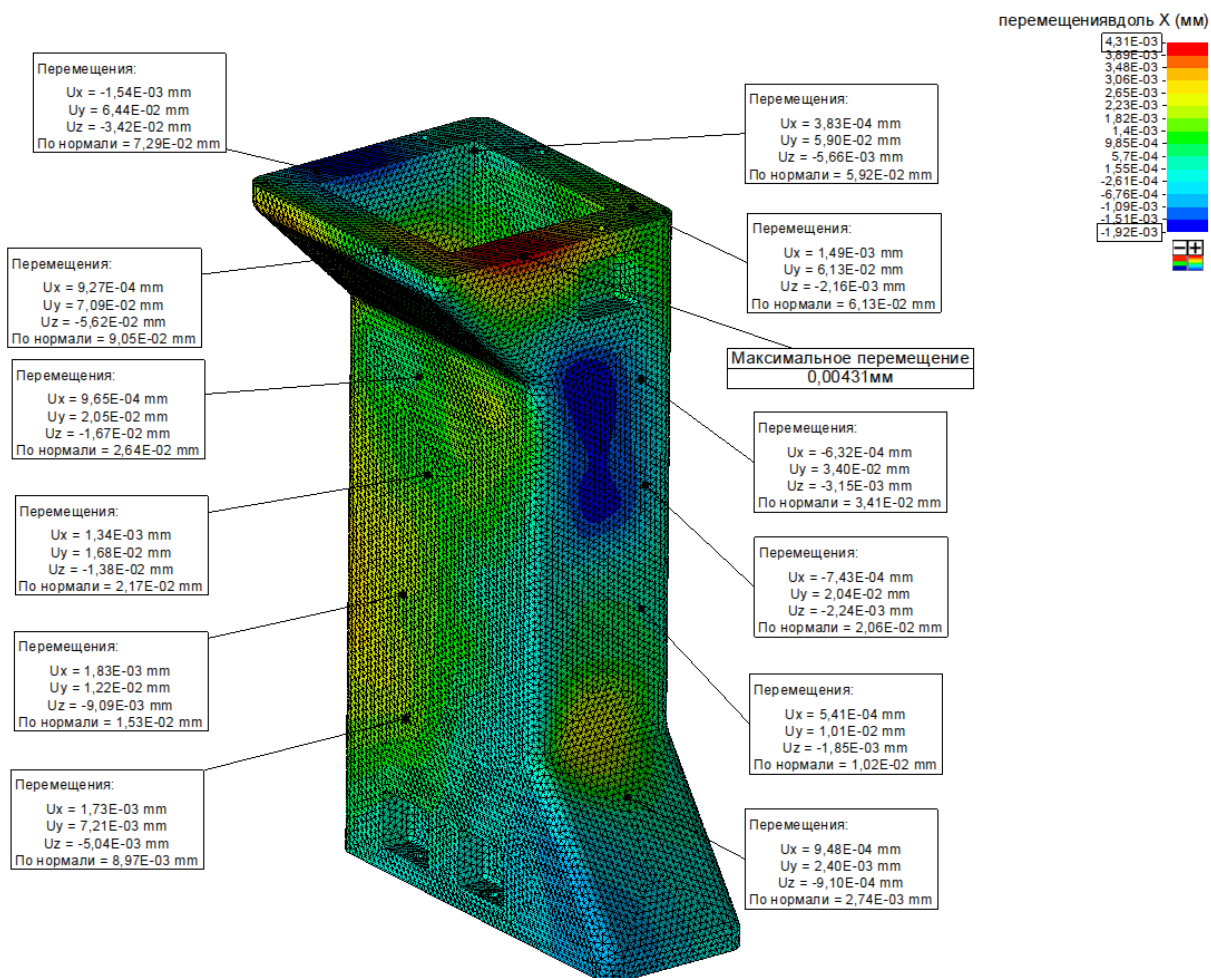


Рисунок 55 – Перемещения вдоль оси

На рисунке 56 представлены перемещения вдоль оси Y.

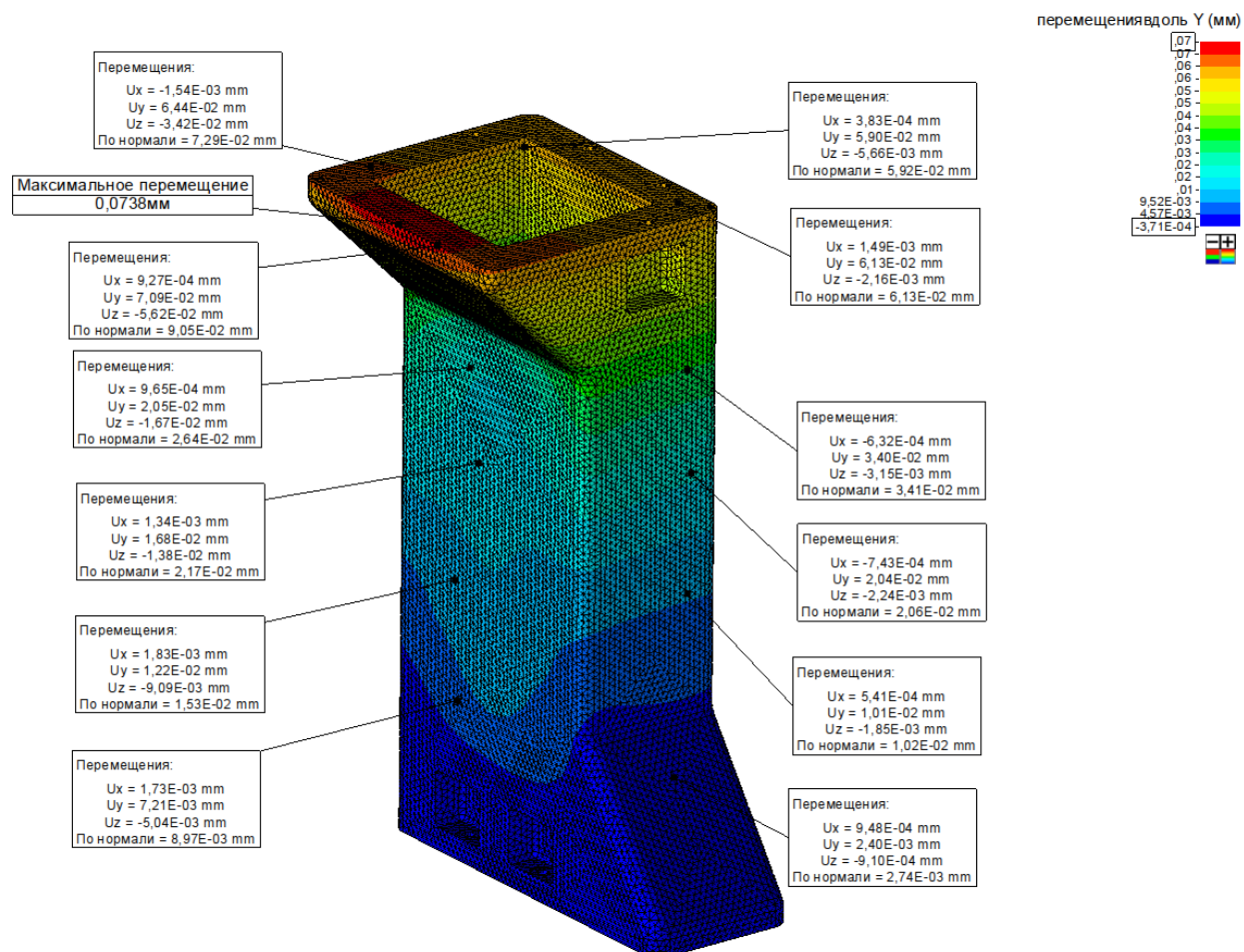


Рисунок 56 – Перемещения вдоль оси Y

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

85

На рисунке 57 показаны перемещения вдоль оси Z.

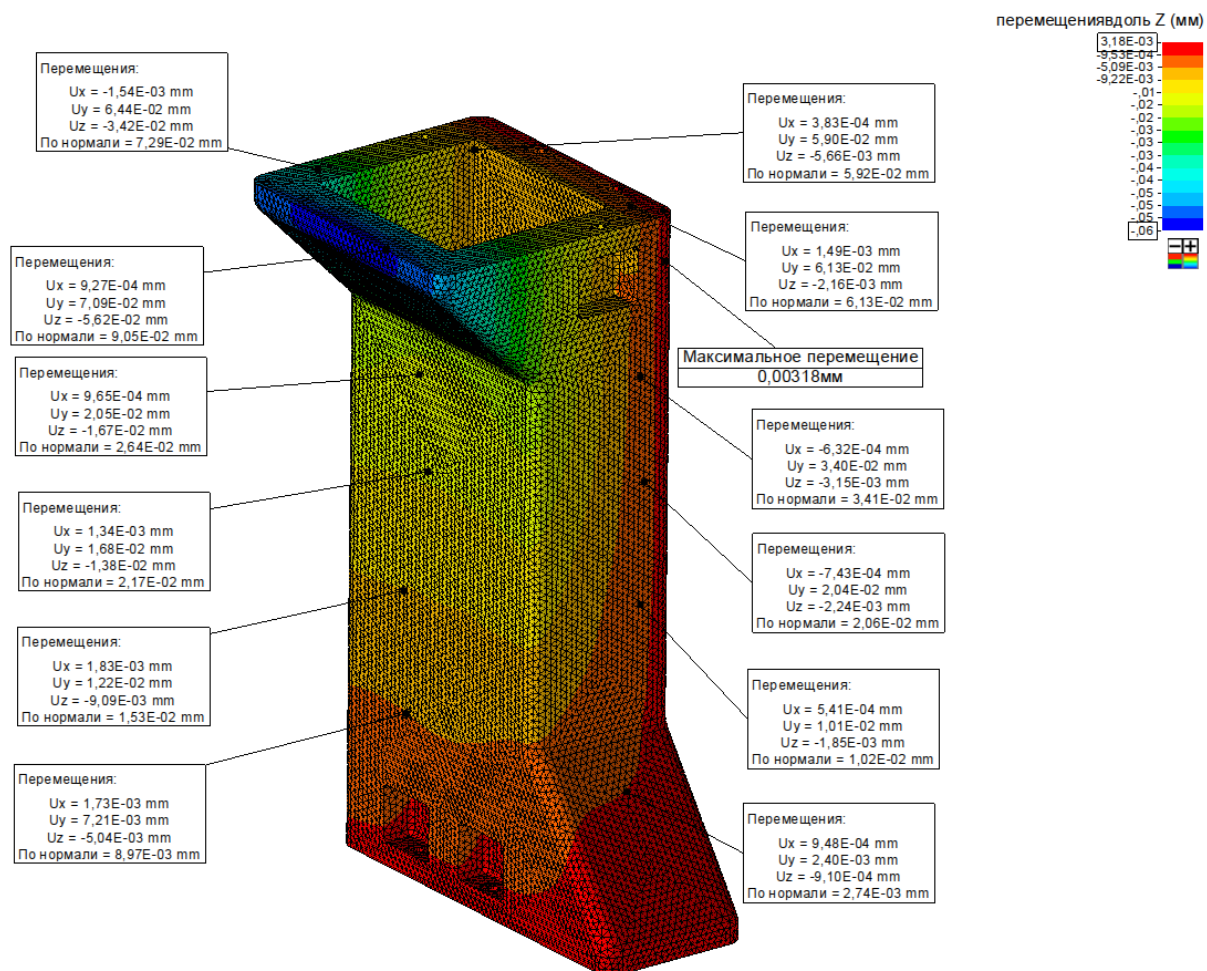


Рисунок 57 –Перемещения вдоль оси Z

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

86

На рисунке 58 показаны перемещения в плоскости ХУ

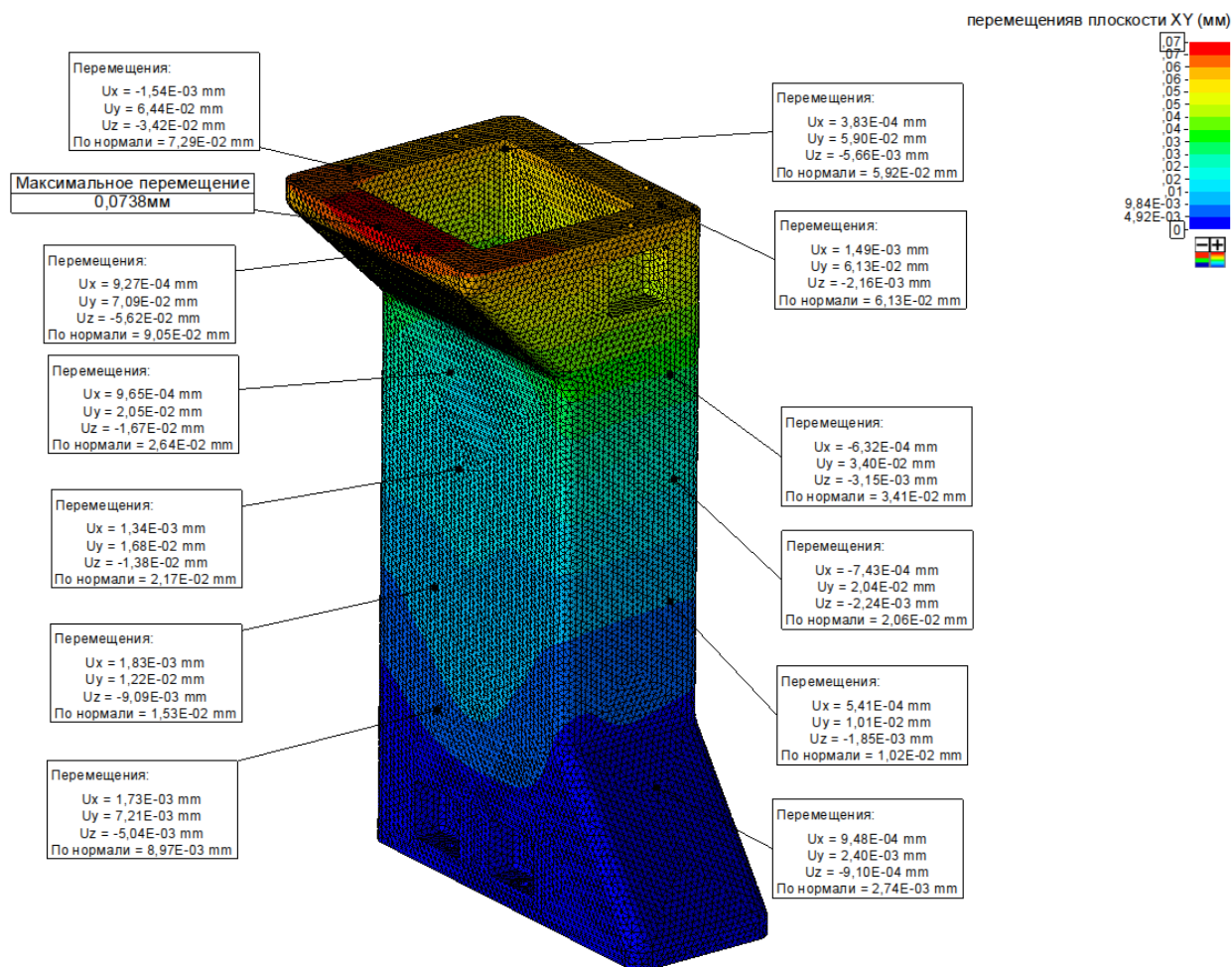


Рисунок 58 – Перемещения в плоскости ХУ

На рисунке 59 представлены перемещения в плоскости XZ

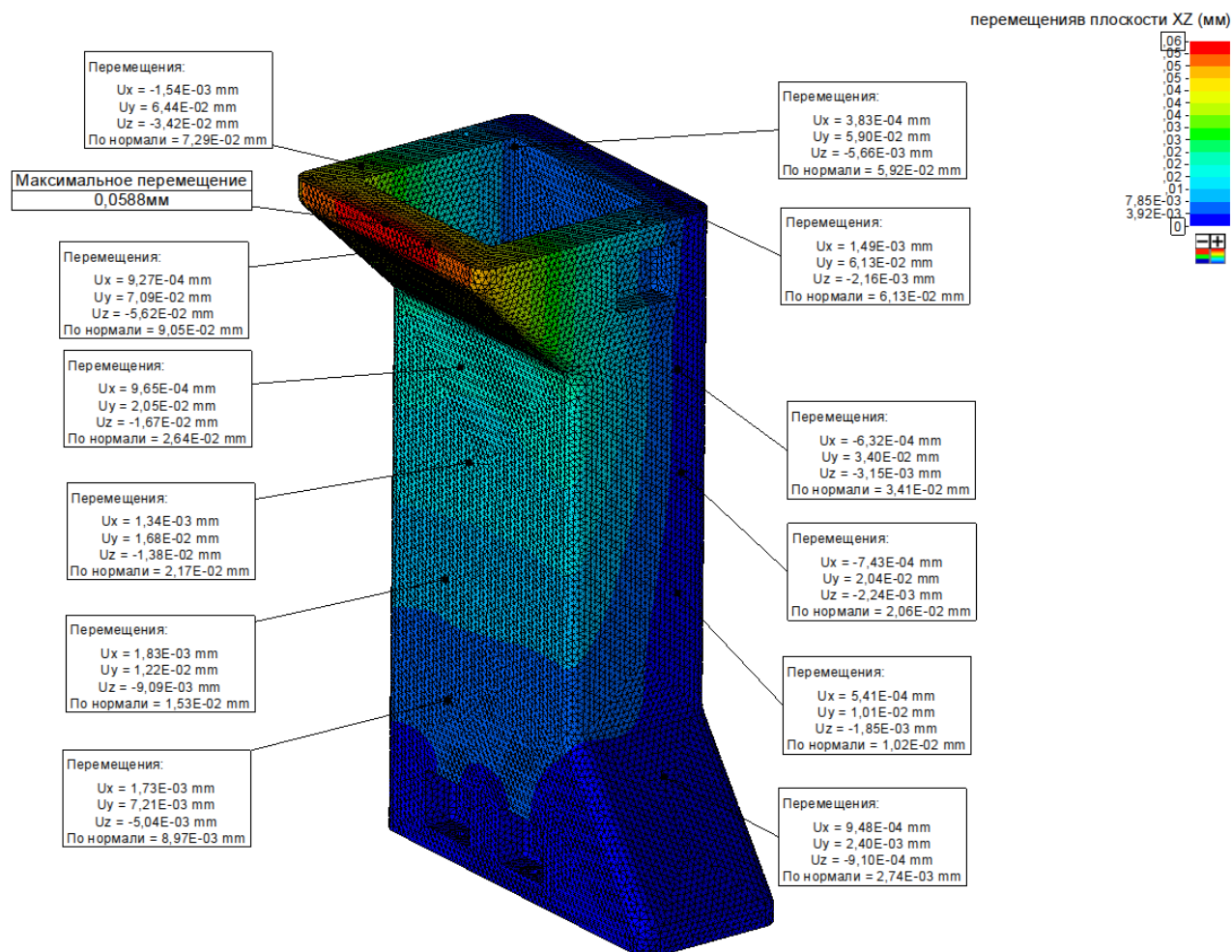


Рисунок 59 – Перемещения в плоскости XZ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

88

На рисунке 60 показаны перемещения в плоскости YZ

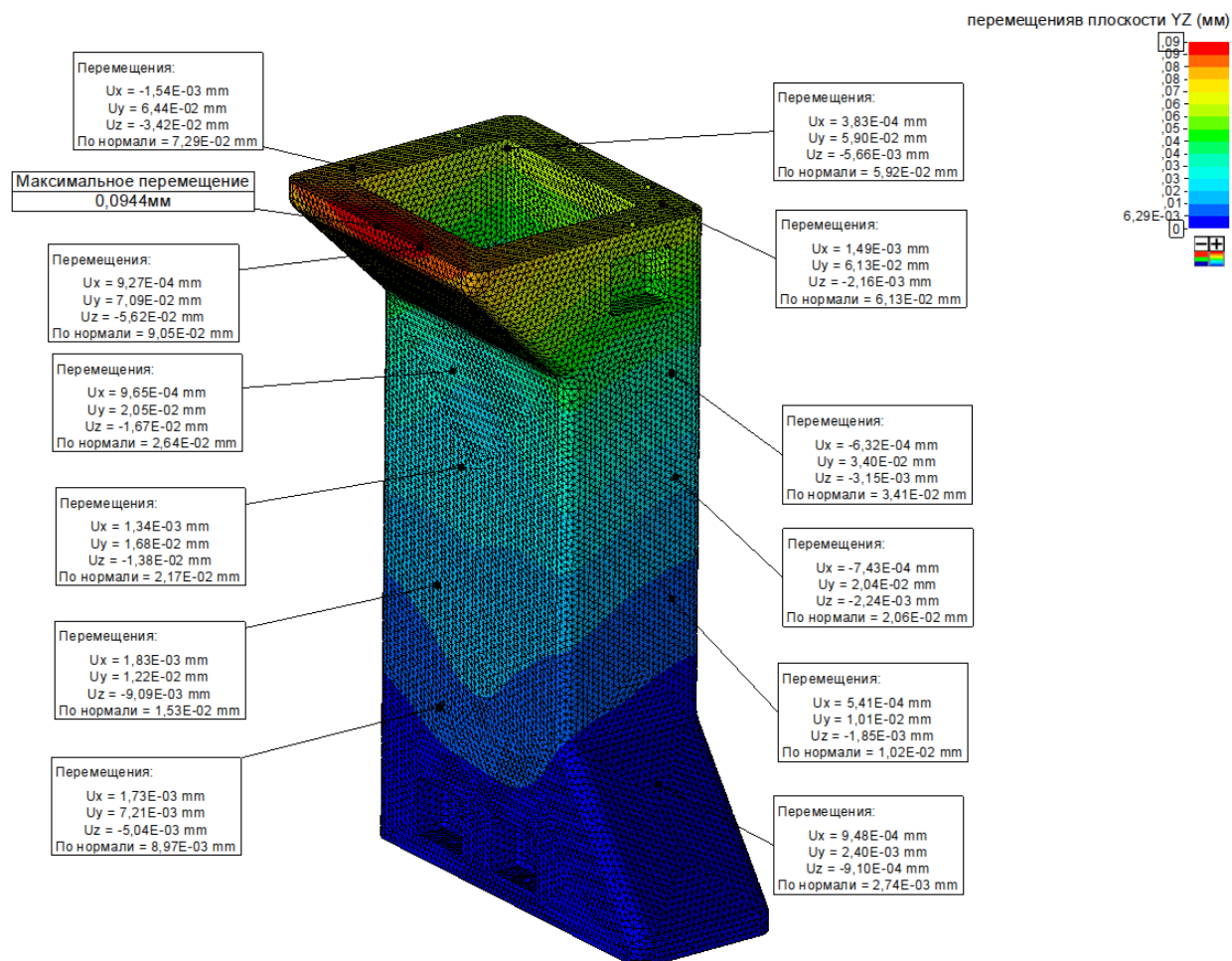


Рисунок 60 – Перемещения в плоскости YZ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

89

Данные по максимальному перемещению по осям и смещению по нормали мы привели в таблице 18, а в таблице 19 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 18 – Максимальные перемещения по осям и смещение нормали

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение по X	3559	4,2758E-003
Перемещение по Y	42346	7,3526E-002
Перемещение по Z	3503	3,1273E-003
Смещение по нормали	29793	9,4046E-002

Таблица 19 – Максимальные перемещения в плоскостях

Обозначение	Узлы	Значение, мм
Перемещение в плоскости XY	14644	7,38E-004
Перемещение в плоскости XZ	14972	5,58E-004
Перемещение в плоскости YZ	429531	1,99E-005

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 61 и 62

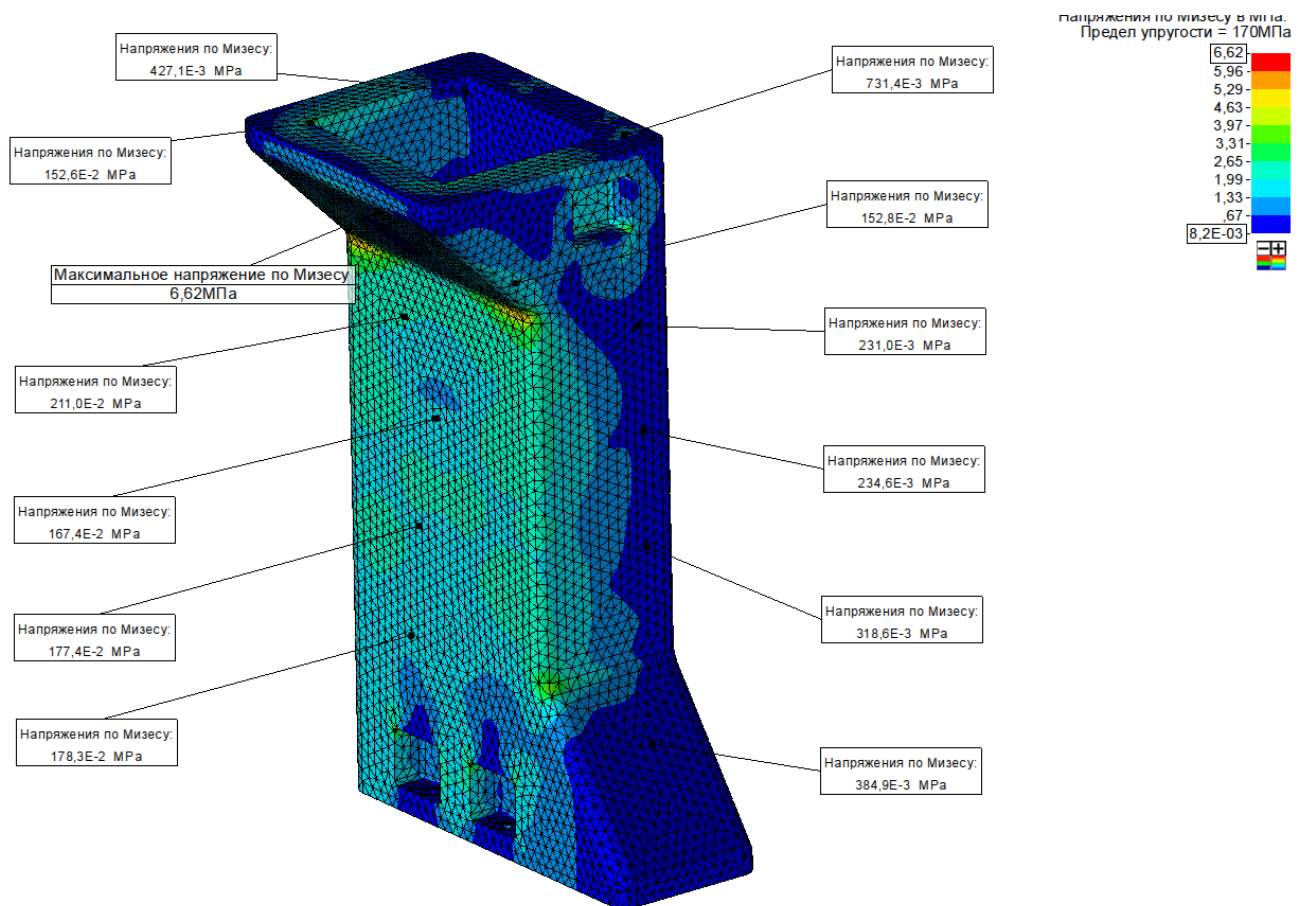


Рисунок 61 – Напряжения по Мизесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

91

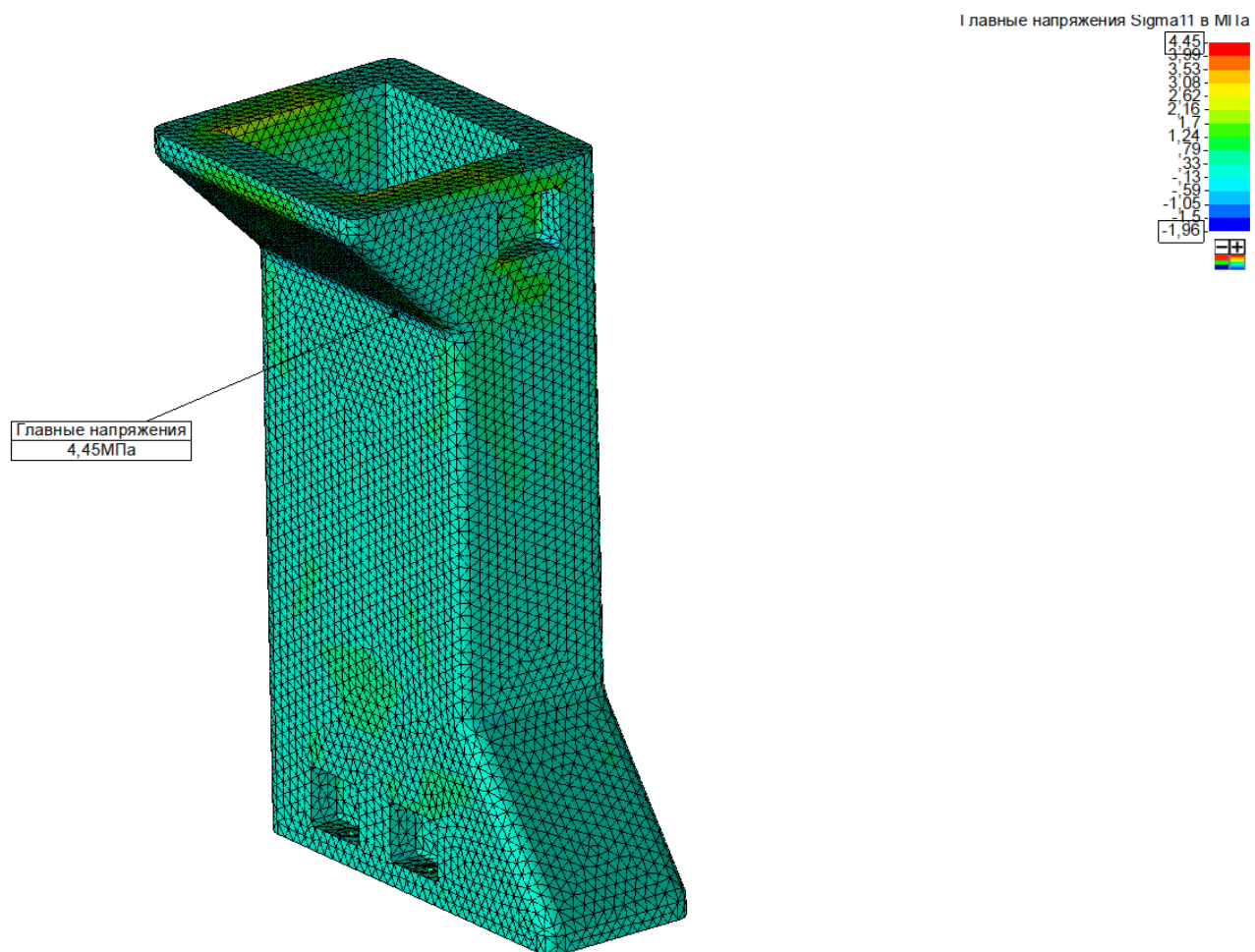


Рисунок 62 – Главные напряжения Sigma 11

Продельваем тоже самое, но уже для материала СЧ35.

Таблица 20 – Характеристика материала

Материал	Деталь	Модуль Юнга МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность Кг/м3	Предел упругости
Cast-Iron-GJL-350- EN-1561	Колонна_ар214	130000	0,29	7200	230

На рисунке 63 показано перемещение по нормали.

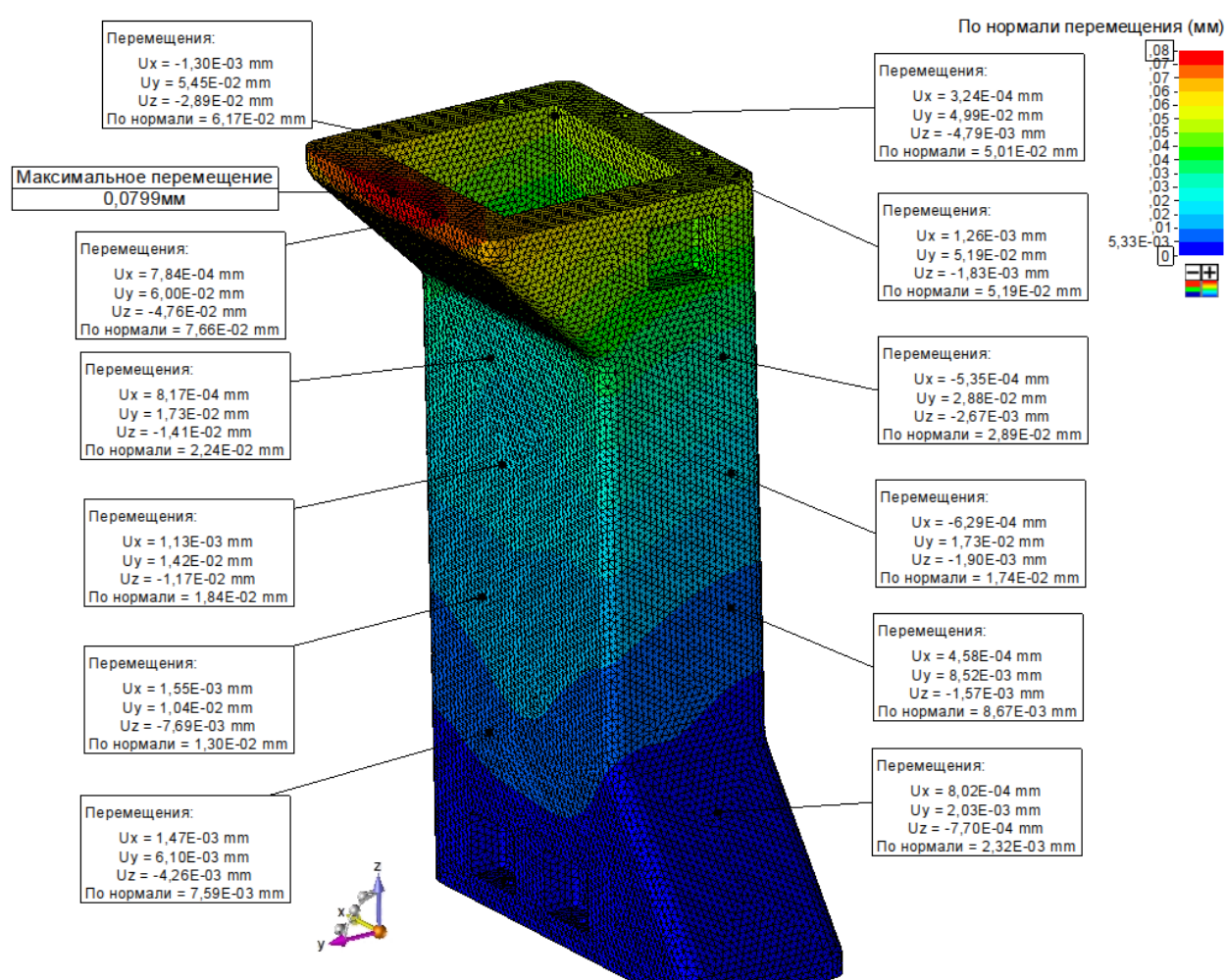


Рисунок 63 – Перемещения по нормали

На рисунке 64 показаны перемещения вдоль оси X.

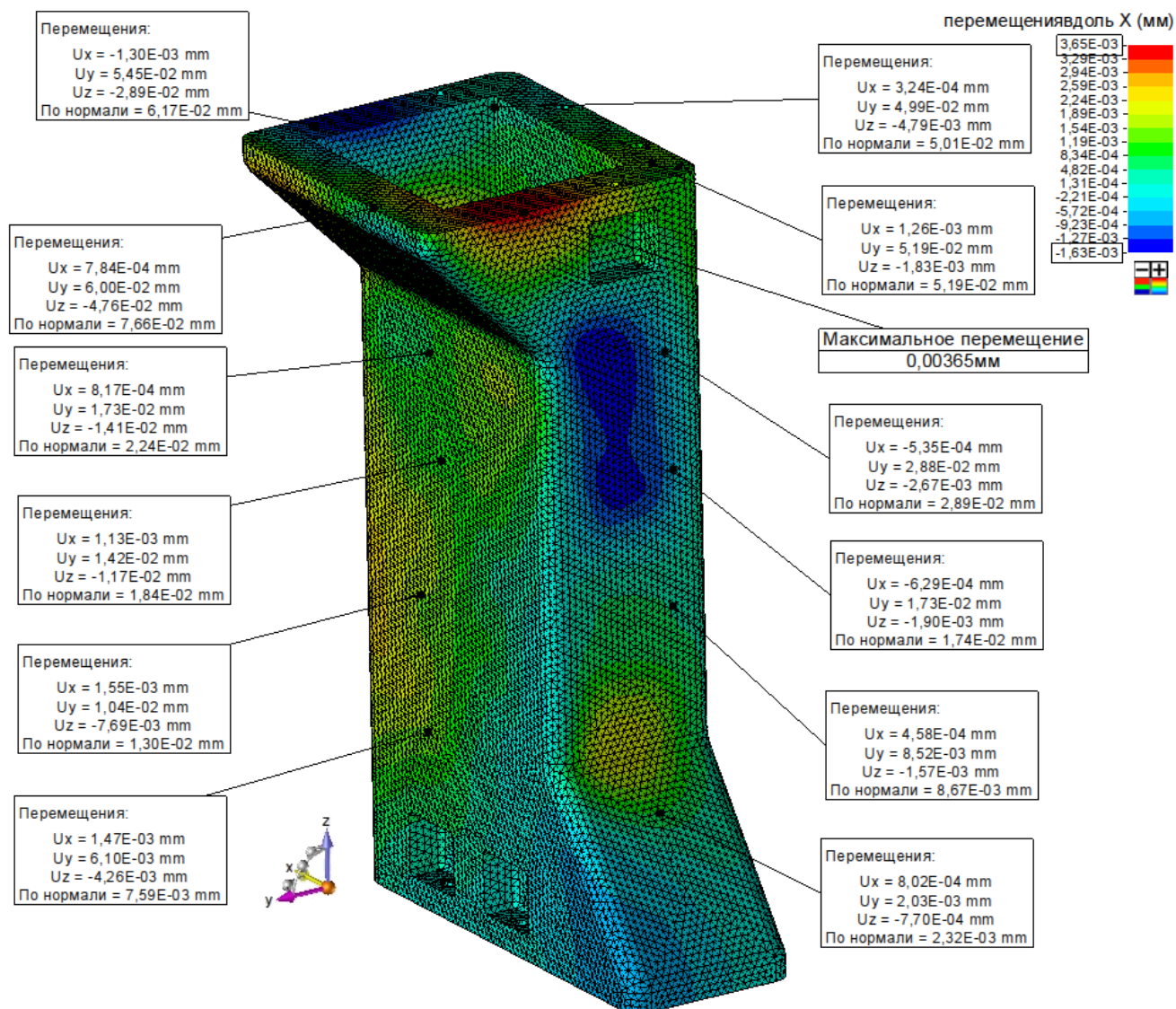


Рисунок 64 – Перемещения вдоль оси X

На рисунке 65 представлены перемещения вдоль оси Y.

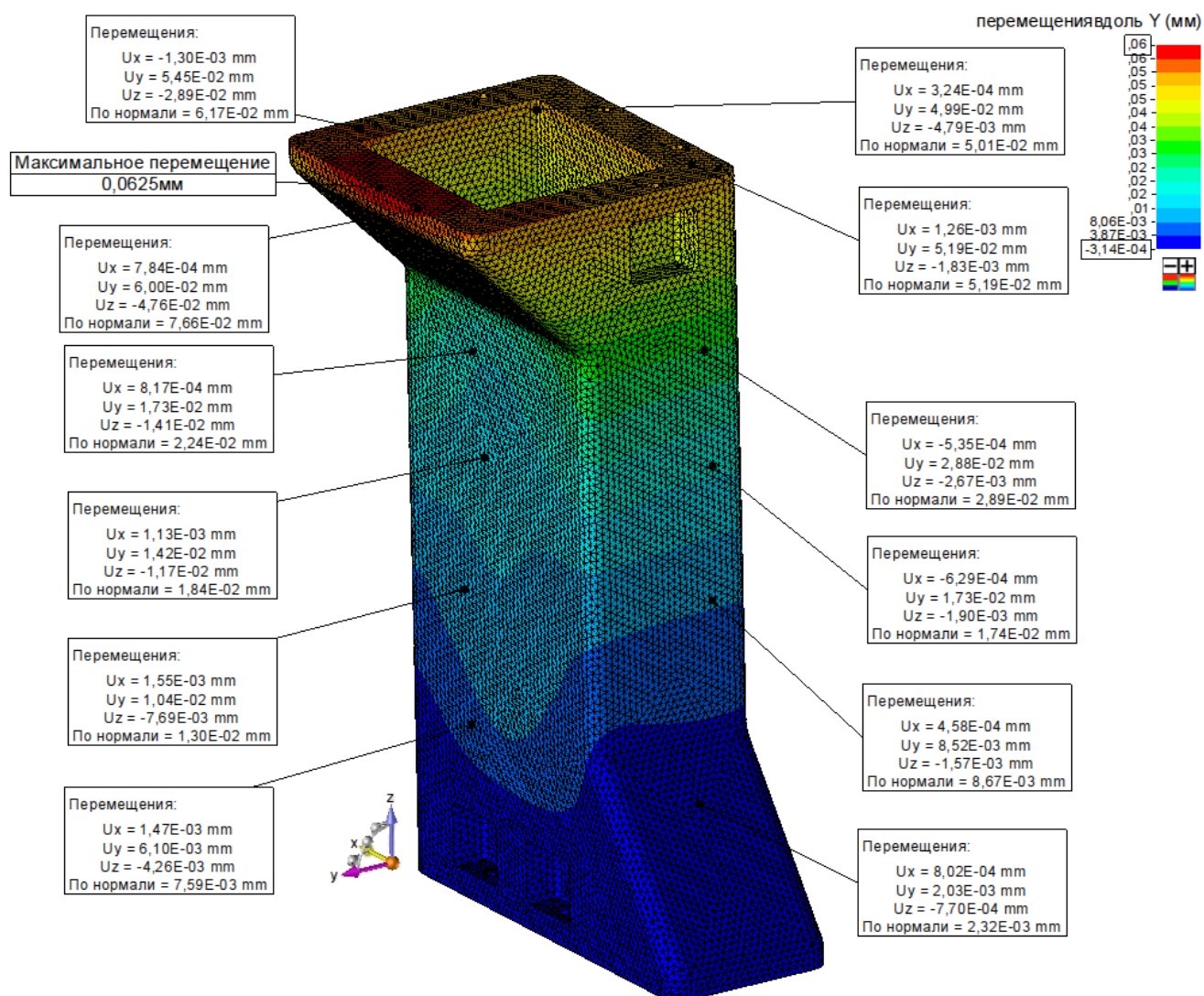


Рисунок 65 – Перемещения вдоль оси Y

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

95

На рисунке 66 показаны перемещения вдоль оси Z.

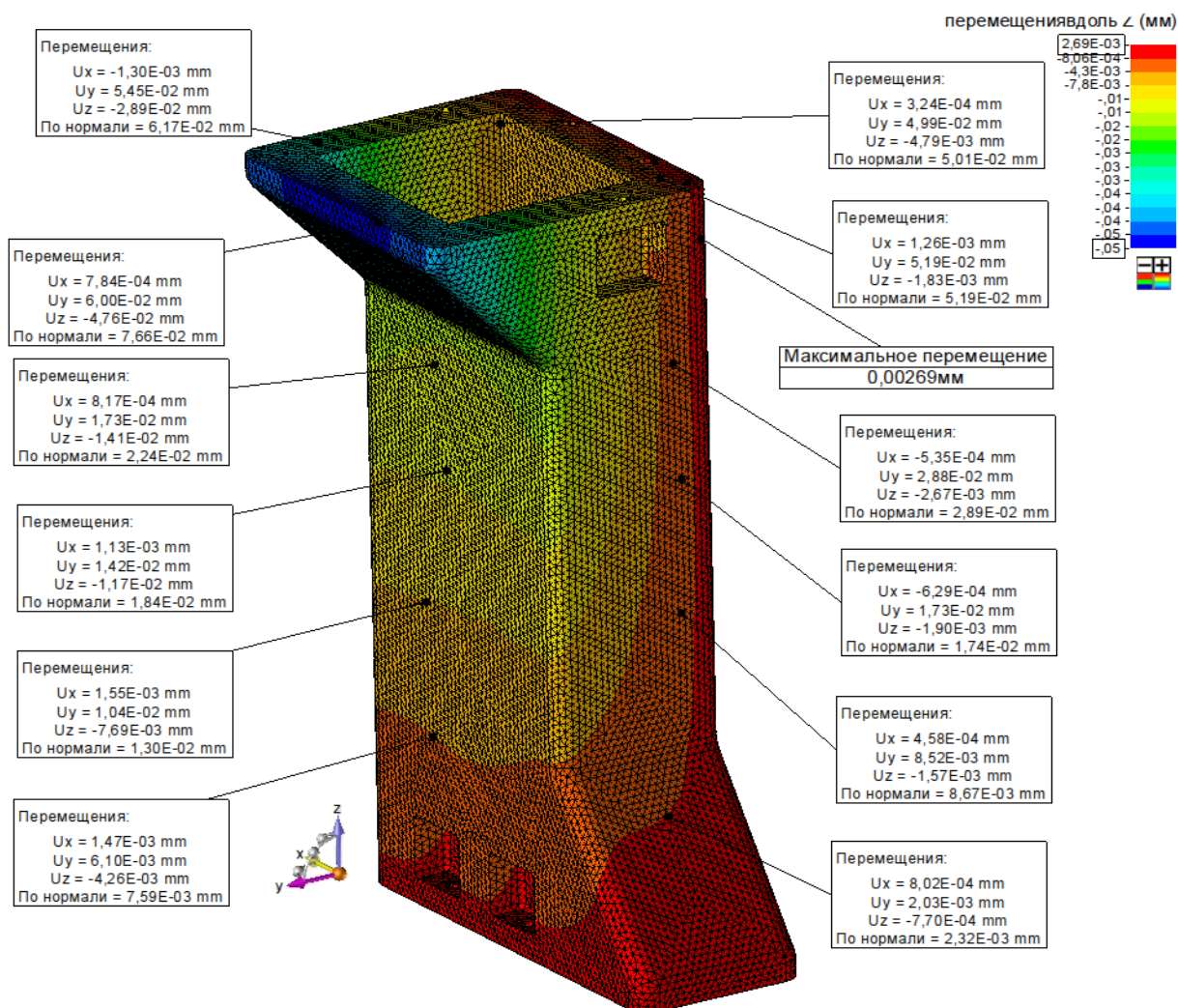


Рисунок 66 –Перемещения вдоль оси Z

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

96

На рисунке 67 показаны перемещения в плоскости ХУ

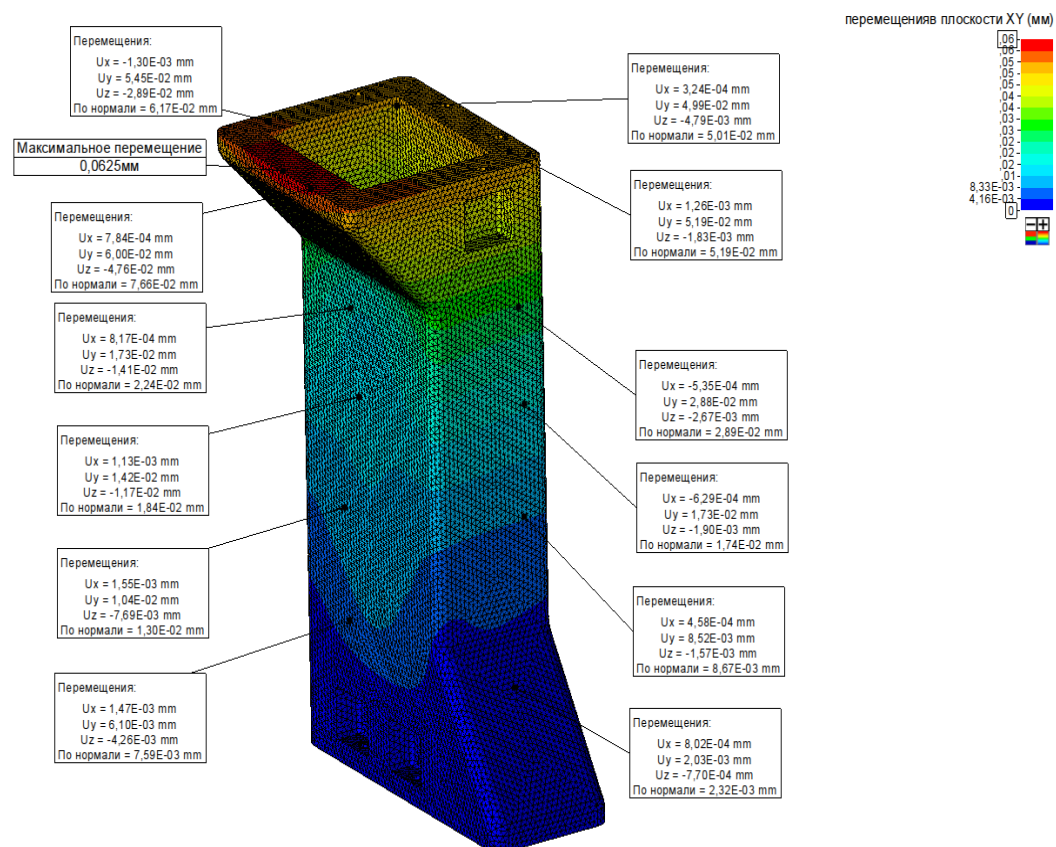


Рисунок 67 – Перемещения в плоскости ХУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

97

На рисунке 68 представлены перемещения в плоскости XZ

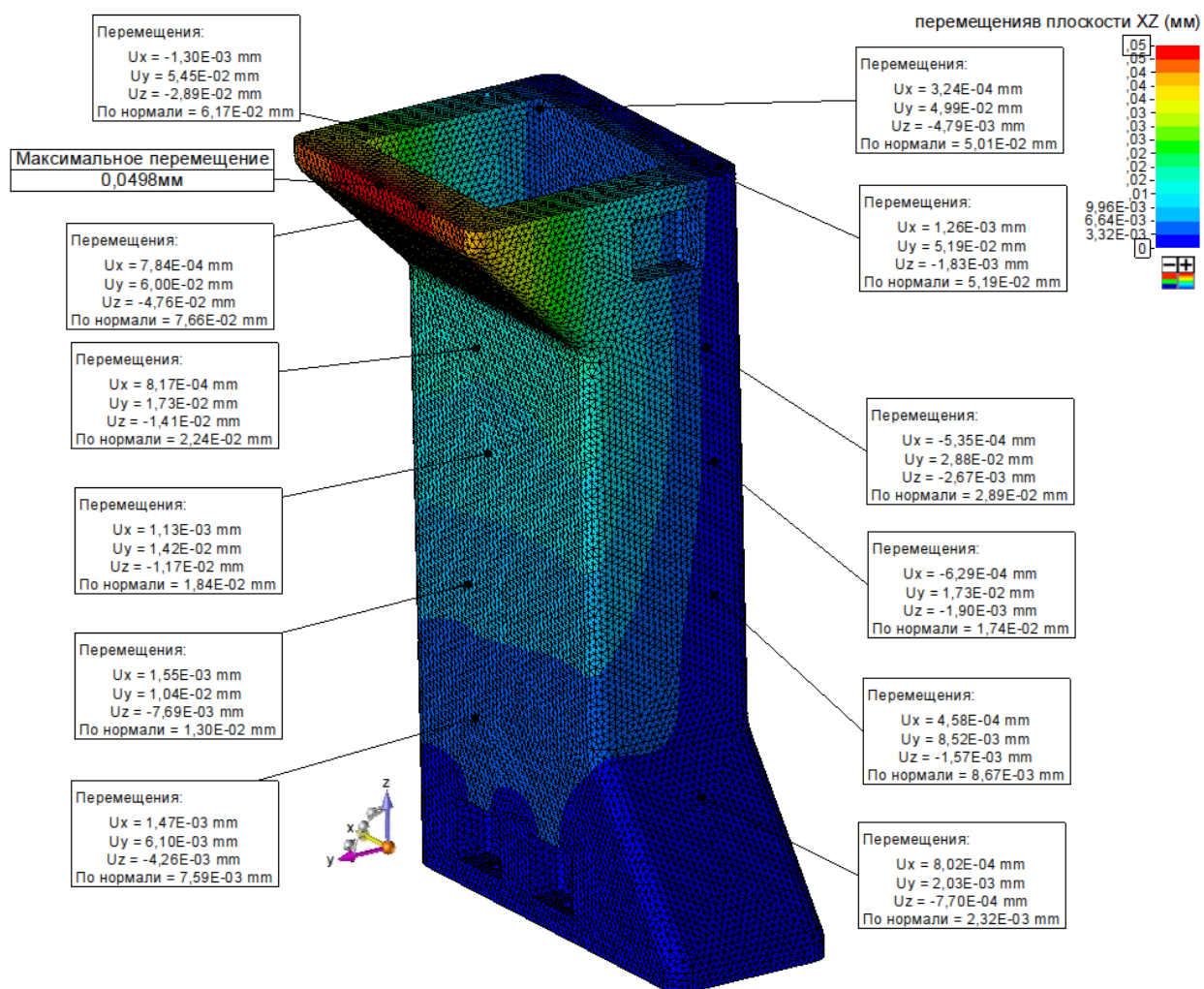


Рисунок 68 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 69 показаны перемещения в плоскости YZ

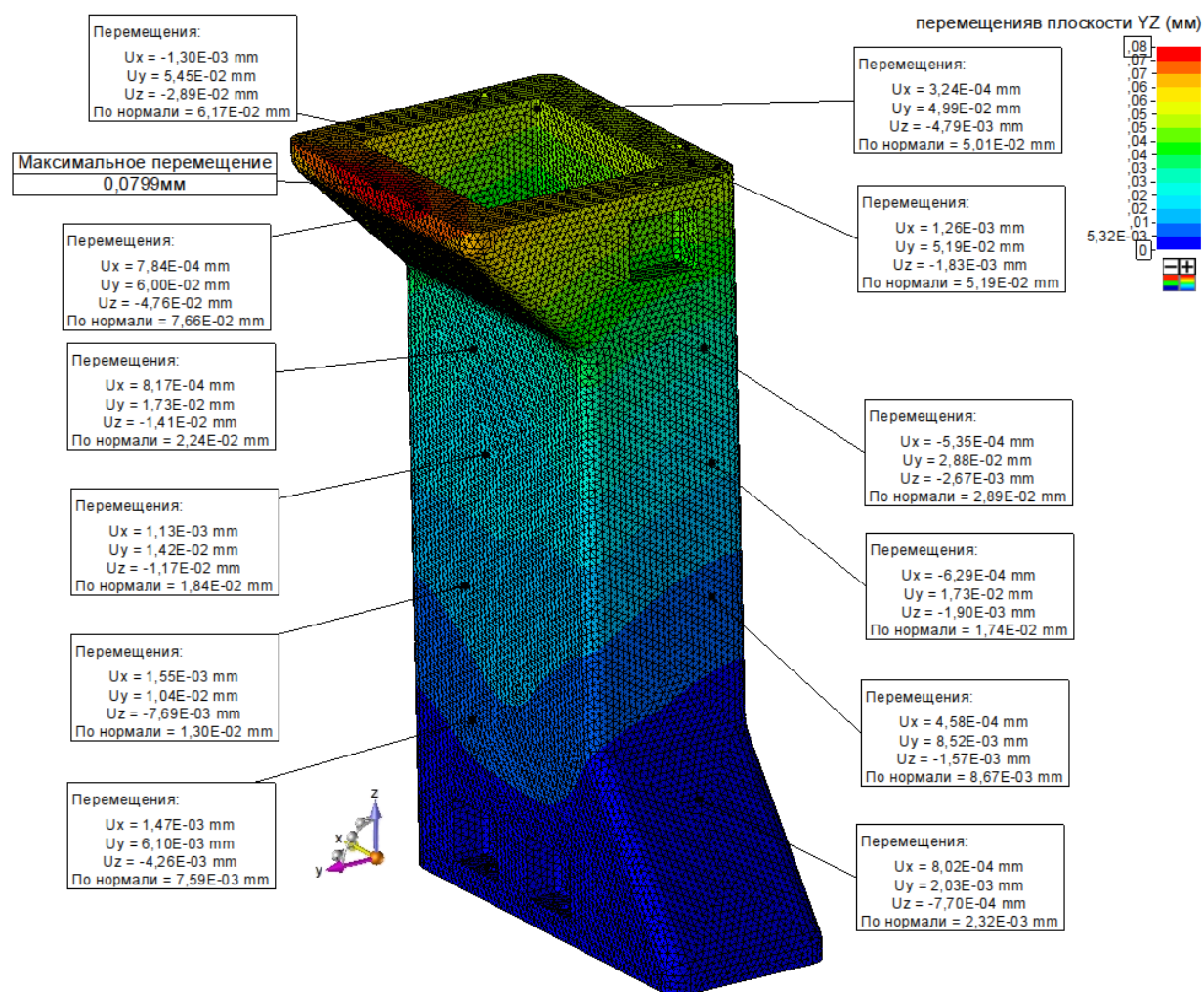


Рисунок 69 – Перемещения в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям и смещению по нормали мы привели в таблице 21, а в таблице 22 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 21 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение по X</i>	<i>97482</i>	<i>3,6454E-003</i>
<i>Перемещение по Y</i>	<i>108725</i>	<i>6,2457E-002</i>
<i>Перемещение по Z</i>	<i>5666</i>	<i>2,6921E-003</i>
<i>Смещение по нормали</i>	<i>5232</i>	<i>7,9876E-002</i>

Таблица 22 – Максимальные перемещения в плоскостях

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение в плоскости XY</i>	<i>97482</i>	<i>4,16E-003</i>
<i>Перемещение в плоскости XZ</i>	<i>108725</i>	<i>3,32E-002</i>
<i>Перемещение в плоскости YZ</i>	<i>5666</i>	<i>5,32E-003</i>

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 70 и 71

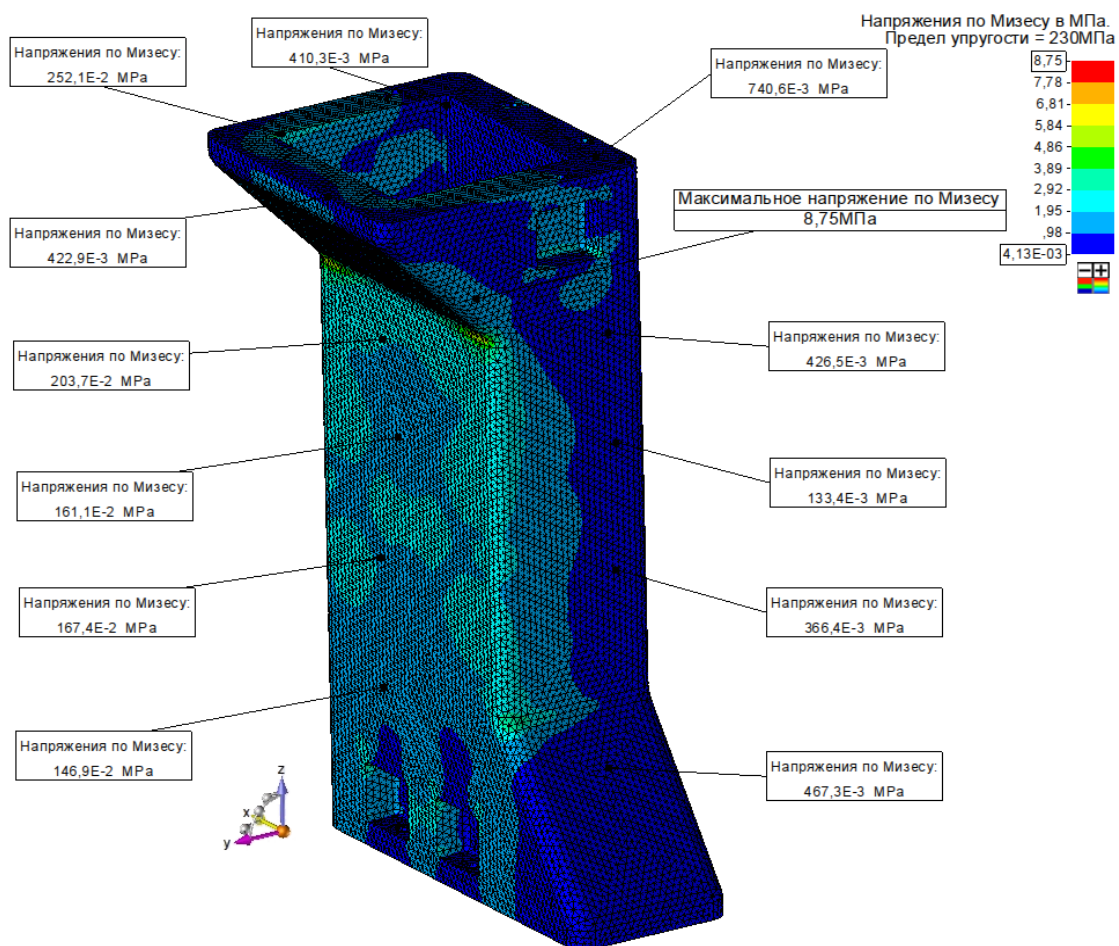


Рисунок 70 – Напряжения по Мизесу

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

101

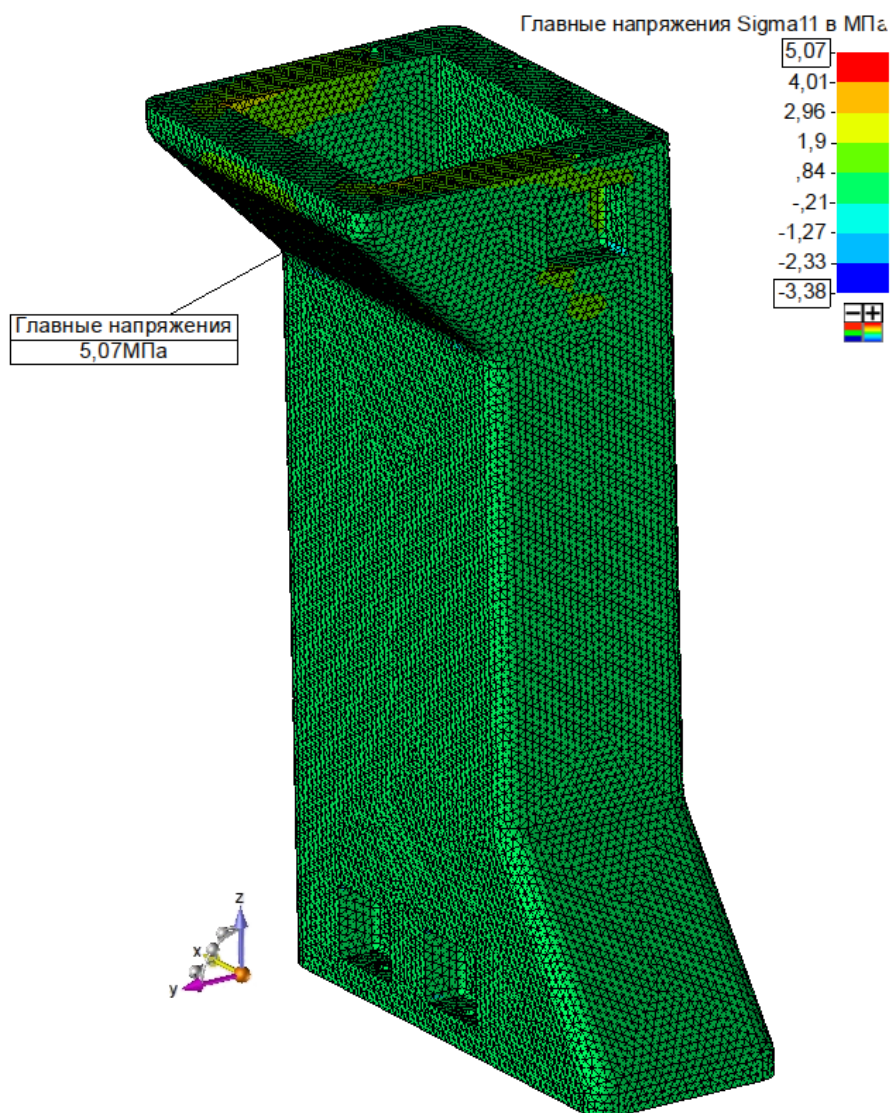


Рисунок 71 – Главные напряжения

Как итог, выбор в пользу материала изготовления траверсы СЧ35 позволит снизить максимальные перемещения в колоннах на 15-16%, при этом увеличив напряжения на 32%.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

102

4.3 Анализ напряженно-деформируемого состояния траверсы

На рисунке 72 представлена твердотельная модель траверсы из материала СЧ25, выполненная с применением CAD – программы КОМПАС 3D.

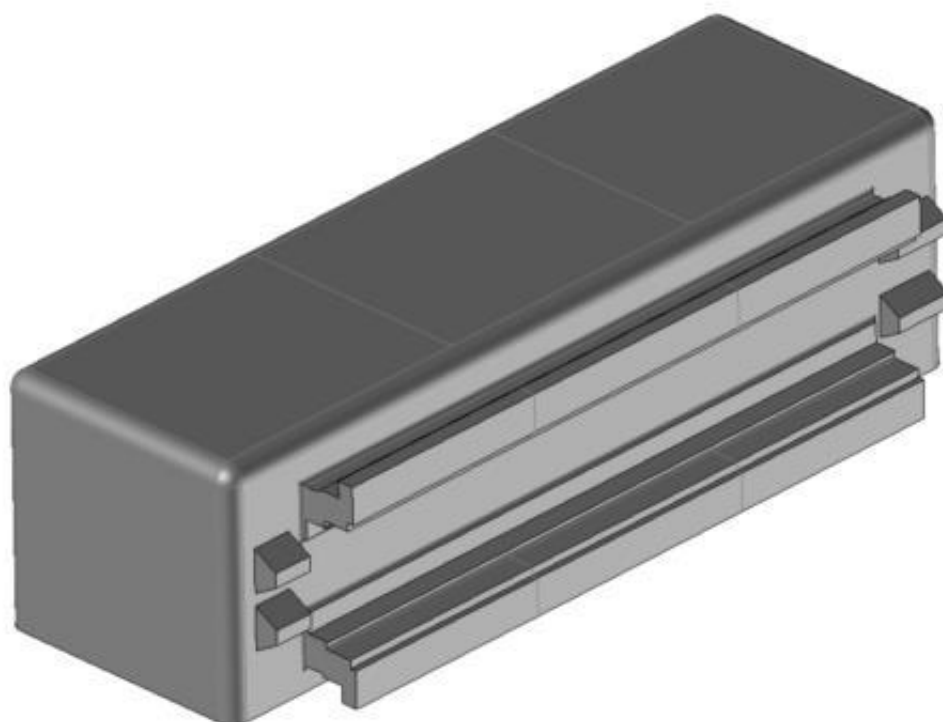


Рисунок 72 – Твердотельная модель траверсы

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции траверсы было выполнено при помощи CAD – программы *TopSolid*.

При исследовании были использованы граничные условия, которые показаны на рисунке 73 и в таблице 23. Так же для расчёта нам будут нужны характеристики материала, которые представлены в таблице 25.

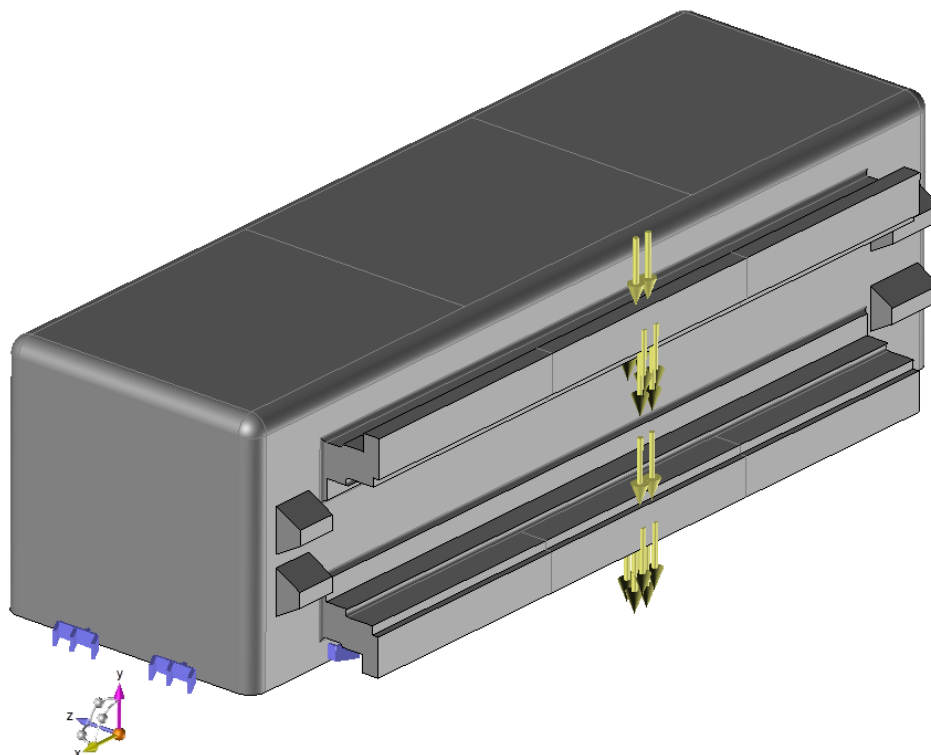


Рисунок 73 – Расчетная модель траверсы

Таблица 23 – Граничные условия этой модели

<i>Наименование</i>	<i>Значение</i>
Закрепление	
Вставить перемещения	0,0мм вдоль Y

Таблица 24 – Нагрузки на модель

<i>Наименование</i>	<i>Значение</i>
Равномерная нагрузка к поверхности	30000Н вдоль Y

Таблица 25 – Характеристика материала

<i>Материал</i>	<i>Деталь</i>	<i>Модуль Юнга МПа</i>	<i>Коэффициент Пуассона</i>	<i>Плотность Кг/м3</i>	<i>Предел упругости</i>
Cast Iron GJL-250 EN 1561	Траверса_ар214	110000	0,29	7200	170

На рисунке 74 показана сетка на твердотельной модели траверсы, а в таблице 26 показана информация о сетке.

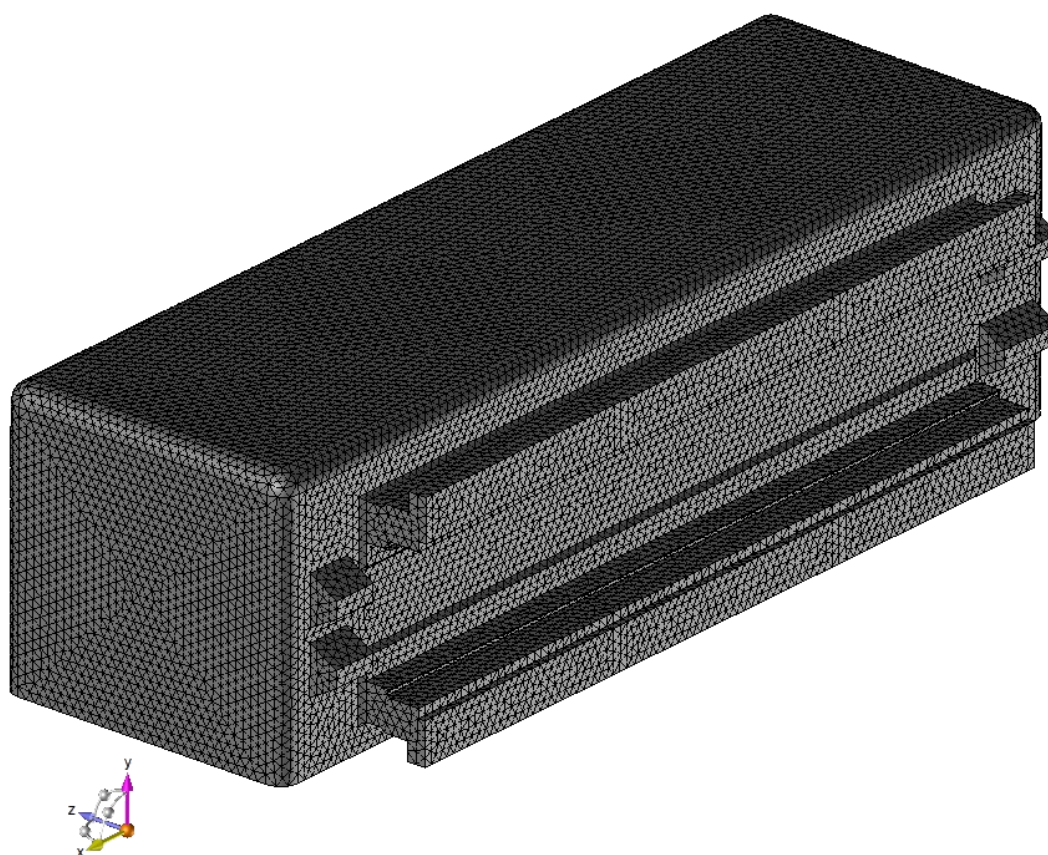


Рисунок 74 – Сетка на твердотельной модели траверсы

Таблица 26 –Информация о сетке

<i>Деталь</i>	<i>Количество узлов</i>	<i>Количество элементов</i>	<i>Тип элемента</i>
Твердотельный	869535	572114	10-узловой тетраэдр

[illegible]

Рисунок 75 – Перемещения по нормали

На рисунке 76 показано перемещение вдоль оси X.

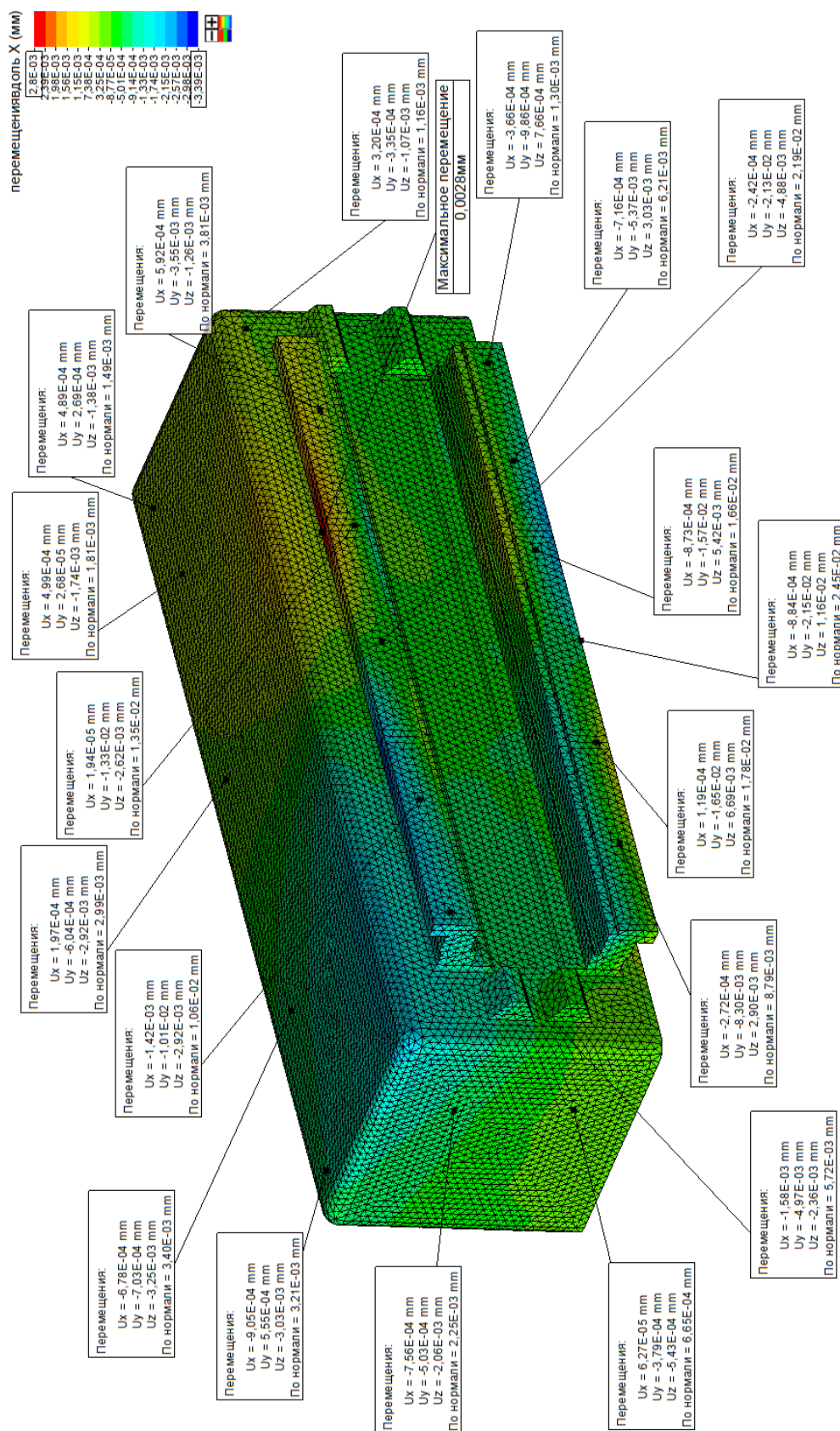


Рисунок 76 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 77 представлено перемещение вдоль оси Y.

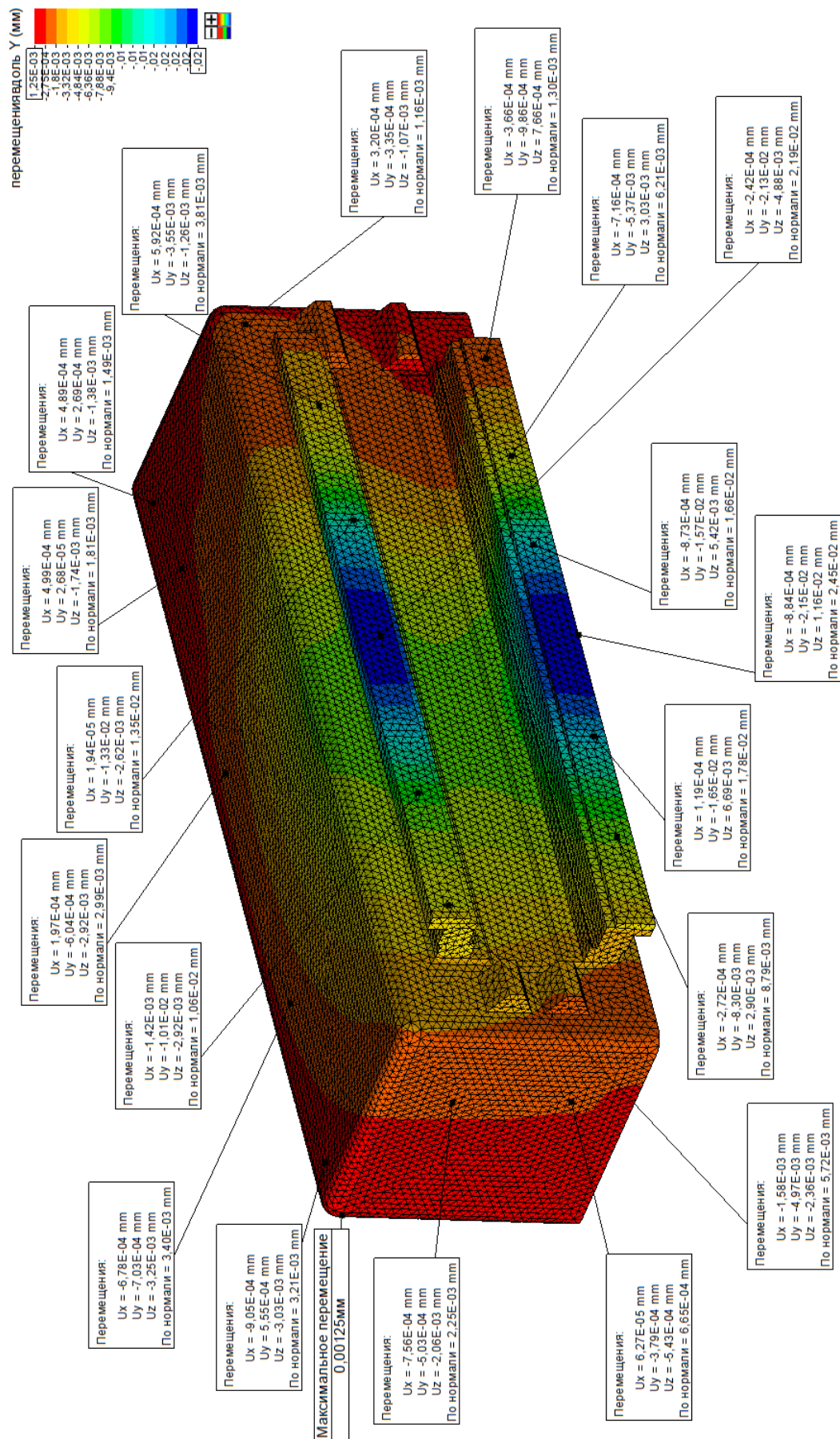


Рисунок 77 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 78 показано перемещение вдоль оси Z.

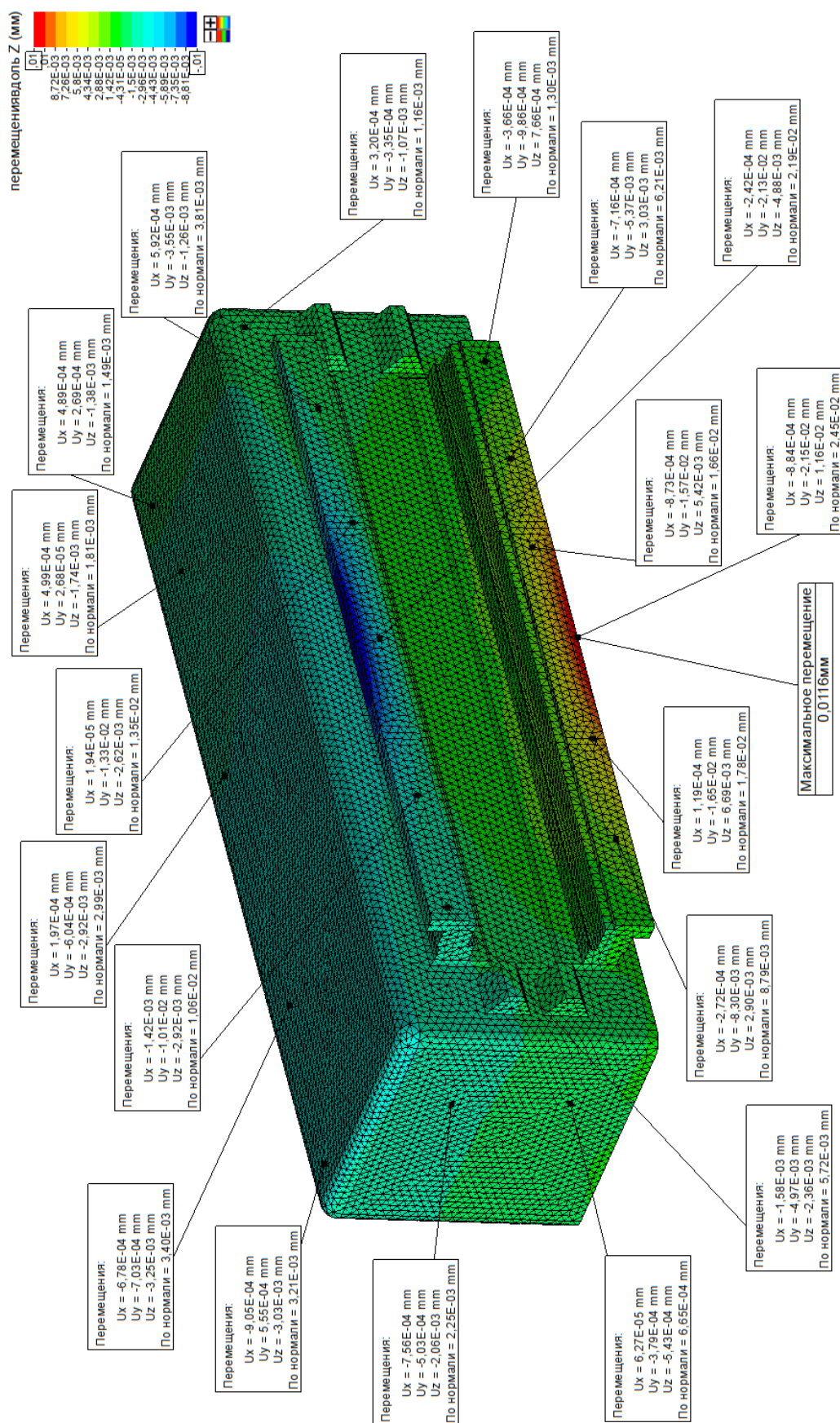


Рисунок 78 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 79 показано перемещение в плоскости ХУ

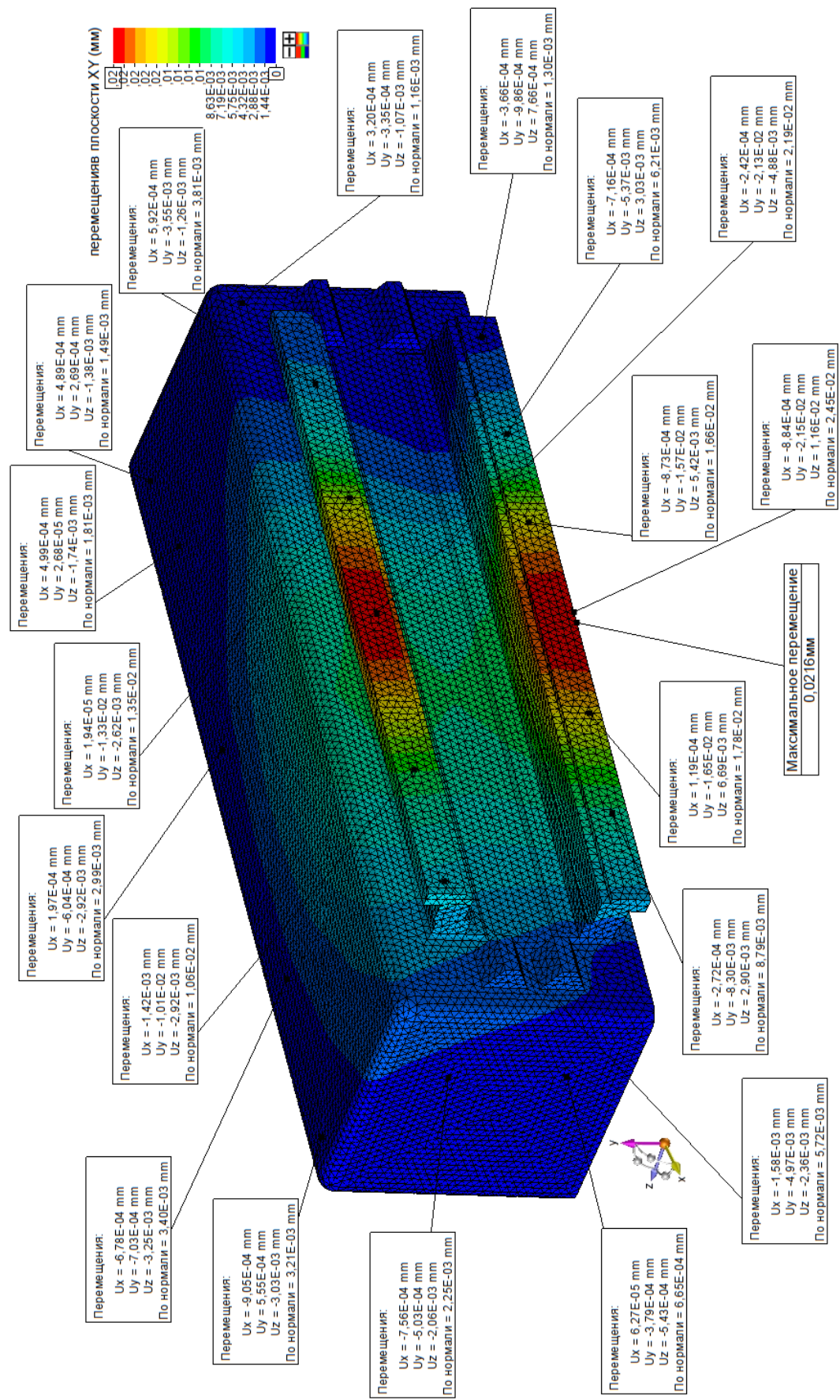


Рисунок 79 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 80 представлены перемещения в плоскости XZ

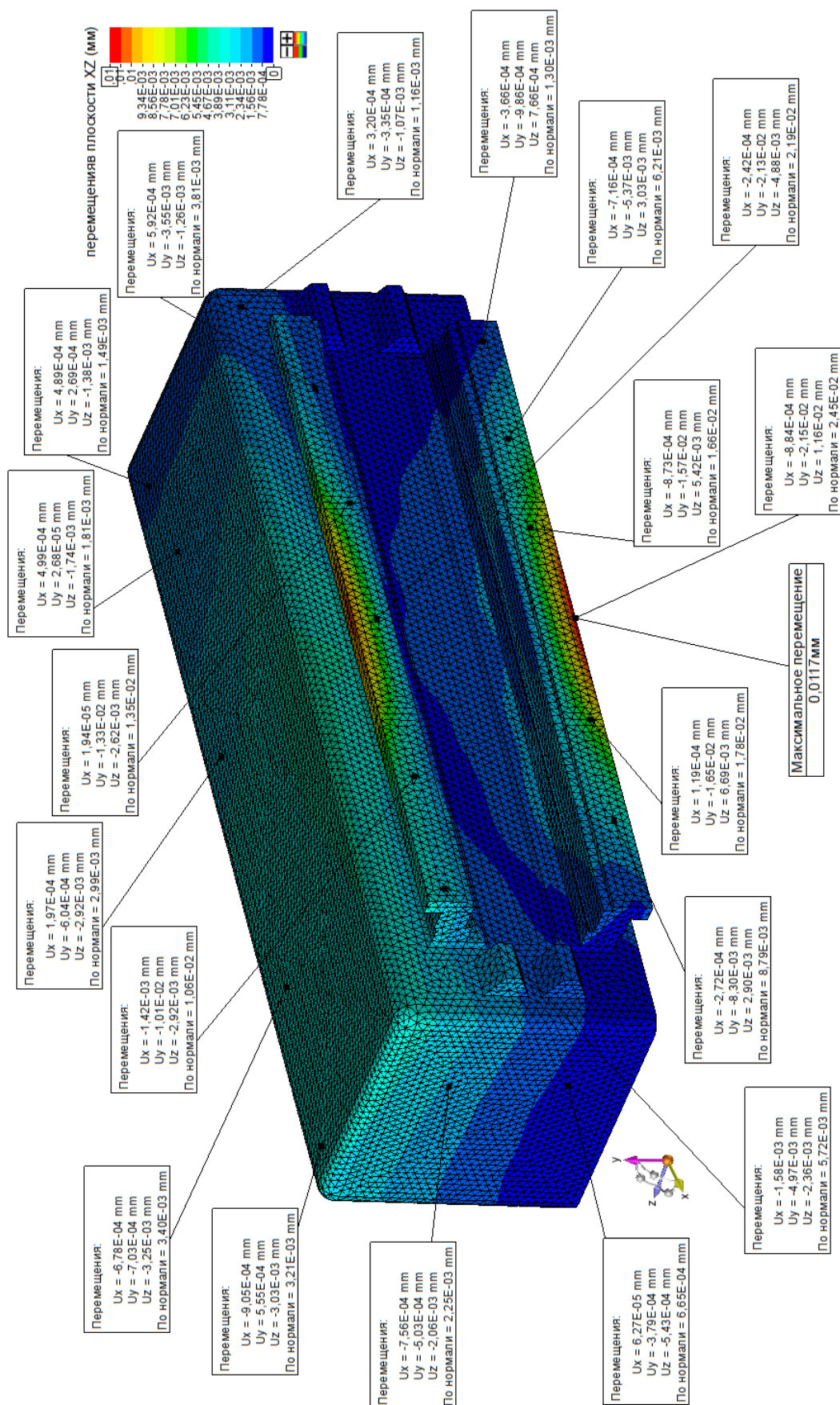


Рисунок 80 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 81 показаны перемещения в плоскости YZ

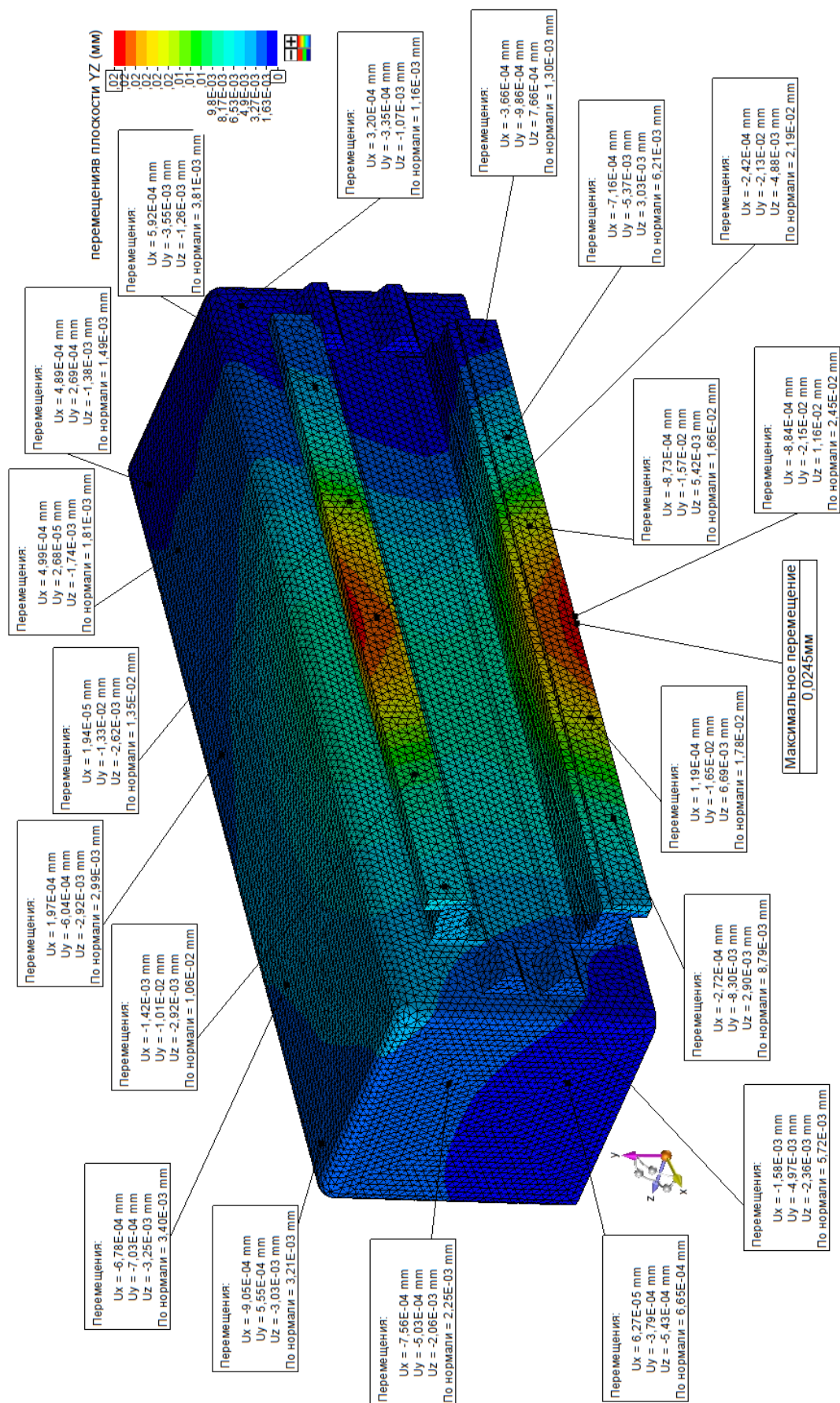


Рисунок 81 – Перемещения в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям, смещению по нормали мы привели в таблице 27, а в таблице 28 показаны перемещения в плоскостях.

Таблица 27 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение по X</i>	<i>54531</i>	<i>2,8032E-003</i>
<i>Перемещение по Y</i>	<i>195399</i>	<i>1,2459E-003</i>
<i>Перемещение по Z</i>	<i>59390</i>	<i>1,1643E-002</i>

Таблица 28 – Максимальные перемещения в плоскостях

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение в плоскости XY</i>	<i>7643</i>	<i>2,88E-003</i>
<i>Перемещение в плоскости XZ</i>	<i>48306</i>	<i>1,56E-002</i>
<i>Перемещение в плоскости YZ</i>	<i>6770</i>	<i>3,27E-003</i>

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 82 и 83.

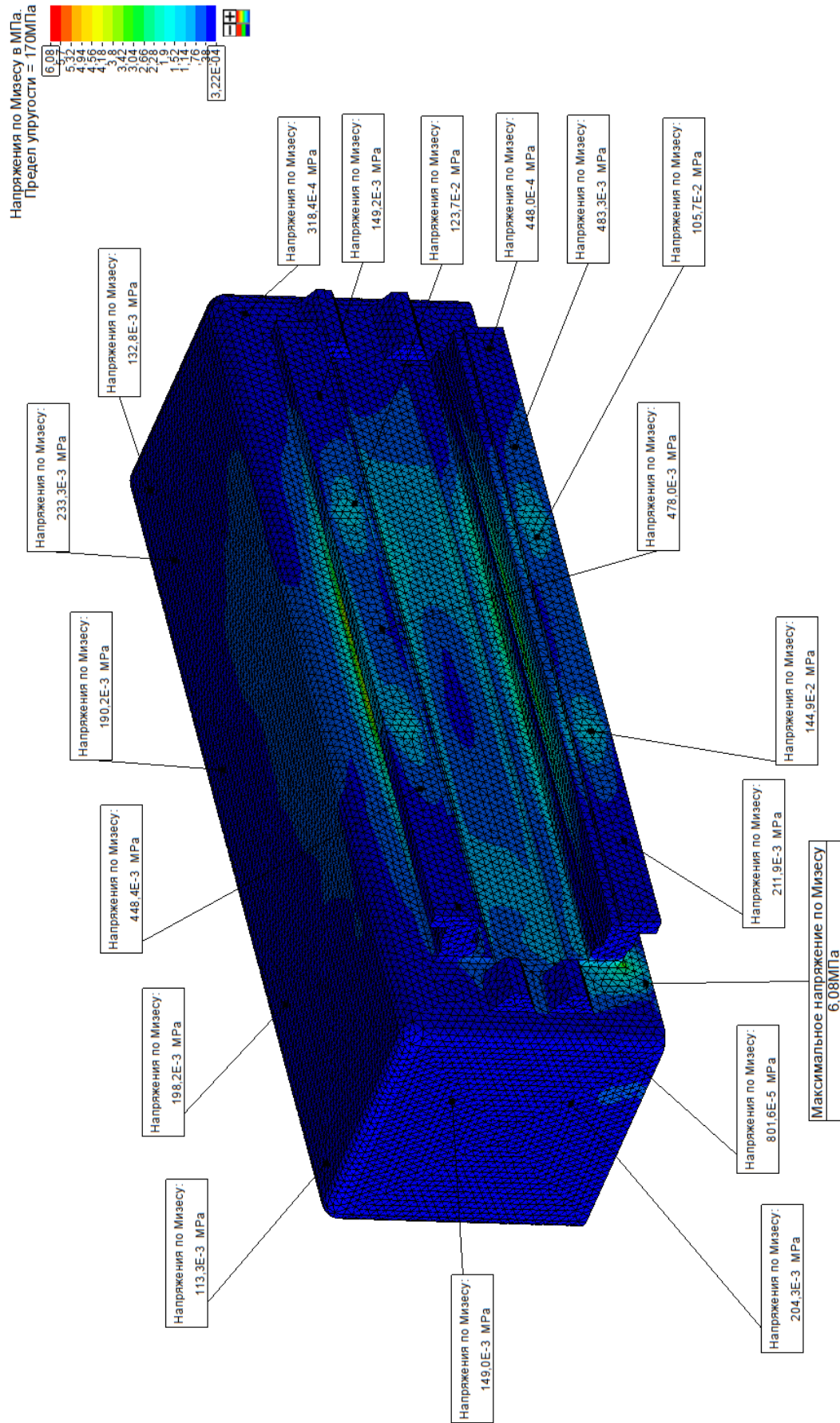
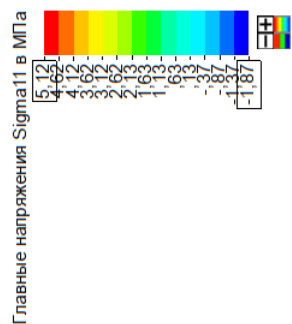
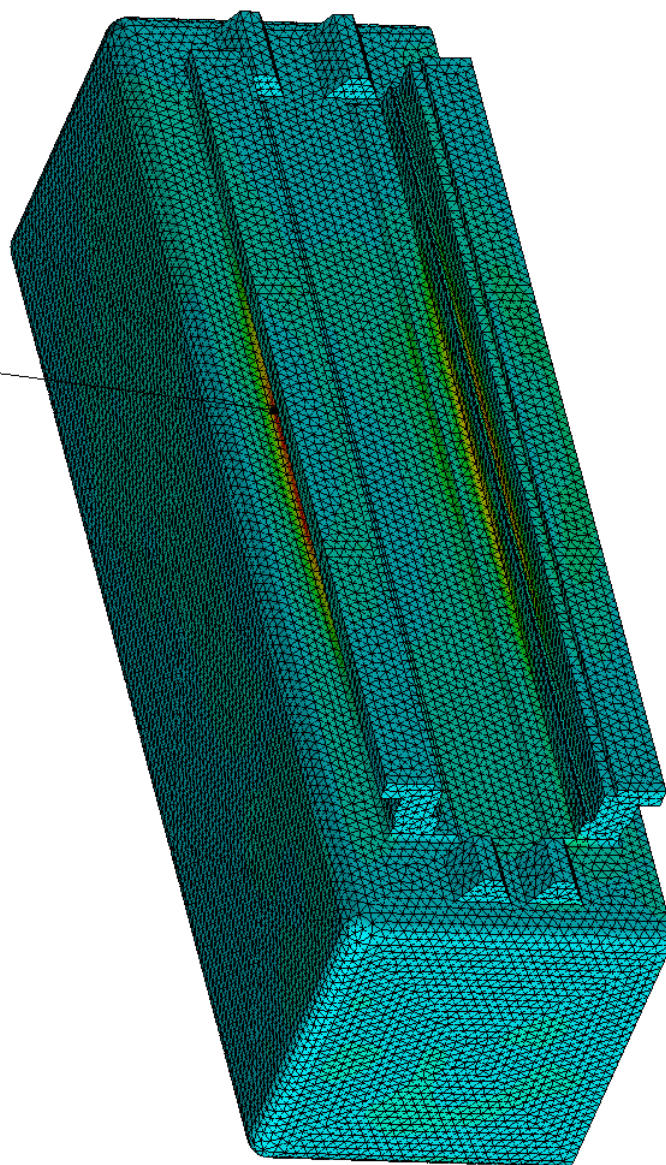


Рисунок 82 – Напряжения по Мизесу



Главные напряжения
5,12МПа



інем

Рисунок 83 – Главные напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист
116

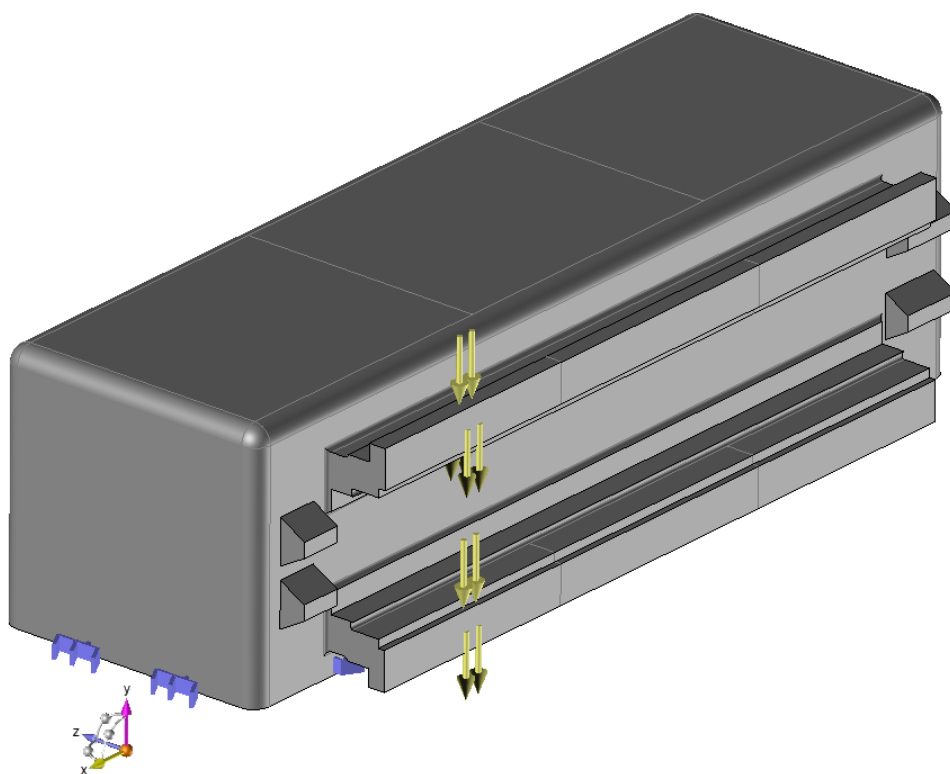


Рисунок 84 – Схема нагружения траверсы при крайнем
положении шпиндельного узла

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

117

На рисунке 85 показаны перемещения по нормали.

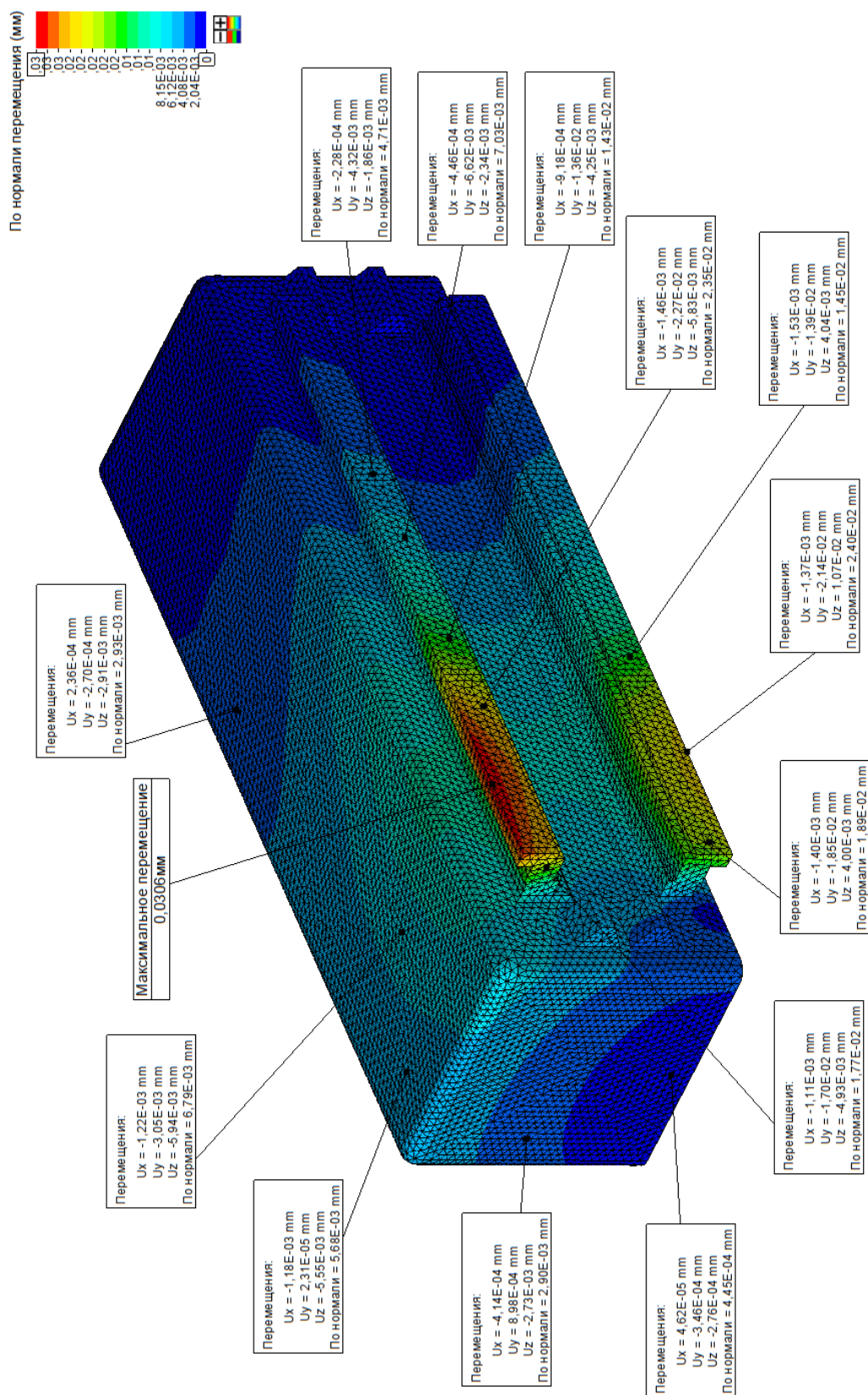


Рисунок 85 – Перемещения по нормали

На рисунке 86 показано перемещение вдоль оси X.

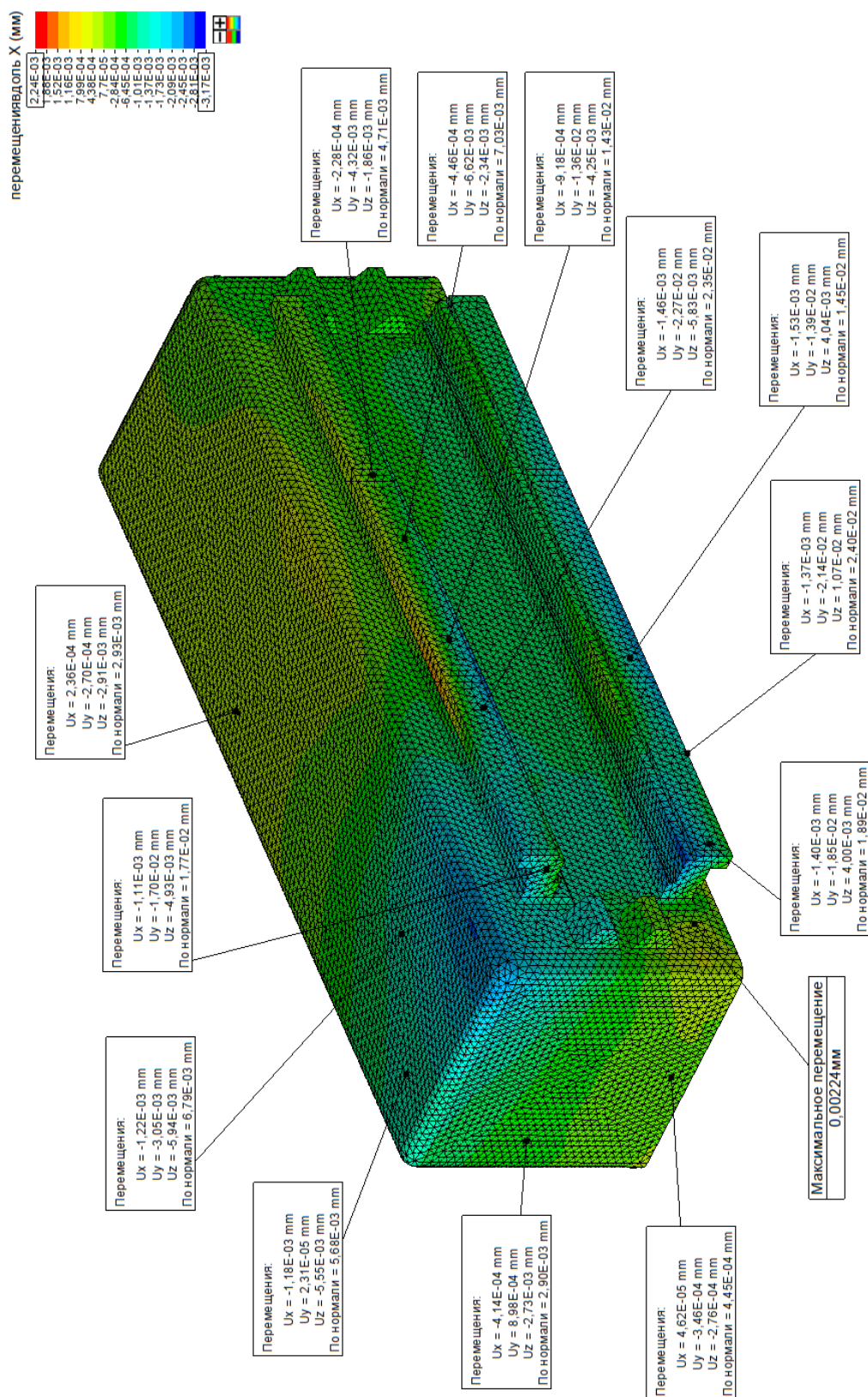


Рисунок 86 — Перемещение вдоль оси X

перемещения вдоль Y (mm)

1.85E-03
1.61E-03
1.37E-03
1.13E-03
8.9E-04
6.5E-04
4.1E-04
1.7E-04
-0.00E+00
-1.7E-04
-4.1E-04
-6.5E-04
-8.9E-04
-1.13E-03
-1.37E-03
-1.61E-03
-1.85E-03

Максимальное перемещение
0.00185mm

Перемещения:
Ux = -1.22E-03 mm
Uy = -3.05E-03 mm
Uz = -5.94E-03 mm
По нормали = 6.79E-03 mm

Перемещения:
Ux = -1.11E-03 mm
Uy = -1.70E-02 mm
Uz = -4.93E-03 mm
По нормали = 1.77E-02 mm

Перемещения:
Ux = 2.36E-04 mm
Uy = -2.70E-04 mm
Uz = -2.91E-03 mm
По нормали = 2.93E-03 mm

Перемещения:
Ux = -1.18E-03 mm
Uy = 2.31E-05 mm
Uz = -5.55E-03 mm
По нормали = 5.68E-03 mm

Перемещения:
Ux = -4.14E-04 mm
Uy = 8.98E-04 mm
Uz = -2.73E-03 mm
По нормали = 2.90E-03 mm

Перемещения:
Ux = 4.62E-05 mm
Uy = -3.46E-04 mm
Uz = -2.76E-04 mm
По нормали = 4.45E-04 mm

Перемещения:
Ux = -1.40E-03 mm
Uy = -1.85E-02 mm
Uz = 4.00E-03 mm
По нормали = 1.89E-02 mm

Перемещения:
Ux = -1.37E-03 mm
Uy = -2.14E-02 mm
Uz = 1.07E-02 mm
По нормали = 2.40E-02 mm

Перемещения:
Ux = -1.53E-03 mm
Uy = -1.39E-02 mm
Uz = 4.04E-03 mm
По нормали = 1.45E-02 mm

Перемещения:
Ux = -1.46E-03 mm
Uy = -2.27E-02 mm
Uz = -5.83E-03 mm
По нормали = 2.35E-02 mm

Перемещения:
Ux = -9.18E-04 mm
Uy = -1.36E-02 mm
Uz = -4.25E-03 mm
По нормали = 1.43E-02 mm

Перемещения:
Ux = -4.46E-04 mm
Uy = 6.62E-03 mm
Uz = -2.34E-03 mm
По нормали = 7.03E-03 mm

Перемещения:
Ux = -2.28E-04 mm
Uy = -4.32E-03 mm
Uz = -1.86E-03 mm
По нормали = 4.71E-03 mm

Рисунок 87 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 88 показано перемещение вдоль оси Z.

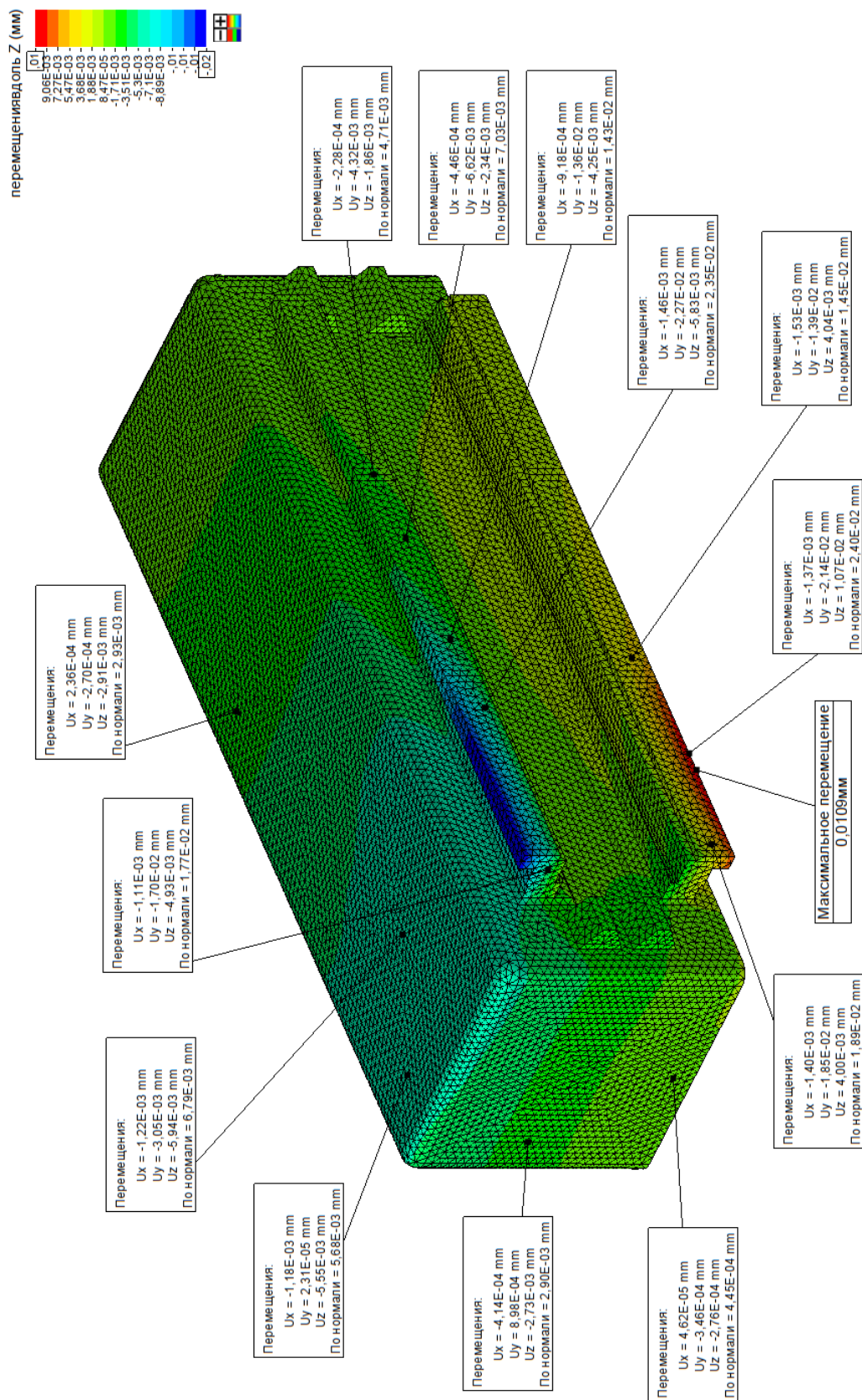


Рисунок 88 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 89 показано перемещение в плоскости ХУ

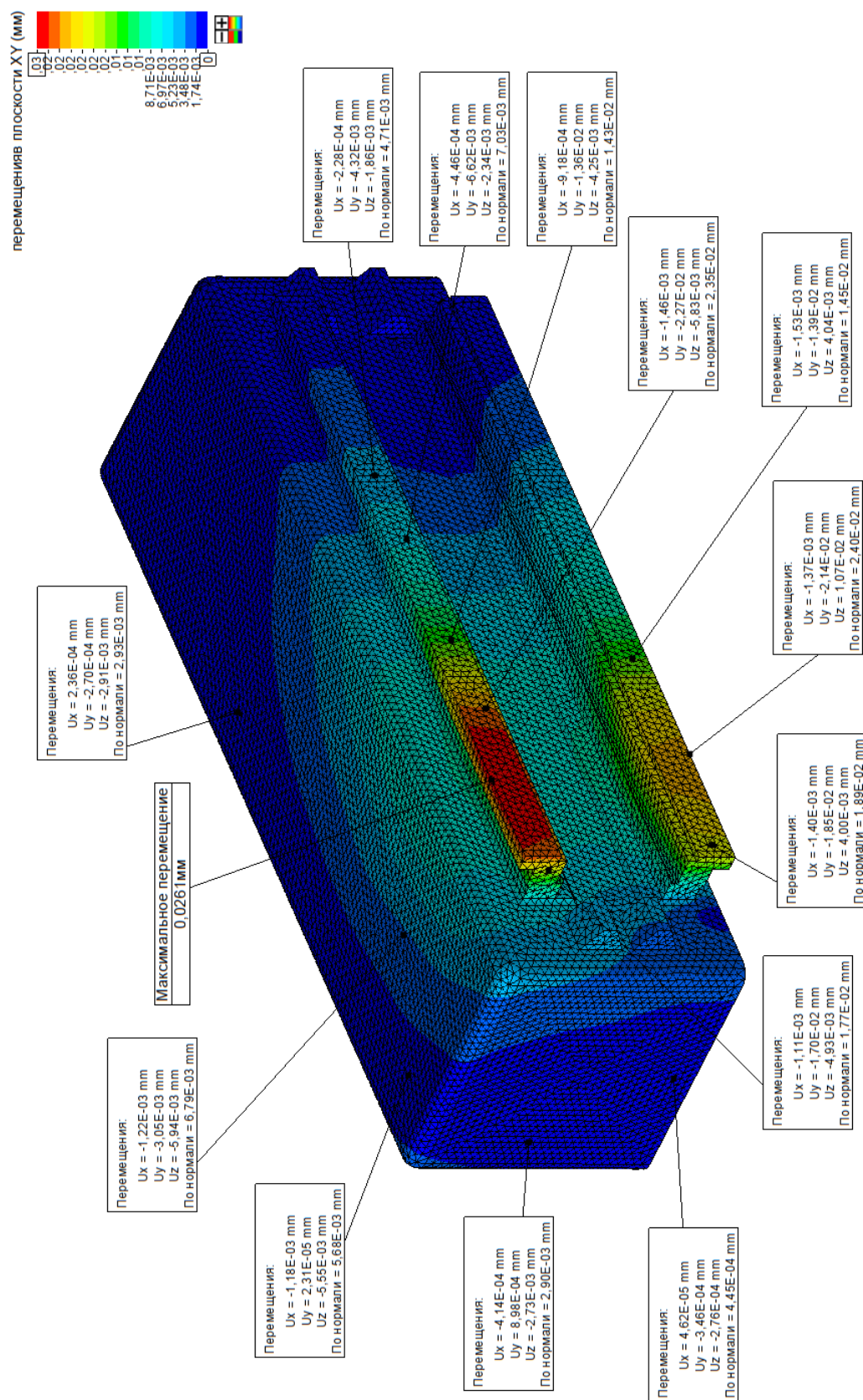


Рисунок 89 – Перемещение в плоскости ХУ

перемещения плоскости XZ (mm)

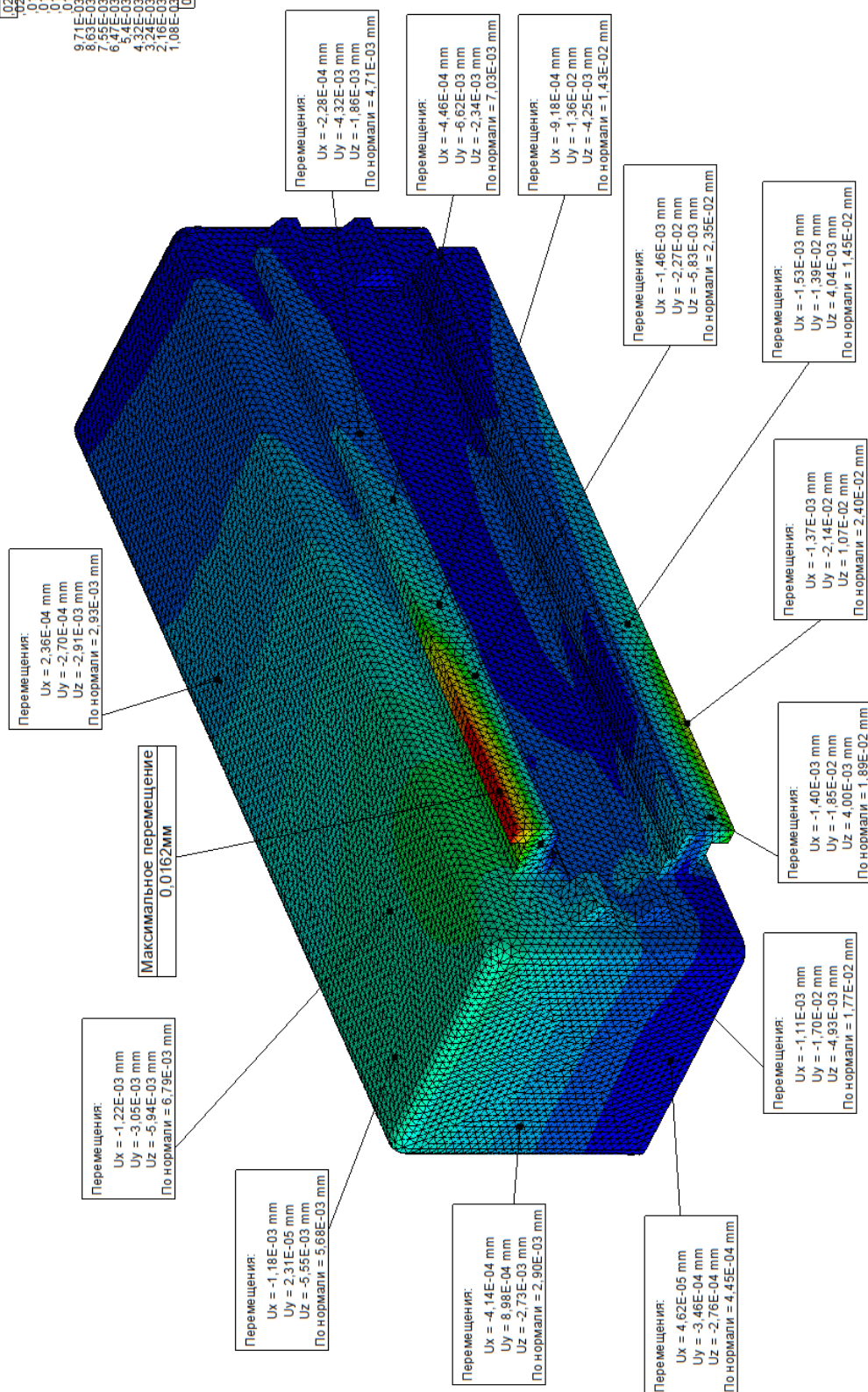


Рисунок 90 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 91 показаны перемещения в плоскости YZ

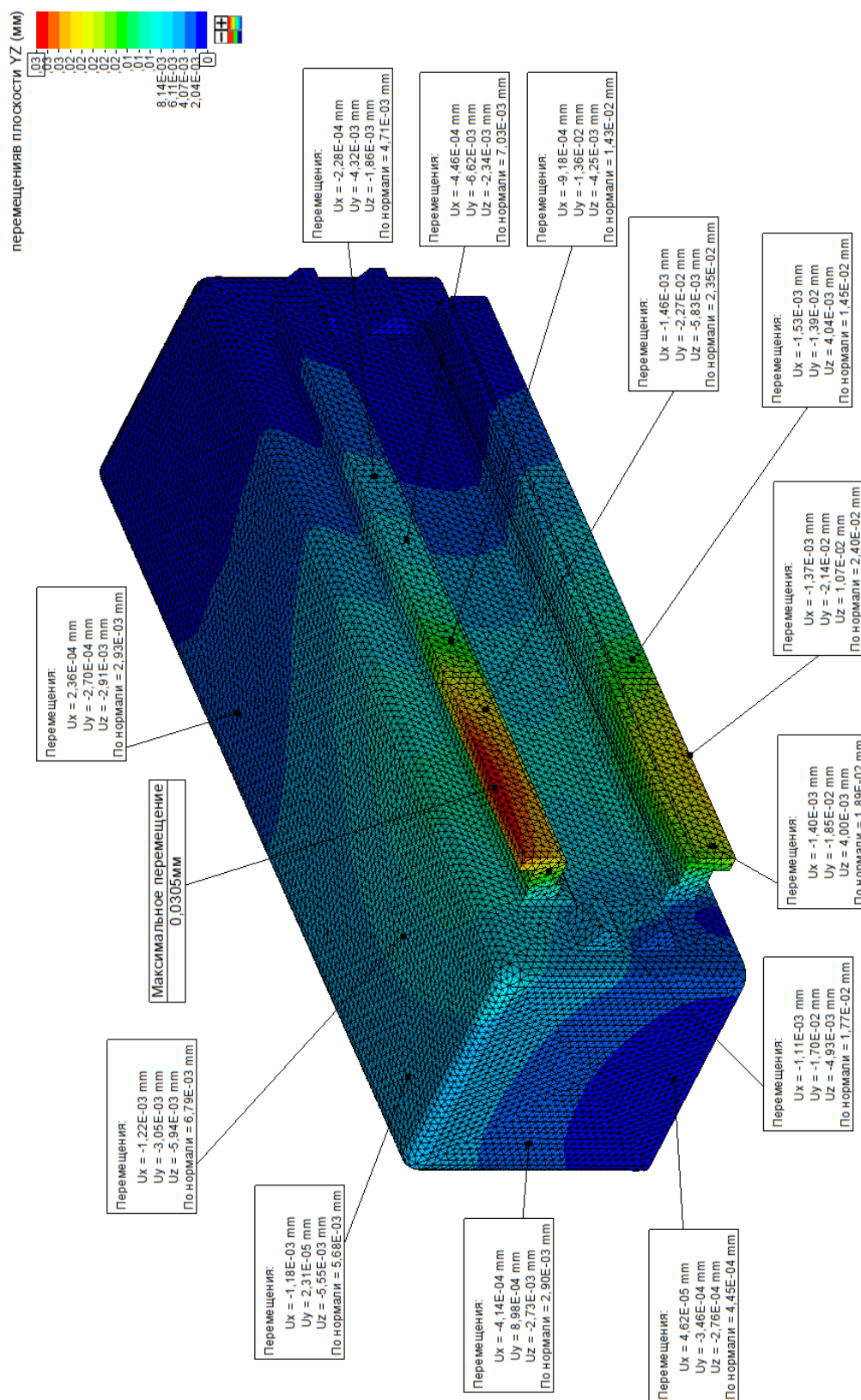


Рисунок 91 – Перемещения в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям, а также смещению по нормали мы привели в таблице 29, а в таблице 30 показаны перемещения в плоскостях.

Таблица 29 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение по X</i>	<i>7643</i>	<i>2,2440E-003</i>
<i>Перемещение по Y</i>	<i>48306</i>	<i>1,8546E-003</i>
<i>Перемещение по Z</i>	<i>6770</i>	<i>1,0859E-002</i>
<i>Смещение по нормали</i>	<i>172032</i>	<i>3,0577E-002</i>

Таблица 30 – Максимальные перемещения в плоскостях

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение в плоскости XY</i>	<i>7643</i>	<i>2,88E-003</i>
<i>Перемещение в плоскости XZ</i>	<i>48306</i>	<i>1,56E-002</i>
<i>Перемещение в плоскости YZ</i>	<i>6770</i>	<i>3,27E-003</i>

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 92 и 93

Напря
Пр

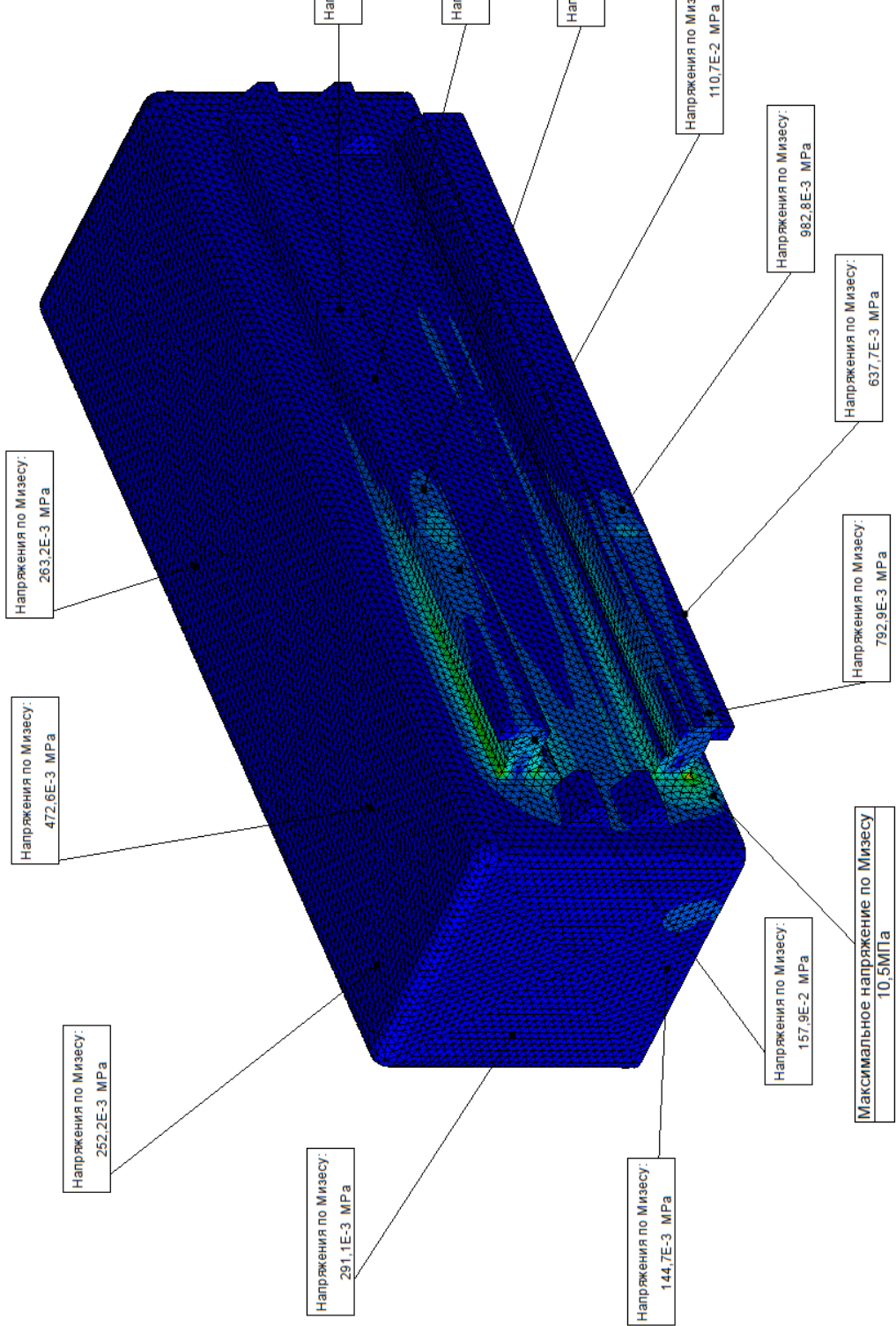
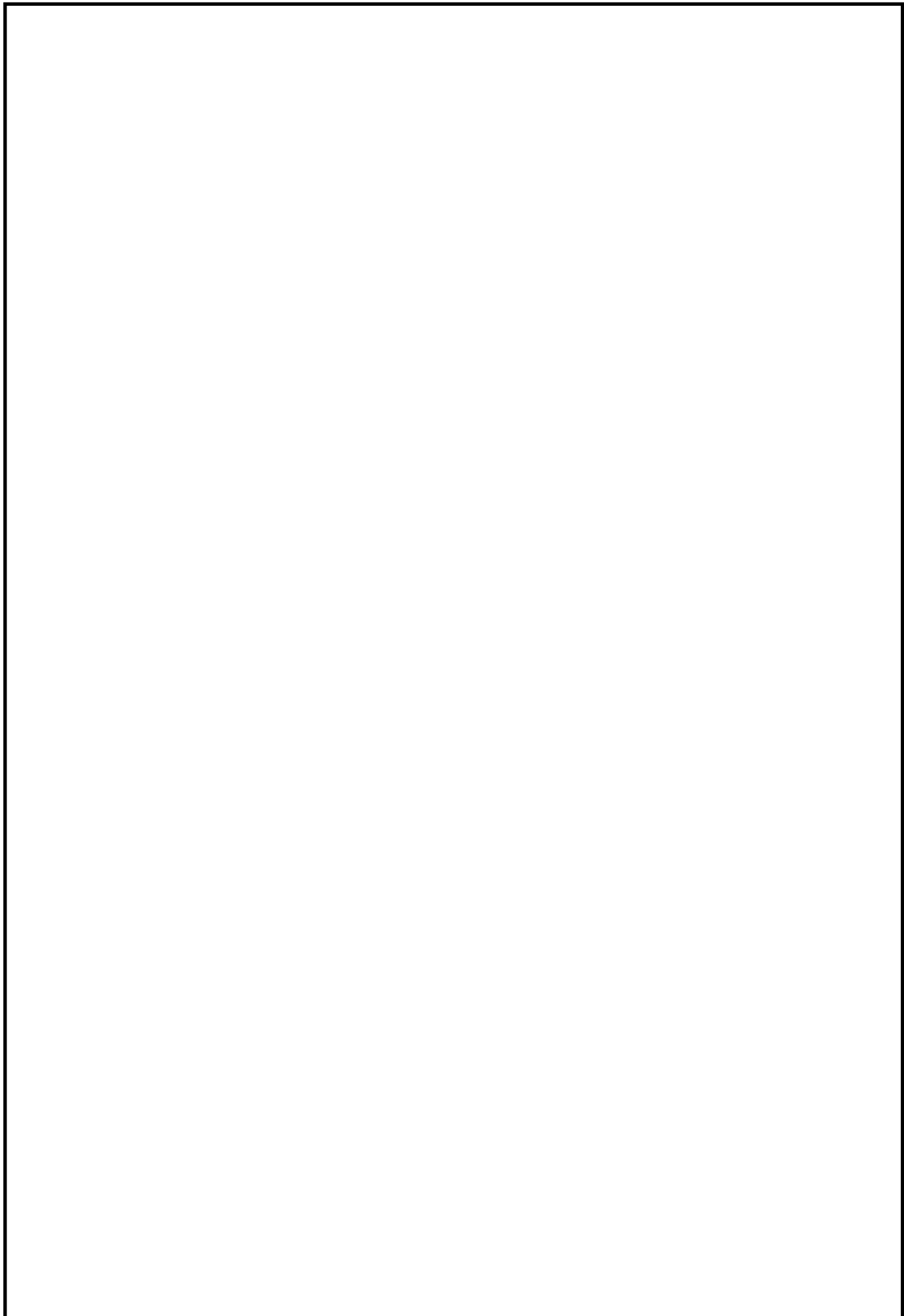
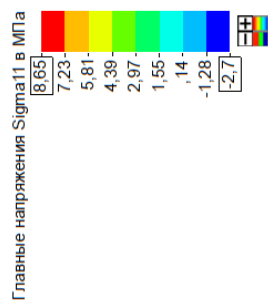
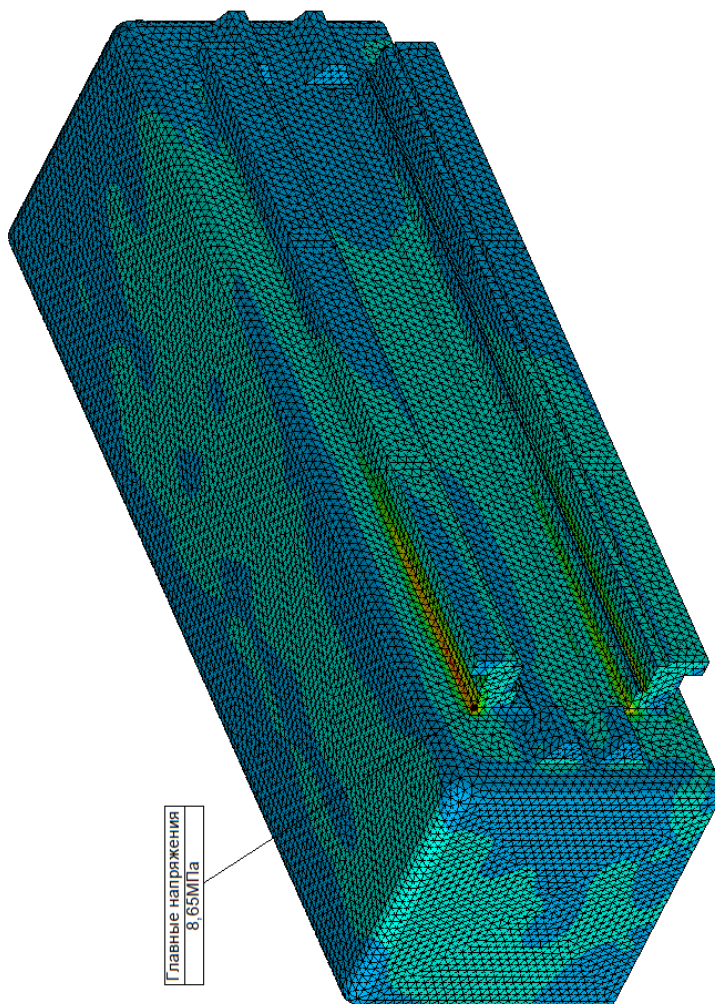


Рисунок 92 – Напряжения по Мизесу



					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						127
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		



Главные напряжения
8,65МПа

Рисунок 93 – Главные напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист
128

Продельваем тоже самое, но уже для материала СЧ35.

На рисунке 94 показаны перемещения по нормали.

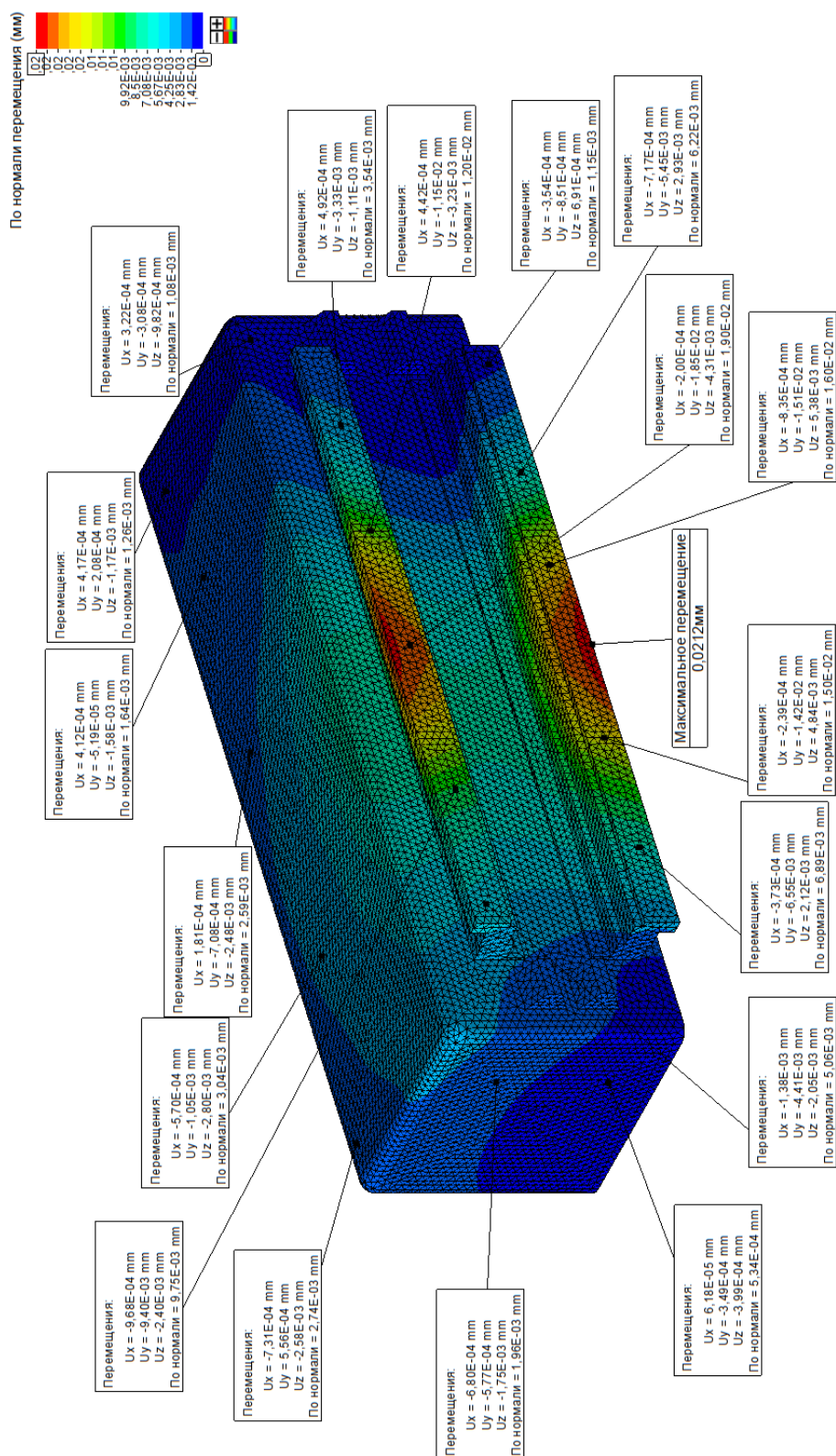


Рисунок 94 – Перемещения по нормали

На рисунке 95 показано перемещение вдоль оси X.

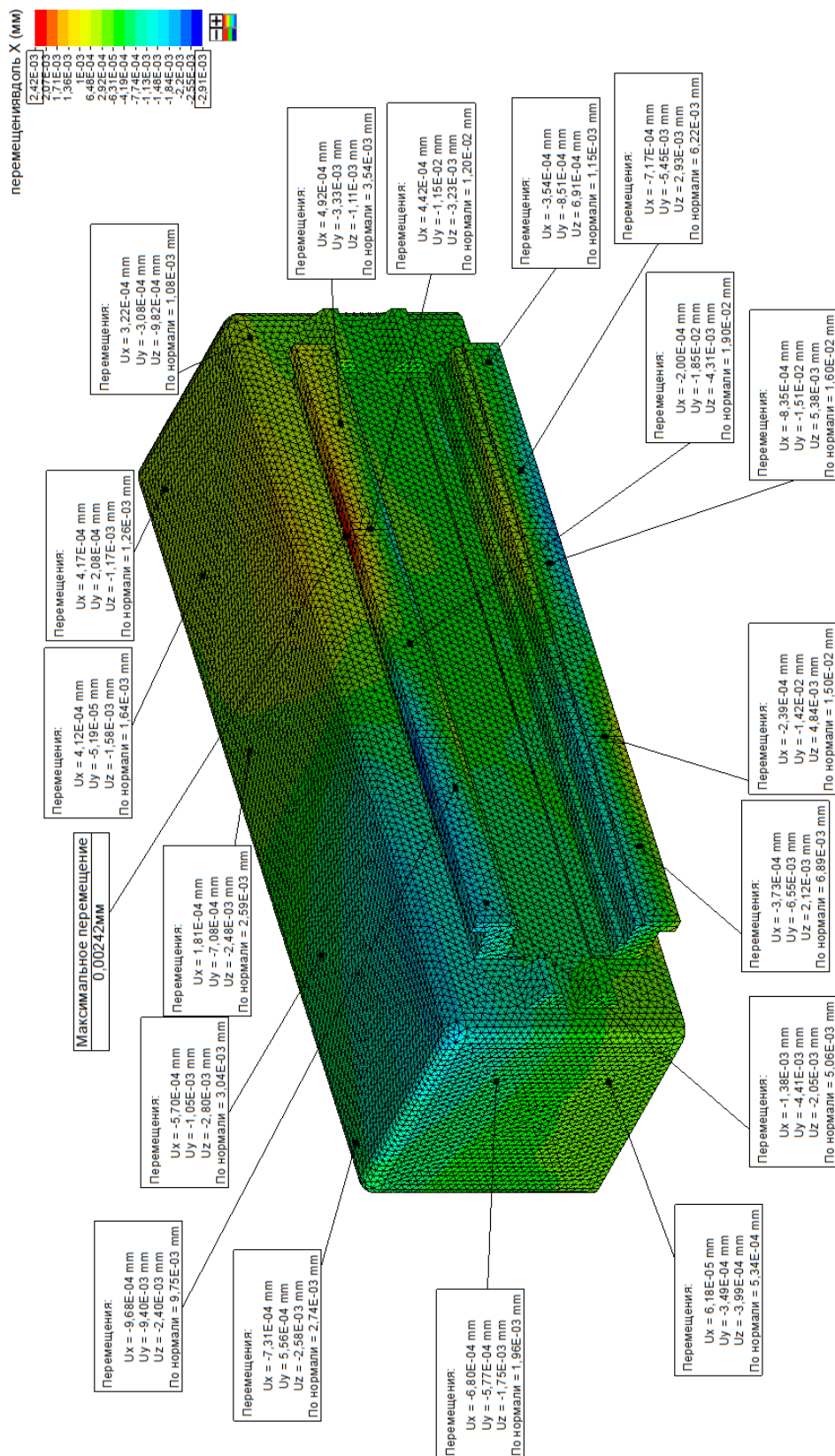


Рисунок 95 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 96 представлено перемещение вдоль оси Y.

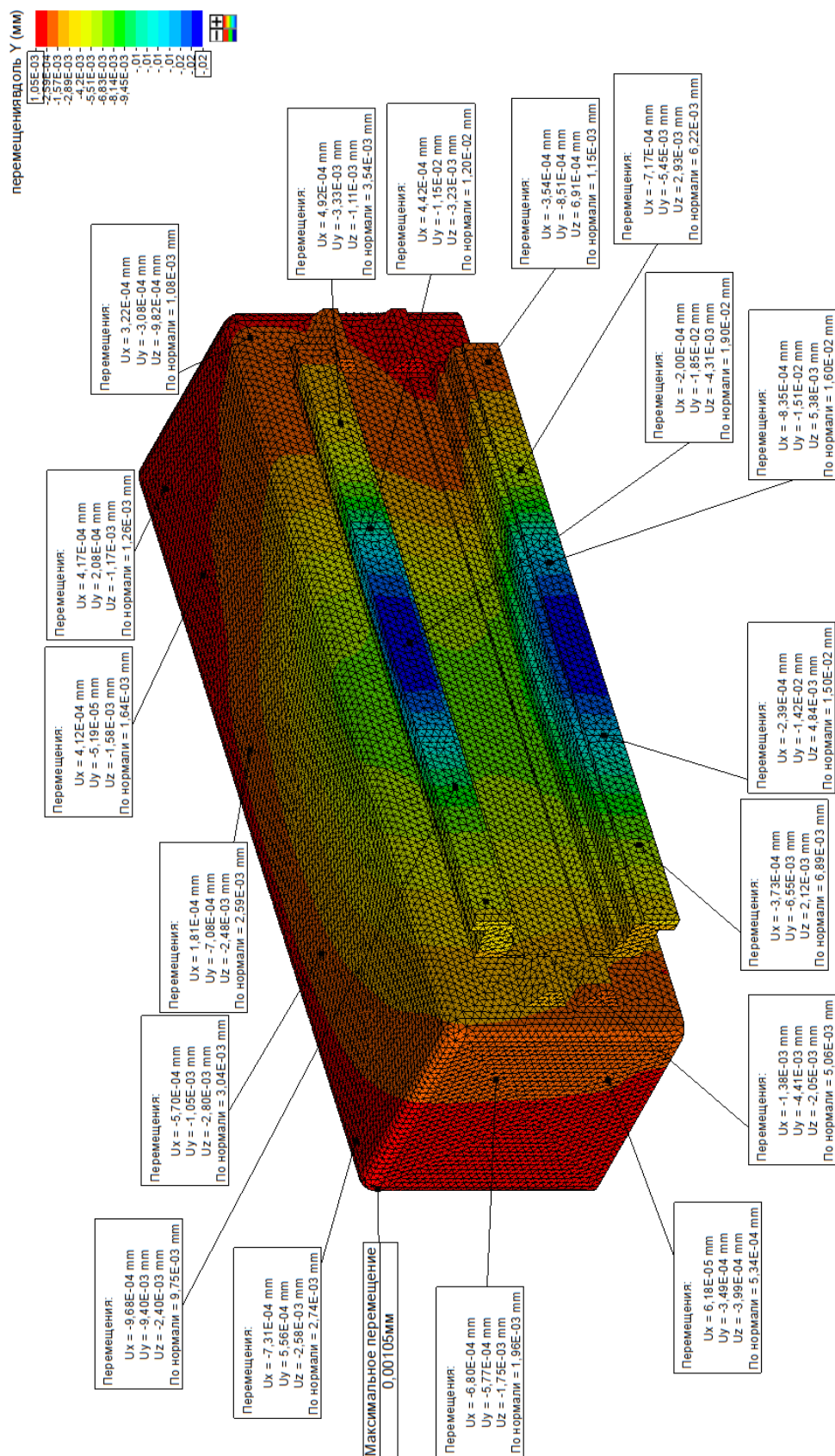


Рисунок 96 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 97 показано перемещение вдоль оси Z.

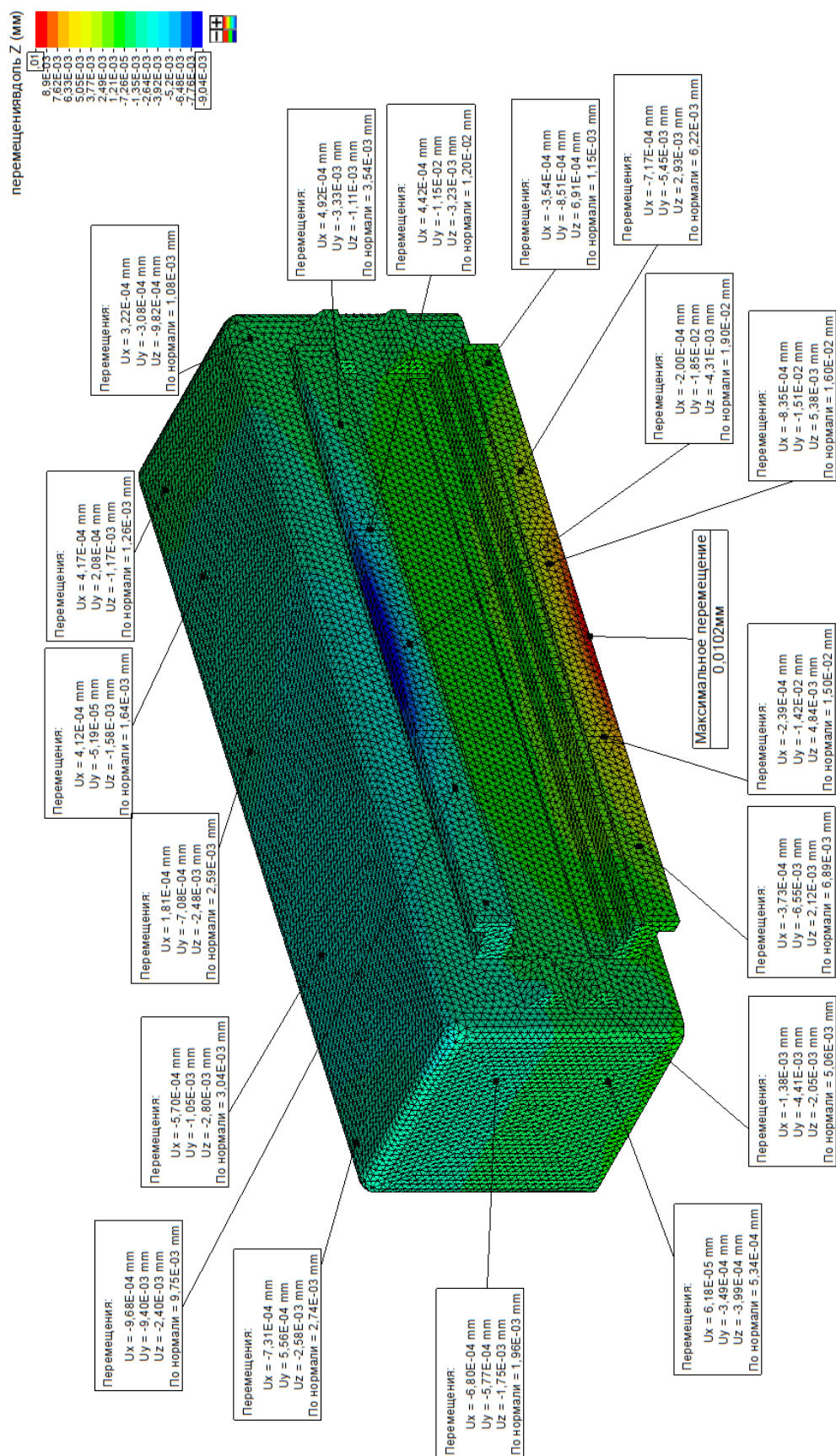


Рисунок 97 – Перемещение вдоль оси Z

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист

132

На рисунке 98 показано перемещение в плоскости XY

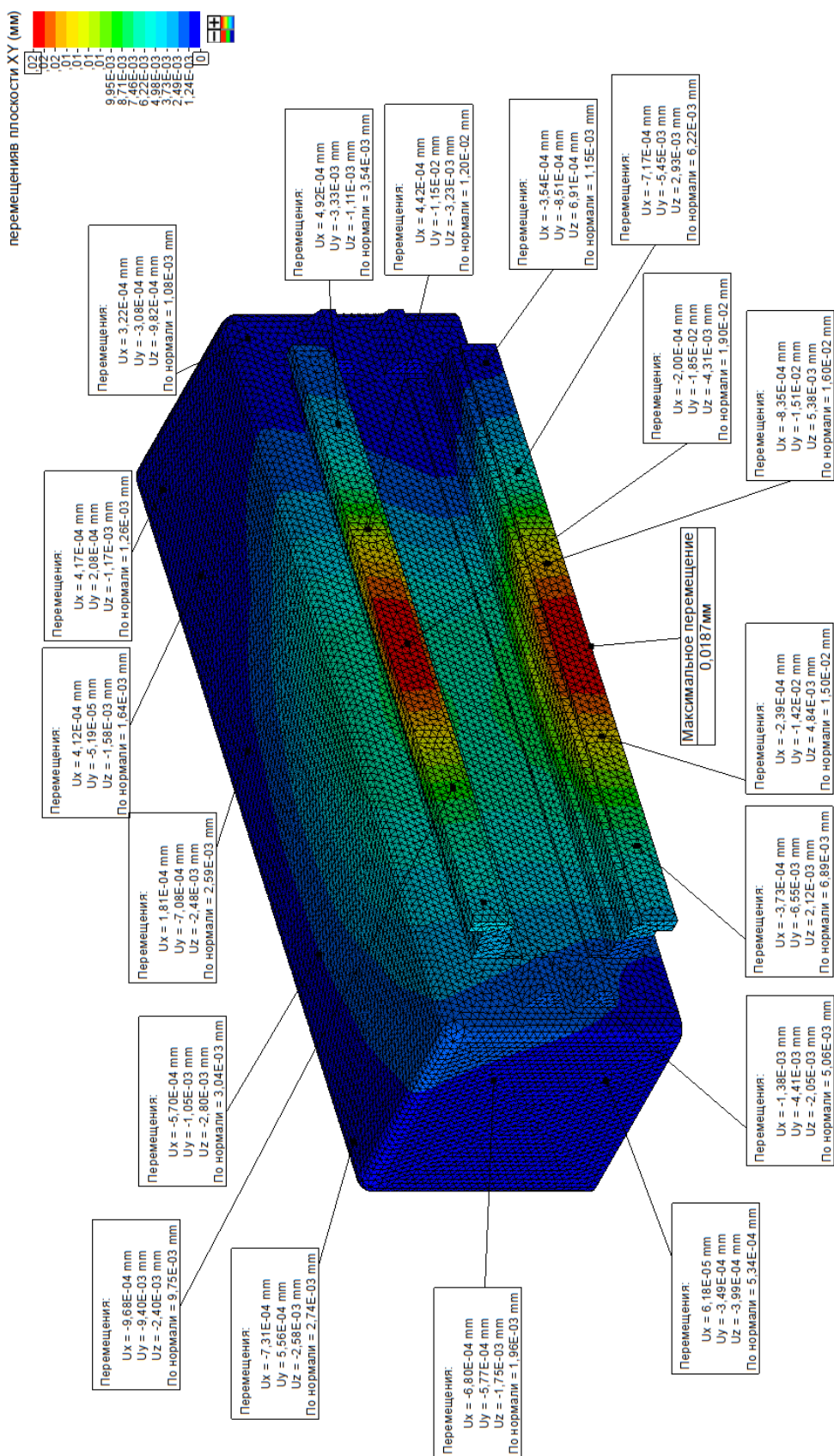


Рисунок 98 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 99 представлены перемещения в плоскости XZ

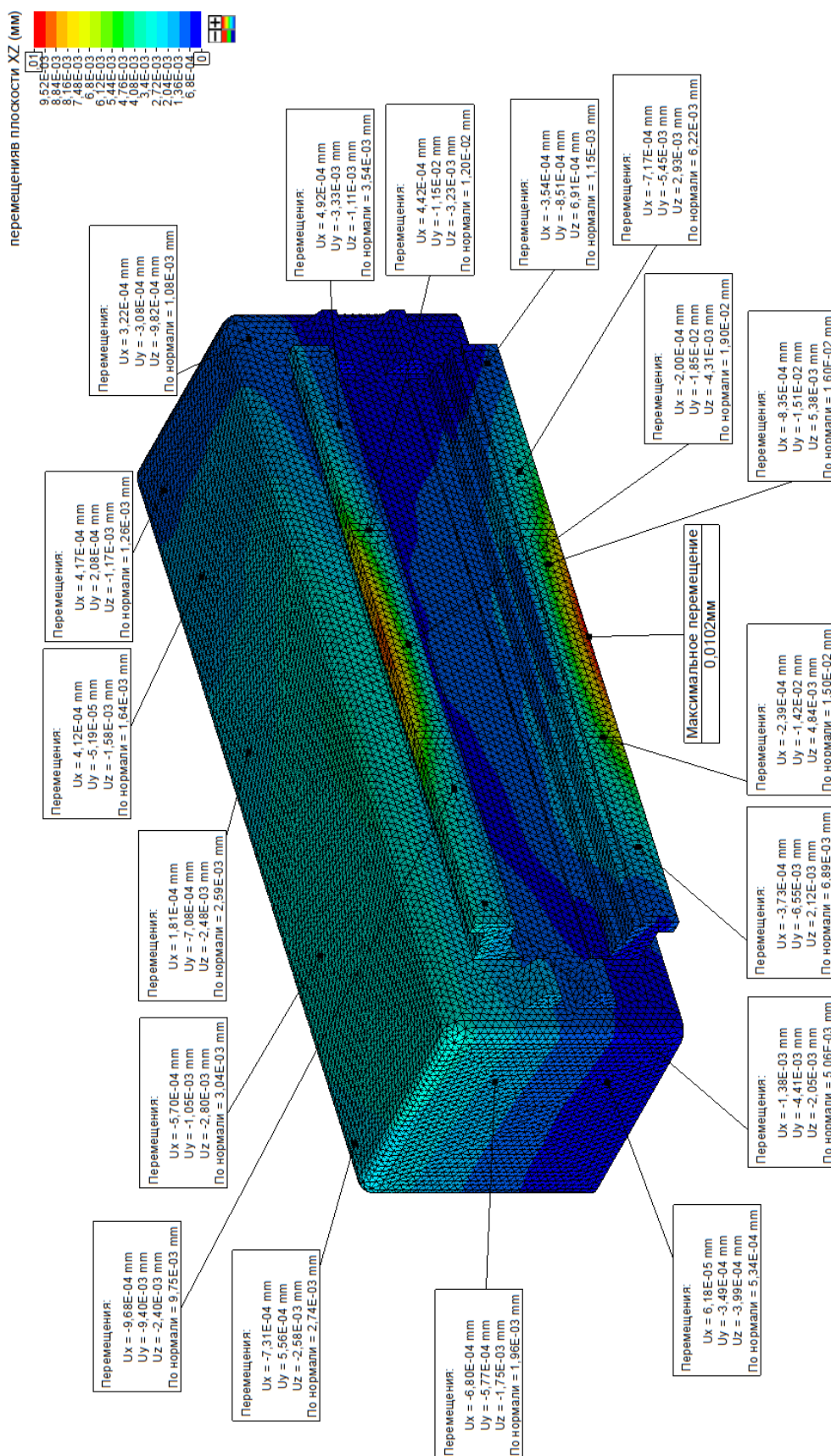


Рисунок 99 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 100 показаны перемещения в плоскости YZ

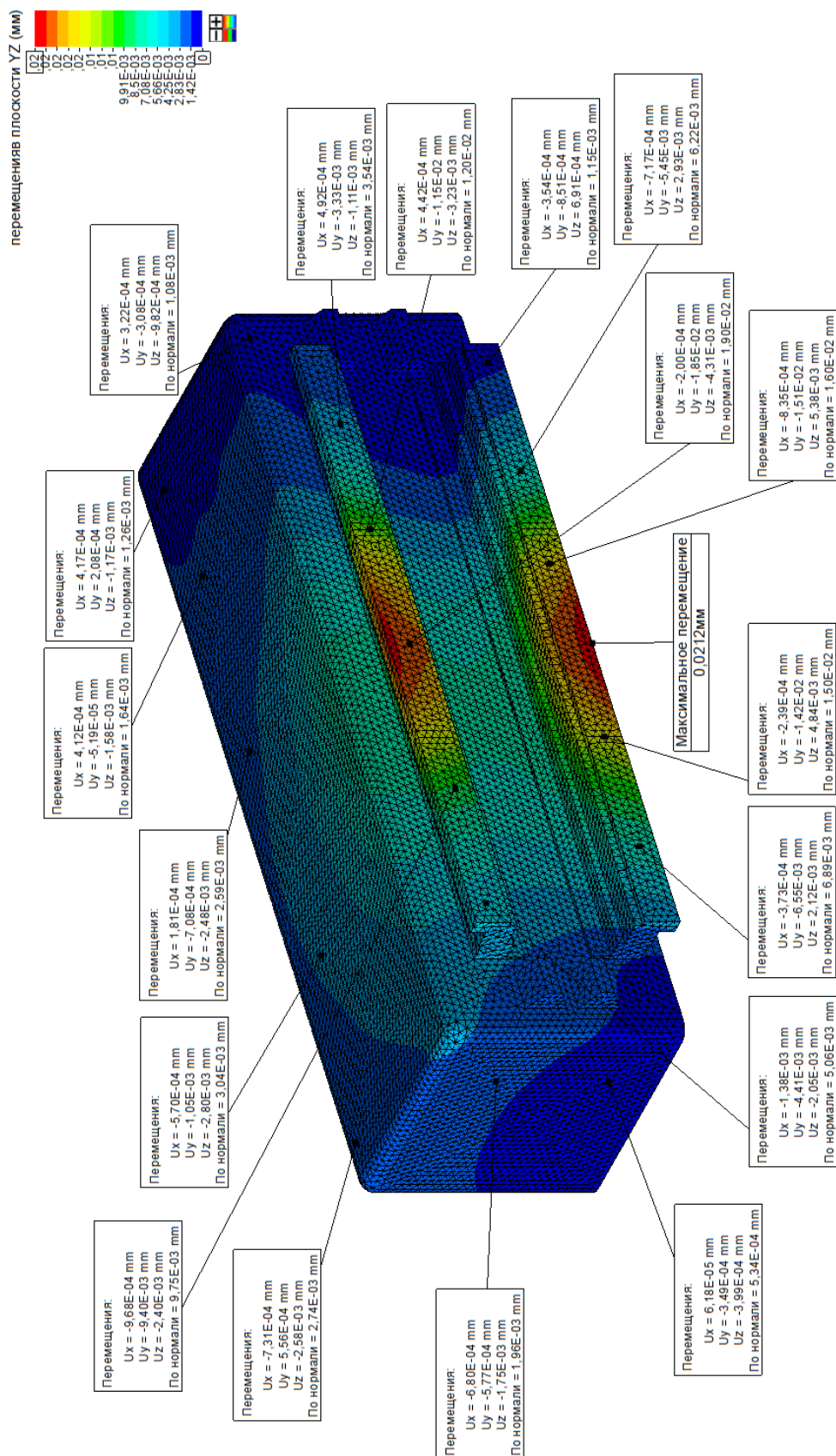


Рисунок 100 – Перемещения в плоскости YZ

Данные по максимальному перемещению по осям, а также смещению по нормали мы привели в таблице 31, а в таблице 32 показаны перемещение в плоскостях.

Таблица 31 – Максимальные перемещения по осям и смещение по нормали.

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение по X</i>	<i>54772</i>	<i>2,4249E-003</i>
<i>Перемещение по Y</i>	<i>194337</i>	<i>1,0546E-003</i>
<i>Перемещение по Z</i>	<i>60298</i>	<i>1,0178E-002</i>
<i>Смещение по нормали</i>	<i>60457</i>	<i>2,1248E-002</i>

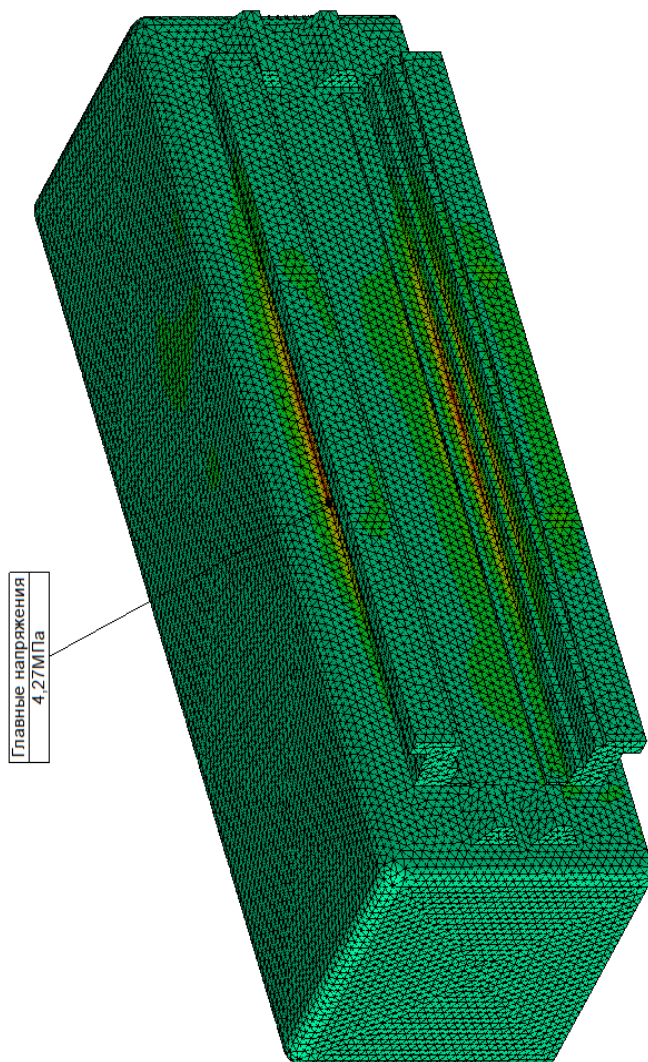
Таблица 32 – Максимальные перемещения в плоскости

<i>Обозначение</i>	<i>Узлы</i>	<i>Значение, мм</i>
<i>Перемещение в плоскости XY</i>	<i>54772</i>	<i>1,24-004</i>
<i>Перемещение в плоскости XZ</i>	<i>194337</i>	<i>1,1E-004</i>
<i>Перемещение в плоскости YZ</i>	<i>60298</i>	<i>1,05E-005</i>

Так же были посчитаны напряжения по Мизесу и главные напряжения, результаты показаны на рисунках 101 и 102.

Напряжения по Мизесу в МПа.
 Предел упругости $\approx 230\text{МПа}$
 Главные напряжения Sigma11 в МПа

4,27	3,3	2,81	2,33	1,84	1,39	0,9	-0,58	-1,06	-1,53	-2,02
------	-----	------	------	------	------	-----	-------	-------	-------	-------



Главные напряжения
 4,27МПа

Рисунок 101

Рисунок 101 – Напряжения по М

Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата

ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ

Лист
 137

На рисунке 103 показана схема нагружения при крайнем положении шпиндельного узла.

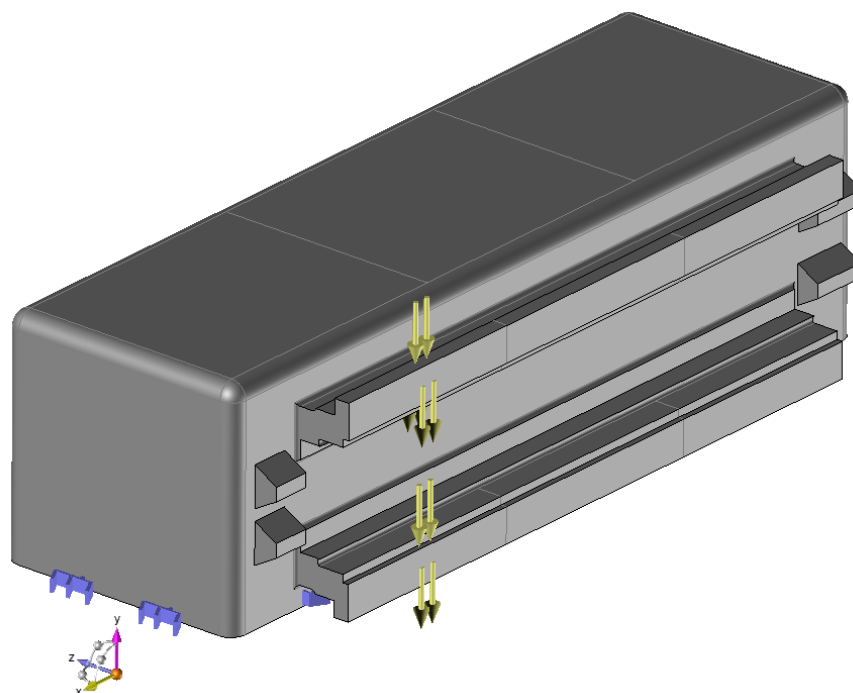


Рисунок 103 – Схема нагружения траверсы при крайнем положении шпиндельного узла

На рисунке 104 показаны перемещения по нормали.

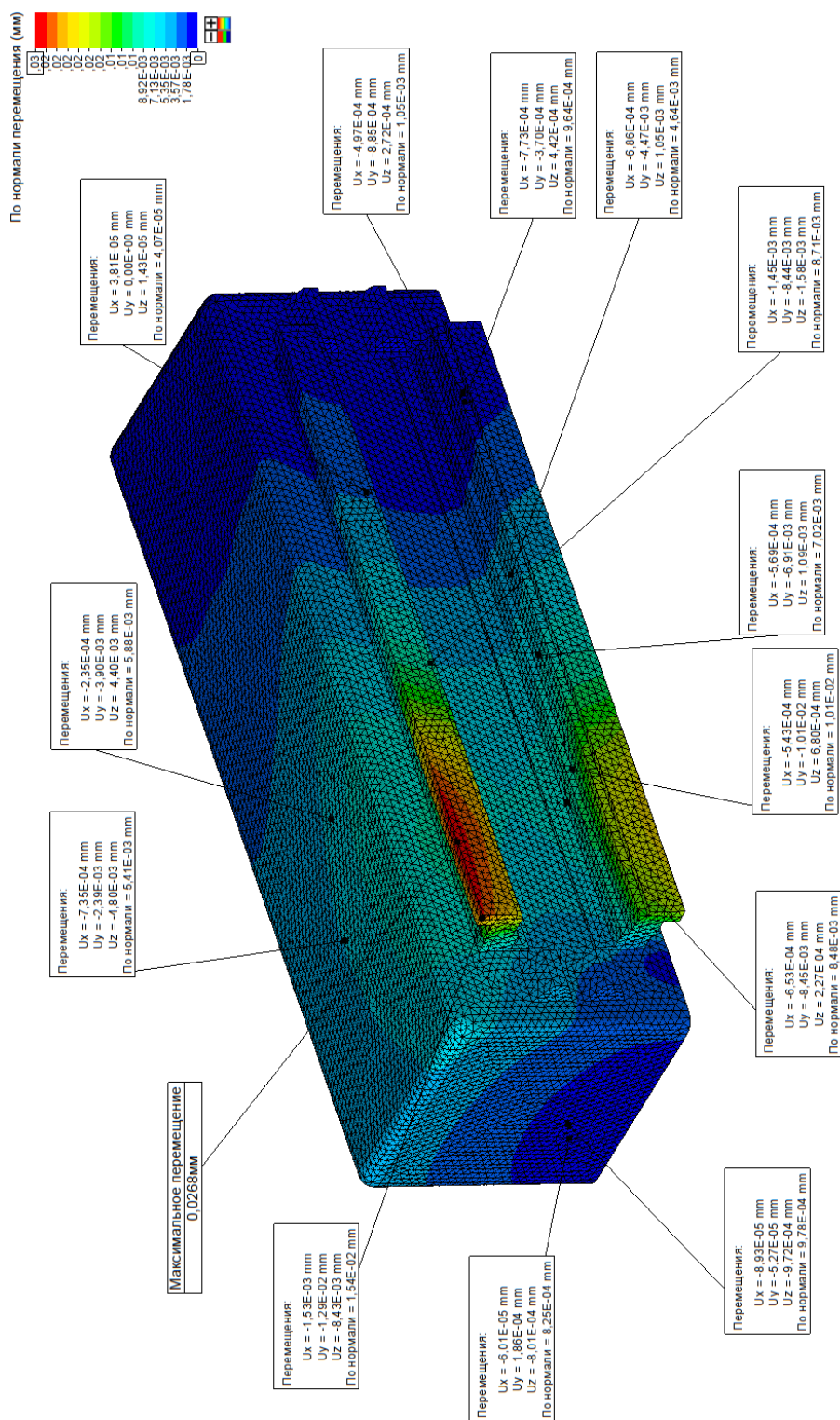


Рисунок 104 – Перемещения по нормали

На рисунке 105 показано перемещение вдоль оси X.

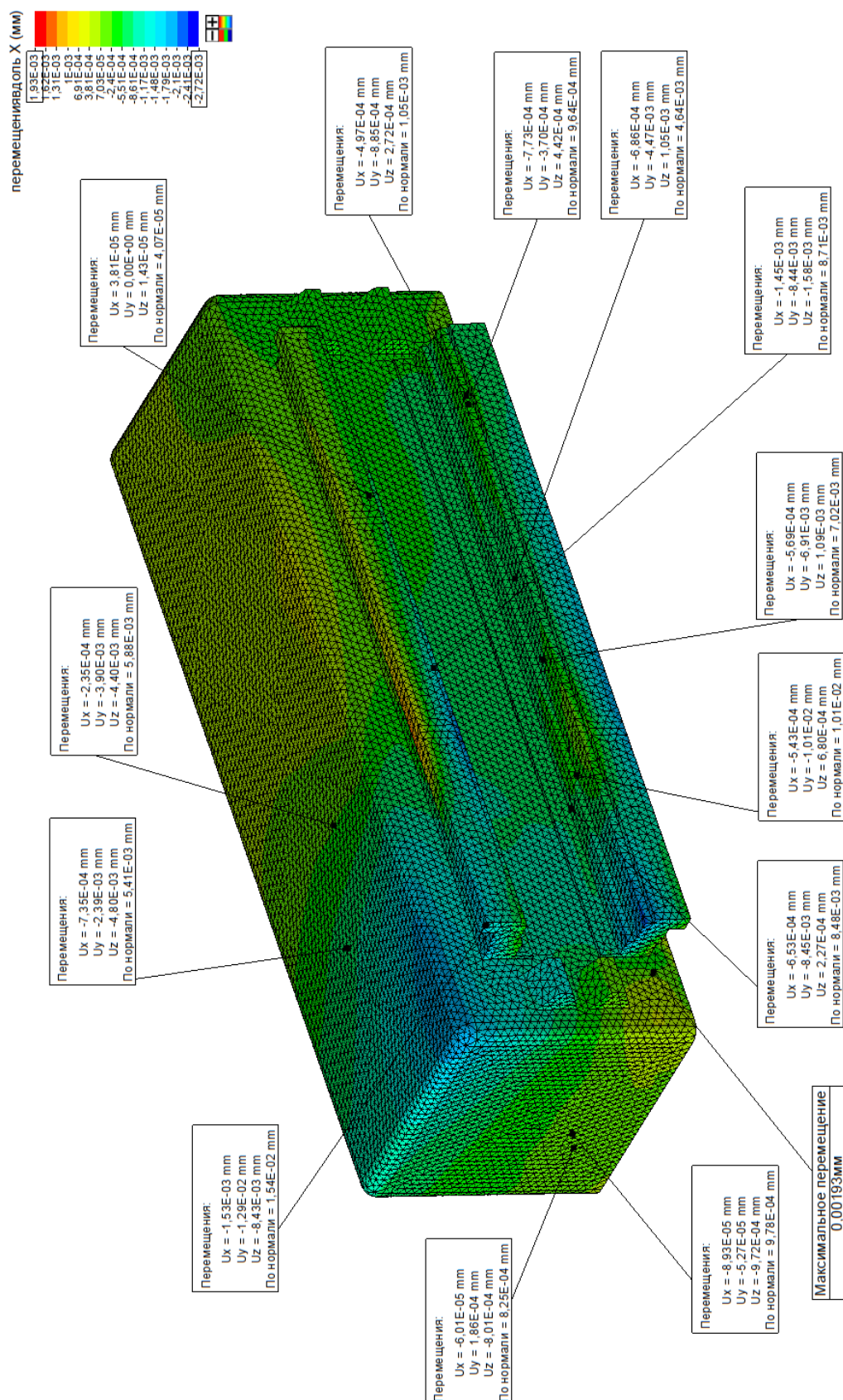


Рисунок 105 – Перемещение вдоль оси X

На рисунке 106 представлено перемещение вдоль оси Y.

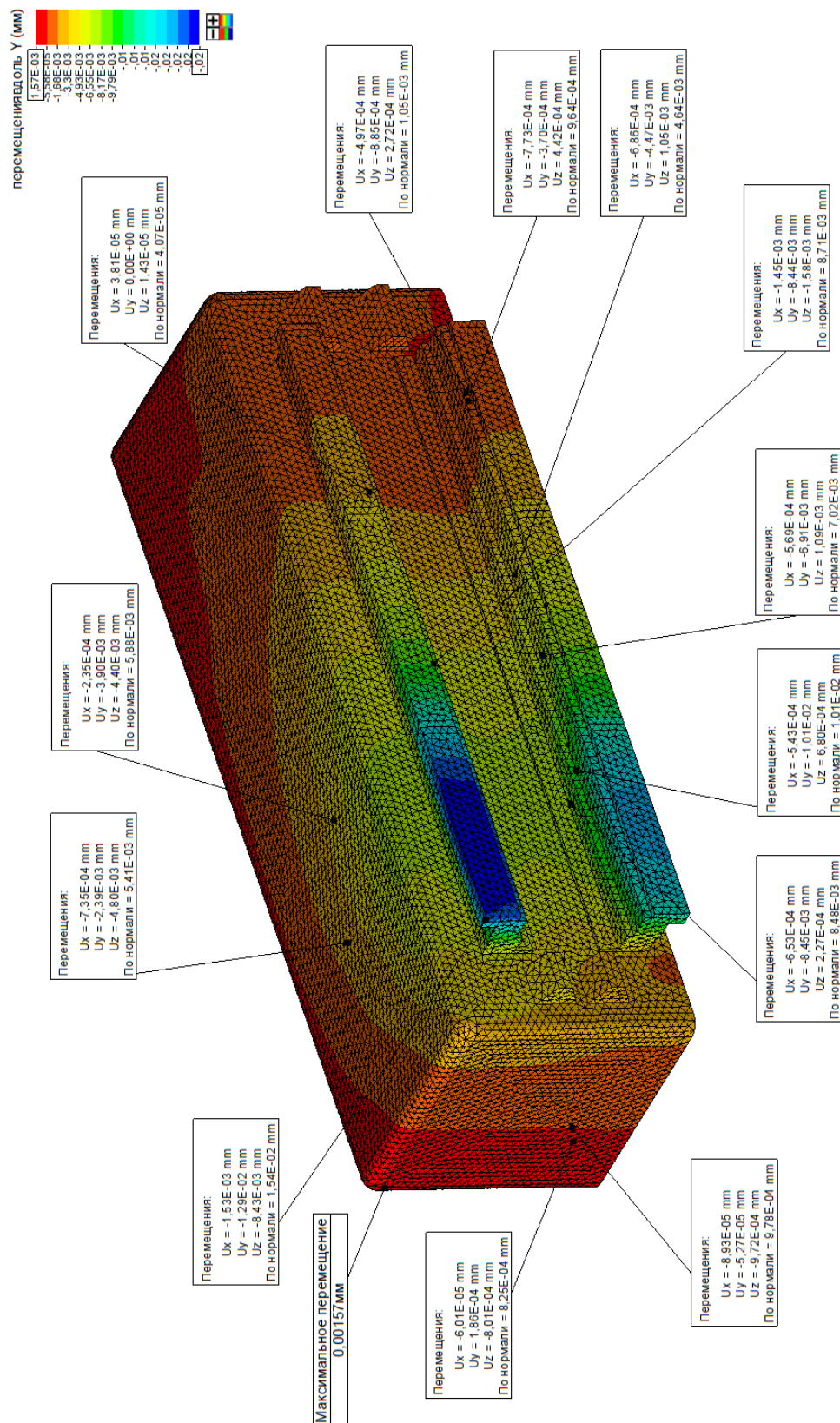


Рисунок 106 – Перемещение вдоль оси Y

На рисунке 107 показано перемещение вдоль оси Z.

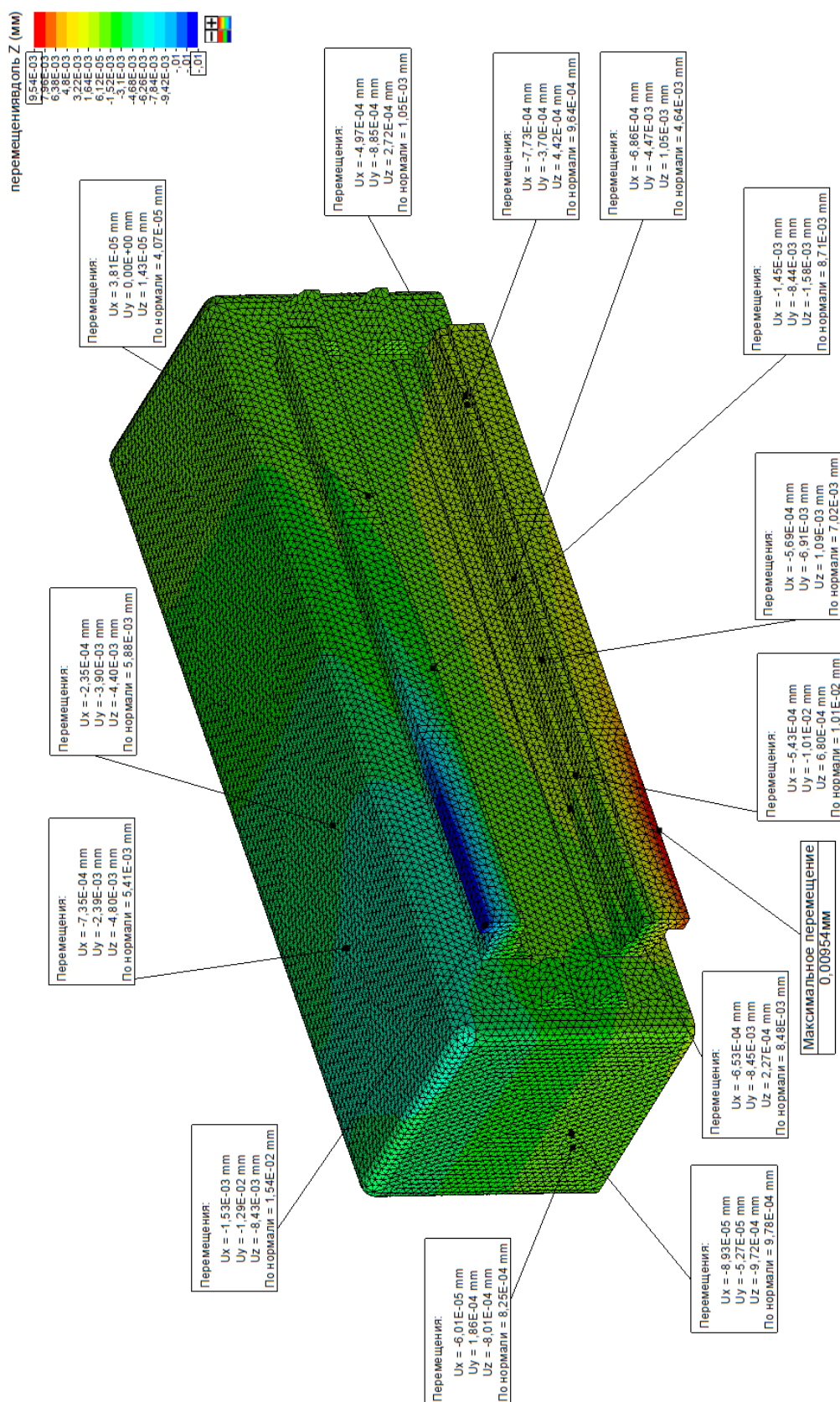


Рисунок 107 – Перемещение вдоль оси Z

На рисунке 108 показано перемещение в плоскости ХУ

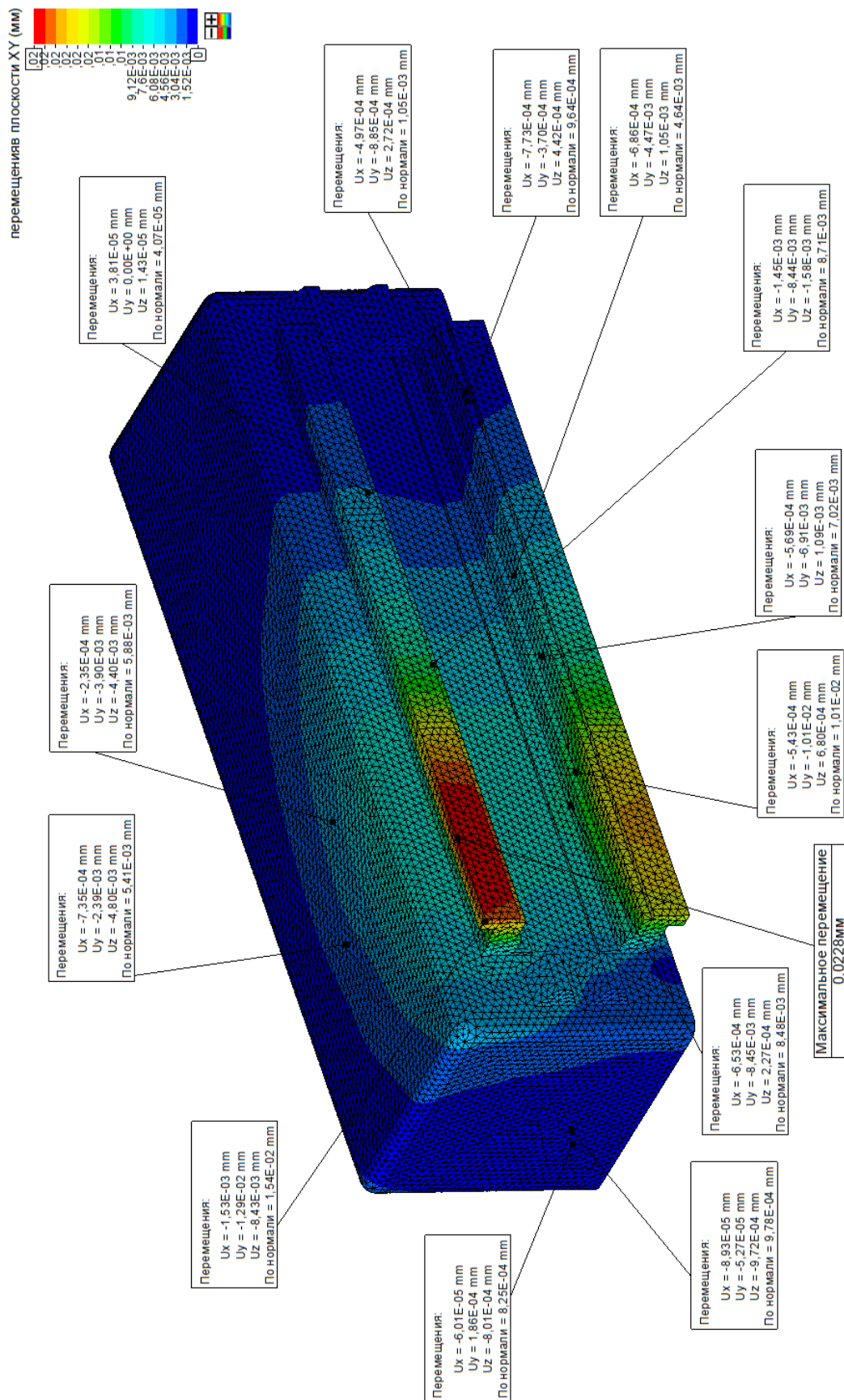


Рисунок 108 – Перемещение в плоскости ХУ

На рисунке 109 представлены перемещения в плоскости XZ

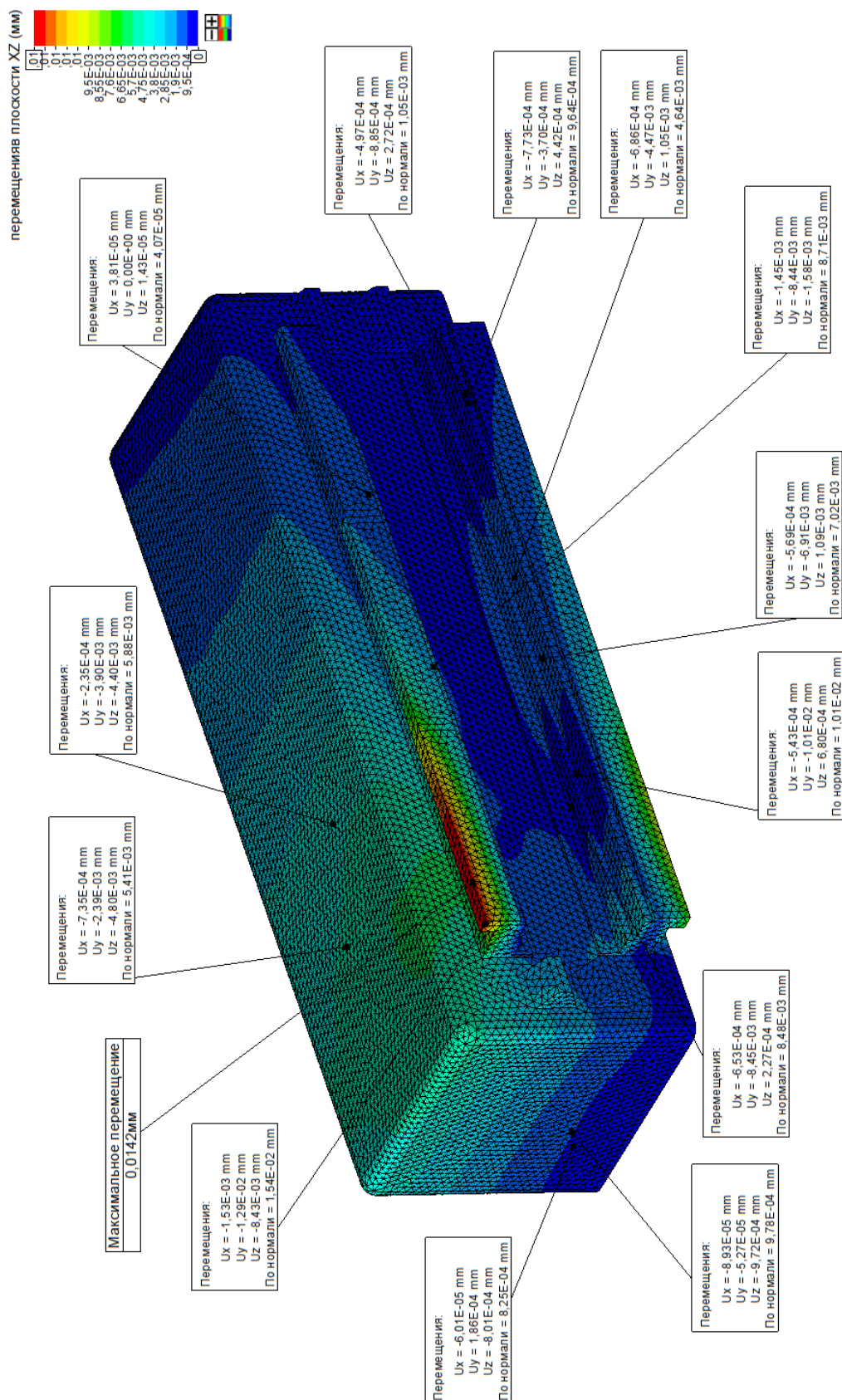


Рисунок 109 – Перемещения в плоскости XZ

На рисунке 110 показаны перемещения в плоскости YZ

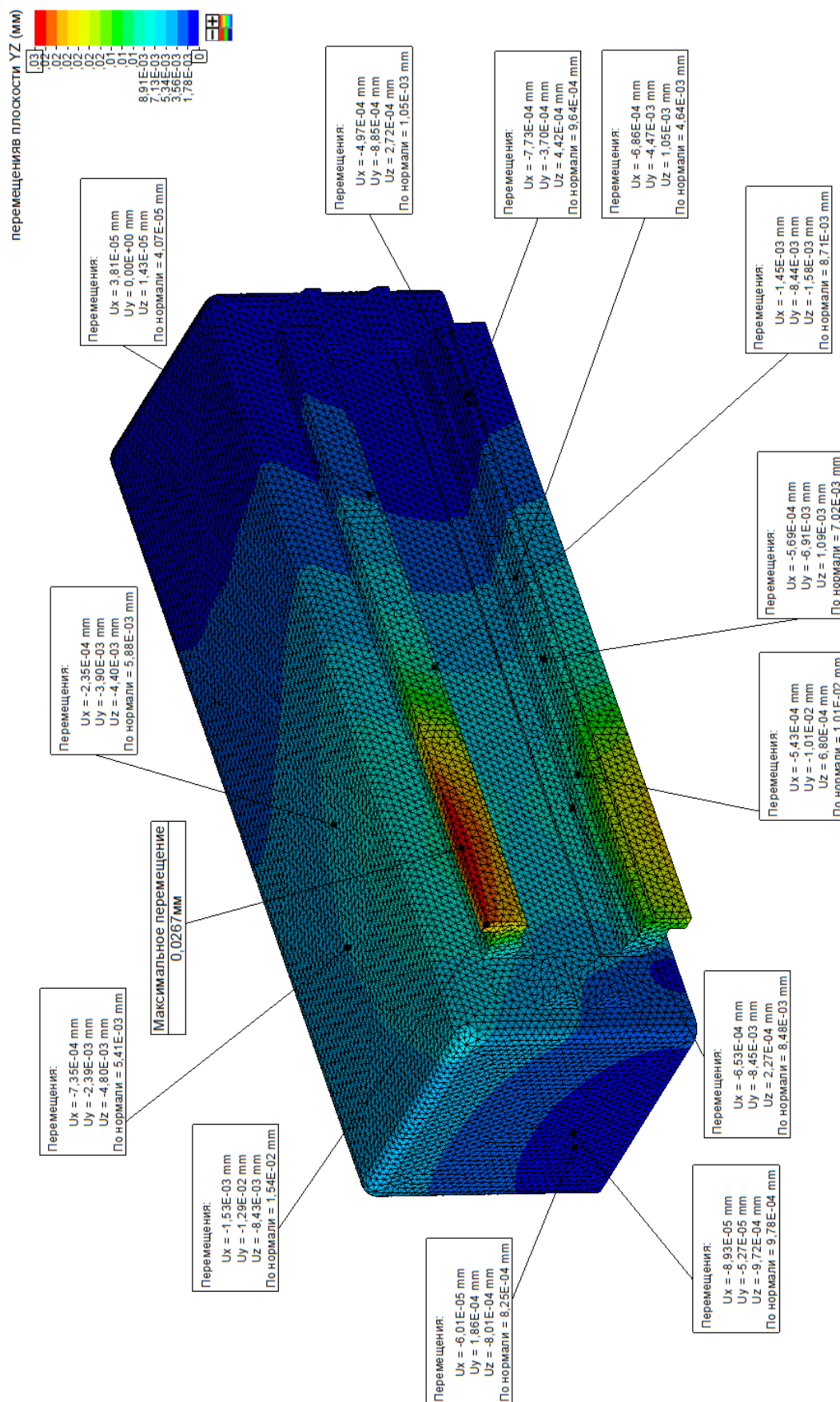


Рисунок 110– Перемещения в плоскости YZ

Как итог, выбор в пользу материала изготовления траверсы СЧ35 позволит снизить максимальные перемещения в станине на 12-13%, при этом увеличив напряжения на 34%.

4.4 Анализ напряженно-деформируемого состояния конструкции станка

На рисунке 111 представлена твердотельная модель станка из материала СЧ25, выполненная с применением CAD – программы КОМПАС 3D.

Таблица 33 – Характеристика материала

<i>Материал</i>	<i>Деталь</i>	<i>Модуль Юнга</i> <i>МПа</i>	<i>Коэффициент Пуассона</i>	<i>Плотность</i> <i>Кг/м3</i>	<i>Предел</i> <i>упругости</i>
Cast-Iron-GJL-250-EN-1561	станок	110000	0,29	7200	170

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции станины был выполнен при помощи CAD – программы ANSYS

При исследовании были указаны контакты сопрягаемых узлов, которые показаны на рисунке 112. И схема нагружения станка, которая показана на рисунке 113.

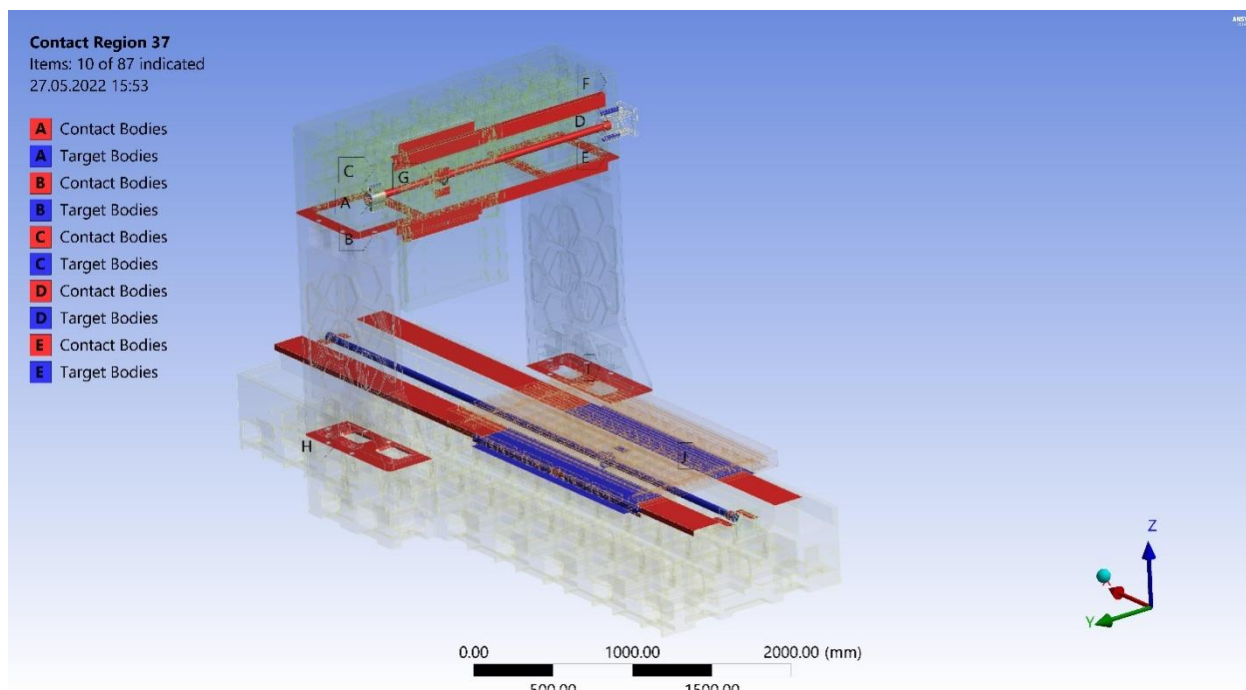


Рисунок 112 – Схема сопрягаемых узлов

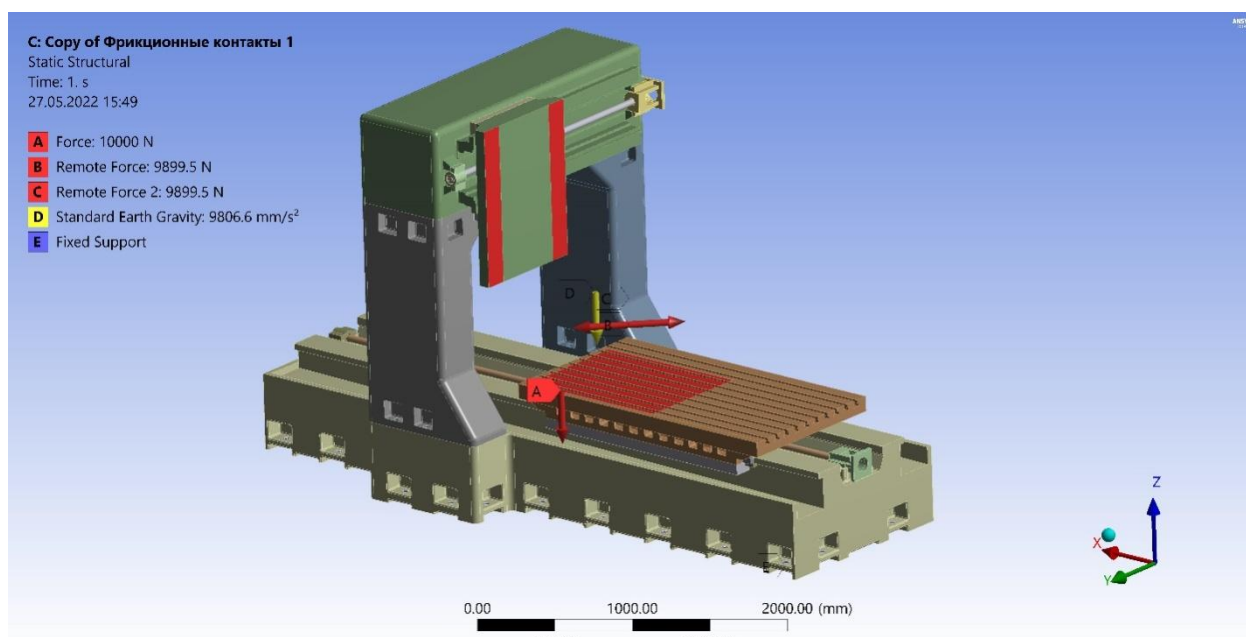


Рисунок 113 – Схема нагружения станка

На рисунке 114 показано нанесение сетки на твердотельную модель станины и в таблице 32 показана информация о сетке

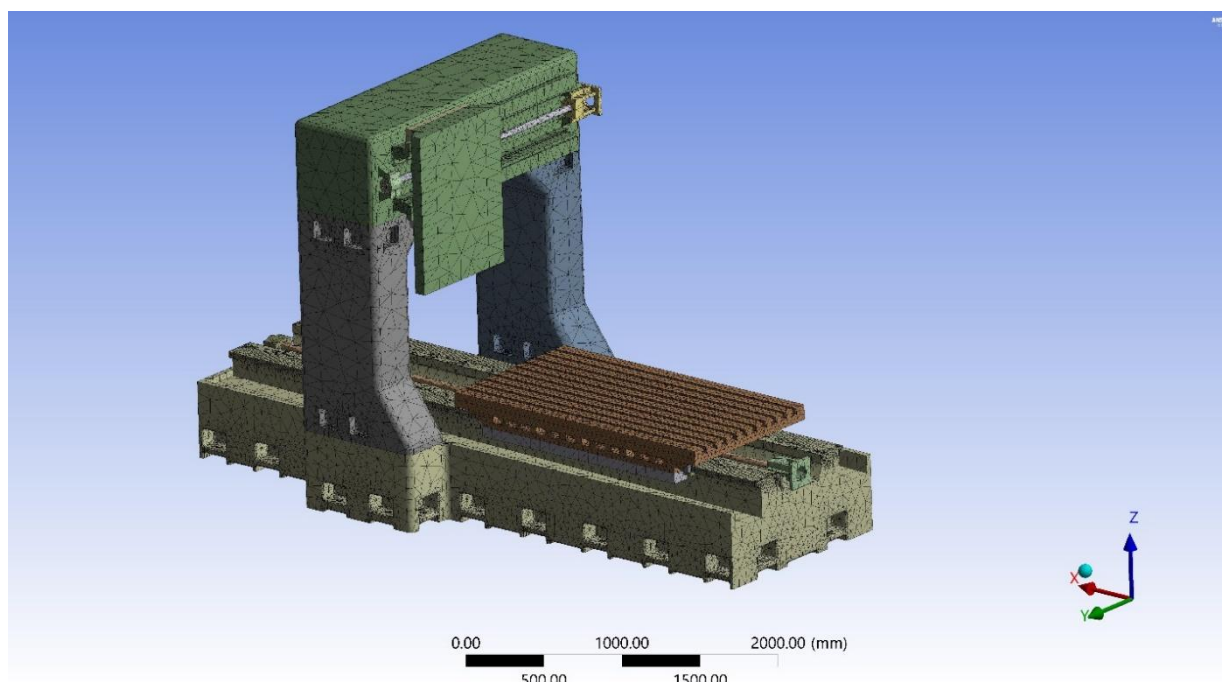


Рисунок 114 – Нанесение сетки на твердотельную модель станка

Таблица 32 –Информация о сетке

<i>Деталь</i>	<i>Количество узлов</i>	<i>Количество элементов</i>	<i>Тип элемента</i>
Твердотельный	561436	340574	10-узловой тетраэдр

После нагружения были получены результаты о перемещениях деталей шпиндельного узла, которые показаны на рисунке 115, максимальное перемещение составило 246 мкм. Так же представлена схема прогиба стола под действием распределённой нагрузки на стол, которая показана на рисунке 116, максимальное перемещение составила 106 мкм.

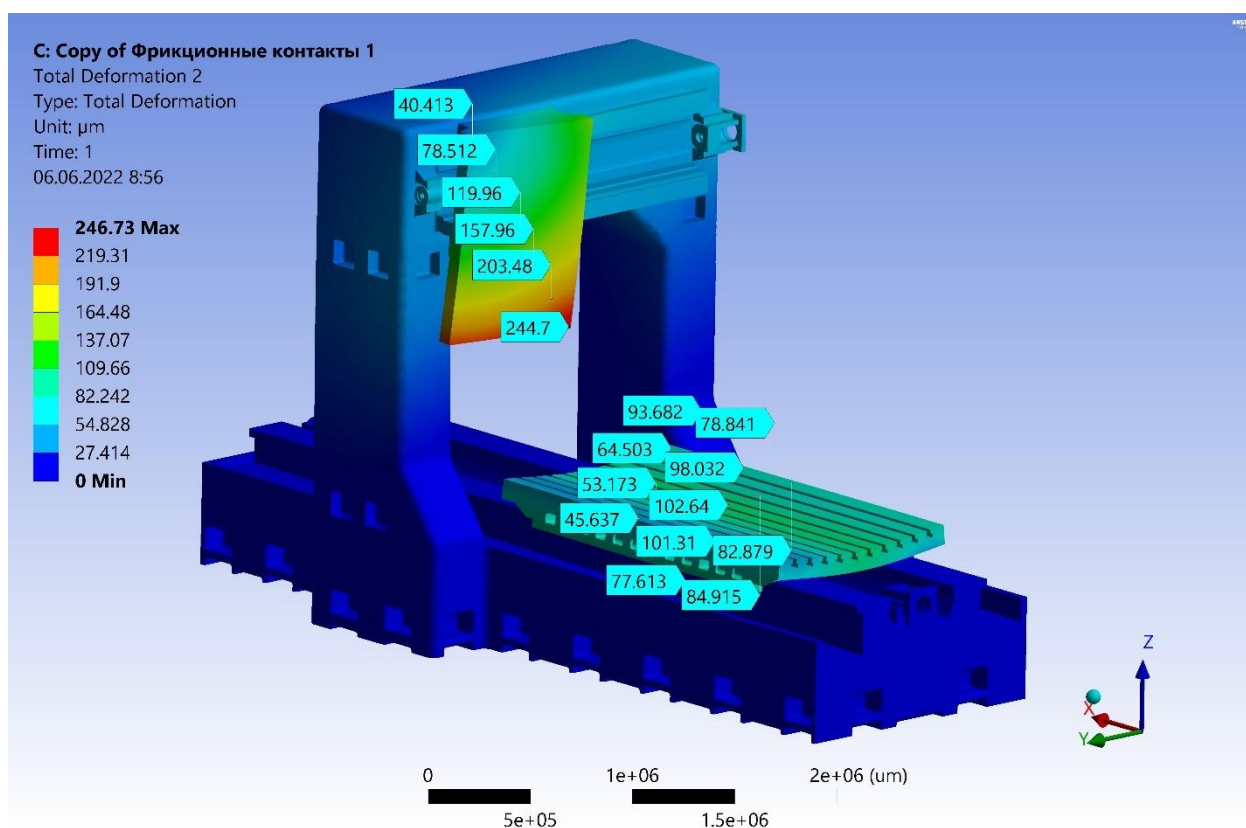


Рисунок 115 –Схема перемещения шпиндельного узла

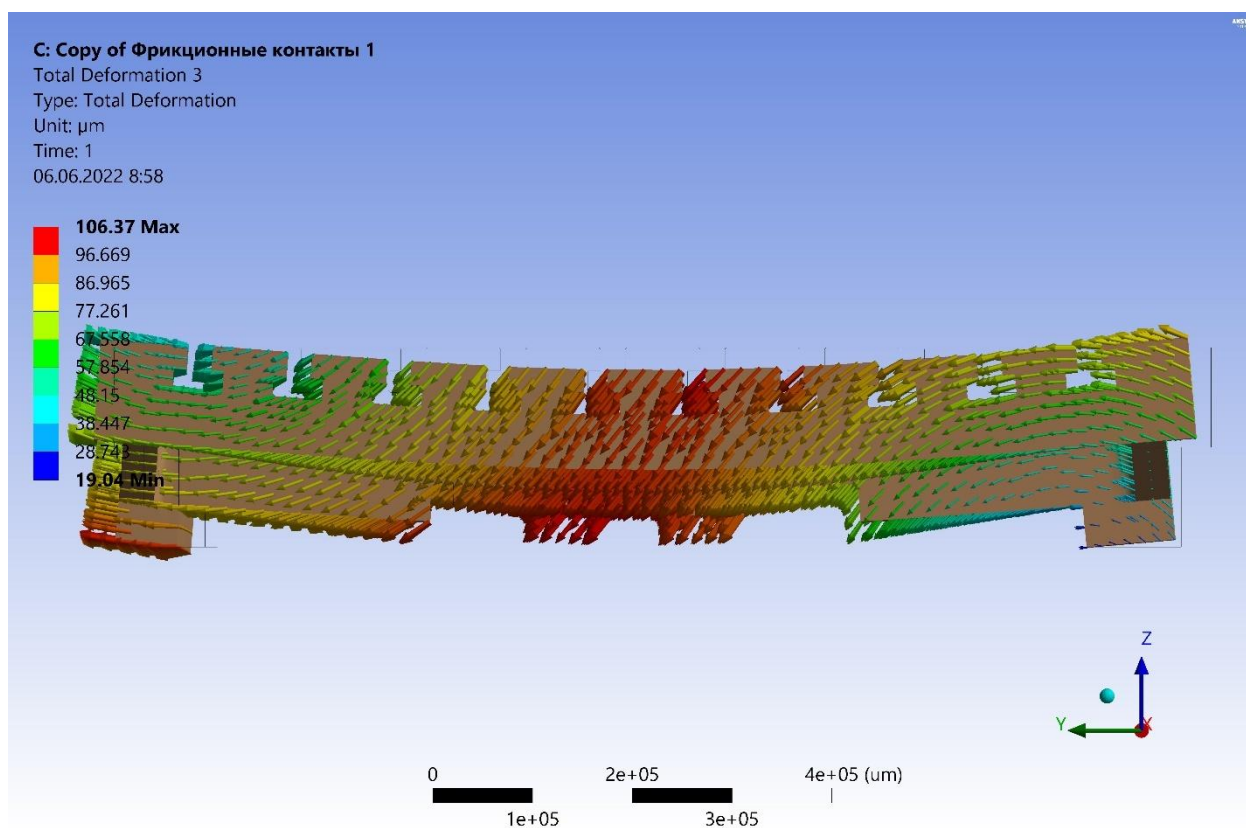


Рисунок 116 –Схема прогиба стола

Для сравнения станка на жёсткость и перемещений были проведены расчеты с другим материалом - СЧ35, который отличается своими характеристиками.

Таблица 34 – Характеристика материала

Материал	Деталь	Модуль Юнга МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность Кг/м3	Предел упругости
Cast-Iron GJL-350 EN-1561	станок	130000	0,29	7200	230

При исследовании были показаны контакты сопрягаемых узлов, которые показаны на рисунке 117. И схема нагружения станка, которая показана на рисунке 118.

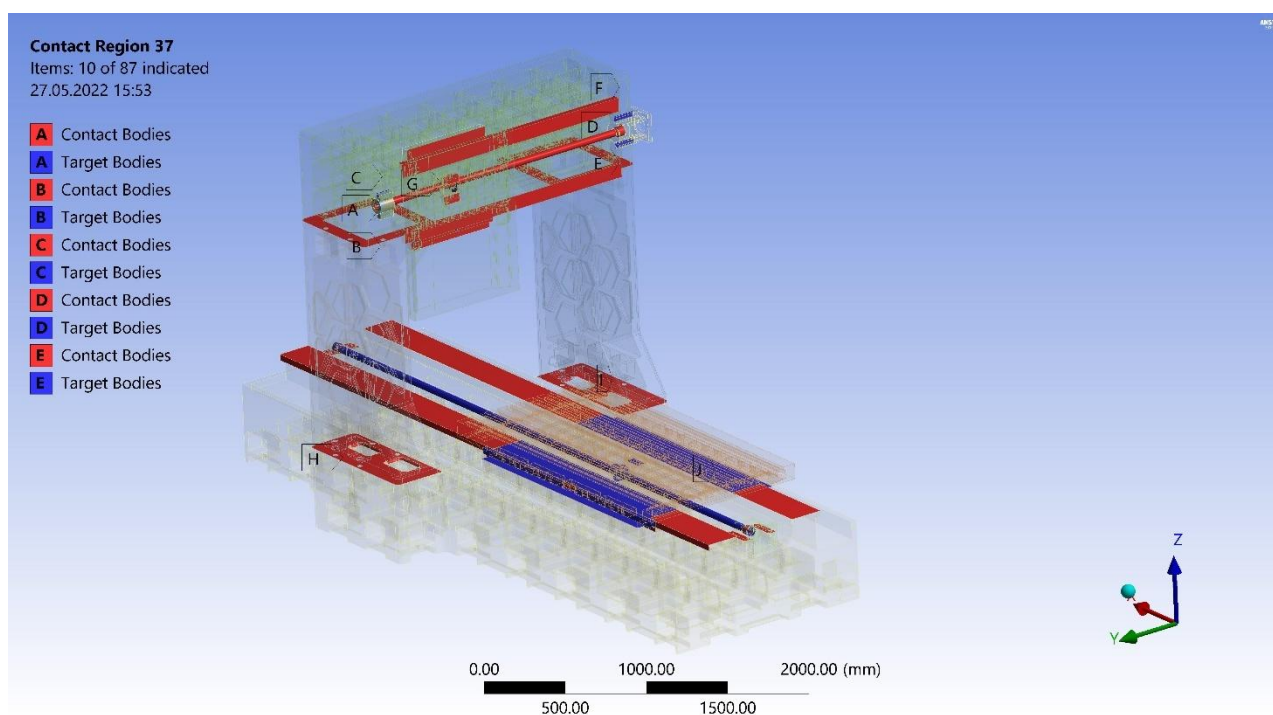


Рисунок 117 – Контактирующие поверхности

После нагружения были получены следующие результаты о перемещение шпиндельного узла под действием силы резание, которые показаны на рисунке 118 и составили 141 мкм. Так же представлена схема прогиба стола под действием распределённой нагрузки на стол, которая показана на рисунке 119 и составила 103 мкм.

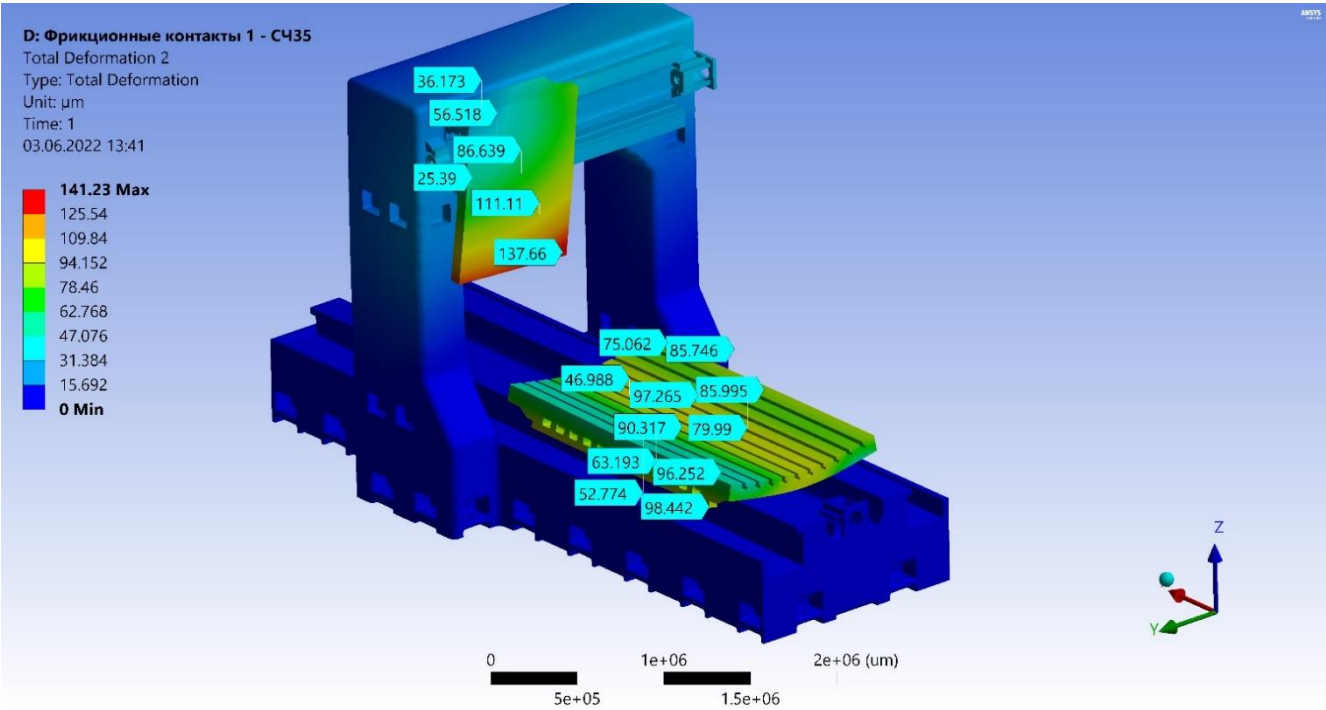


Рисунок 118 –Схема перемещения шпиндельного узла

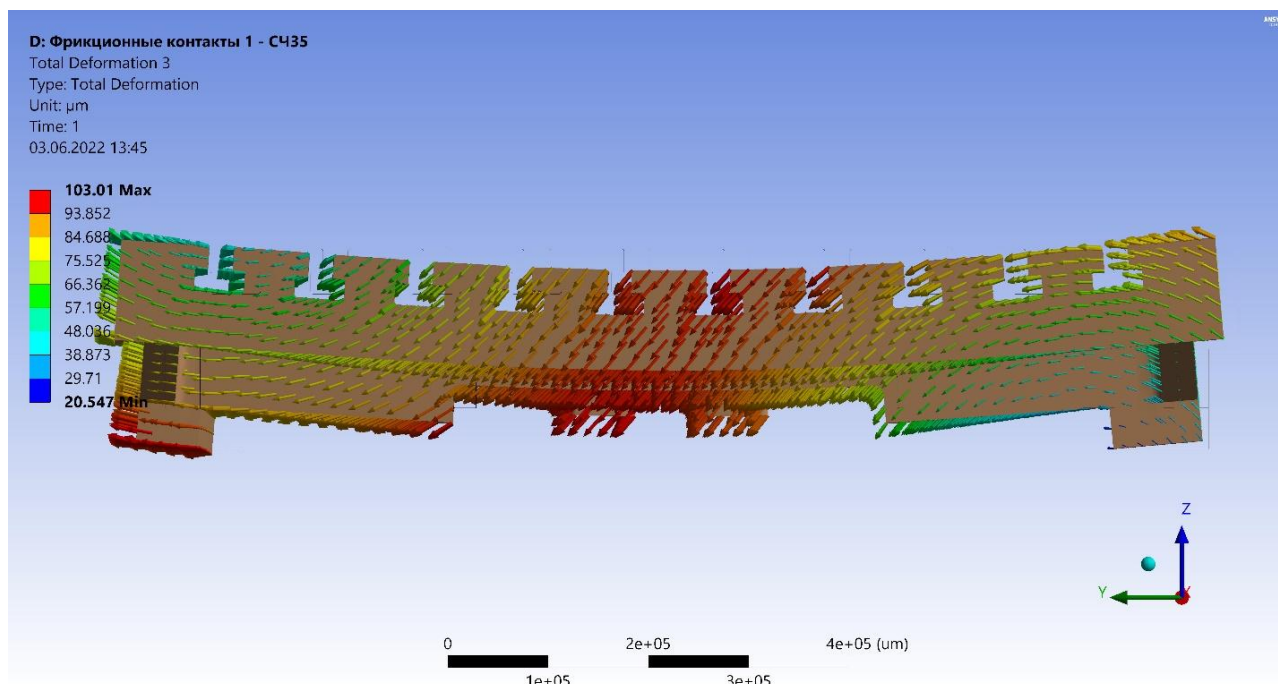


Рисунок 119 – Схема прогиба стола

При сравнении мы получили то что максимальное перемещение в конструкции станка получил шпиндельный узел, выполненный из материала СЧ25, которое ставило 246 мкм и шпиндельный узел выполненный из материала СЧ35, которое составило 141 мкм. Поэму целесообразнее использовать материал СЧ35, так как жёсткость больше, следовательно, перемещения меньше

Заключение

Исходя из выданного технического задания были проанализированы используемые компоновочные схемы станков. Исходя из проведенного анализа была принята удовлетворяющая требованиям технического задания компоновка, по ней составлена принципиальная и кинематическая схема.

Далее был произведен расчет силовых приводов станка, а именно винтов ШВП различных диаметров на все перемещаемые узлы станка, а также жесткость их опор. В ходе расчетов был принят общий диаметр для всех ходовых винтов в целях унификации.

После был рассмотрен вопрос проектирования основных деталей в отдельности и всей конструкции в частности, в ходе которого были установлены основные приоритеты в виде получения наибольшей жесткости всей системы.

Как итог был произведен расчет основных деталей станка методом конечных элементов в программах TopSolid и Ansys. Расчет производился сразу для двух материалов (СЧ25 и СЧ35) в целях сравнения полученных напряжений и перемещений. Полученные результаты были обработаны, приведена сравнительная таблица.

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

Список использованной литературы

1. Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
2. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В. и др. Металлорежущие станки : учебник В 2 т. / Т. 1. – М.: Машиностроение, 1965. – 767 с.
3. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В. и др. Металлорежущие станки : учебник В 2 т. / Т. 2. – М.: Машиностроение, 1965. – 629 с.
4. Фаттахов Р.Х., Фаскиев Р.С. Расчет шариковых винтовых передач: методические указания по курсовому проектированию для студентов инженерно-технических специальностей : Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006 – 28с.
5. Аврамова Т.М., Бушуев В.В, Гиловой Л.Я. и др. Металлорежущие станки : учебник. В 2 т. / Т. 1 – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.
6. Клецкин Г.И., Абрамов Г.Г., Воловик И.М., Чугунное литье в машиностроении – М.: Машиностроение, 1975. – 319 с.

Приложение

					ПГУ 15.03.02.45.00.00ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпис	Дата		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
						Документация текстовая					
A4					ПГУ 15.03.02.45.00.00 ПЗ	Пояснительная записка	155				
						Документация графическая					
A0					ПГУ 15.03.02.45.01.00 СБ	Станина-ШВП	1				
*					ПГУ 15.03.02.45.01.01	Станина	1	*(A1x4)			
A1					ПГУ 15.03.02.45.01.01 ТЧ	Напряженно- деформированное состояние станины из С425	1				
A1					ПГУ 15.03.02.45.01.01 ТЧ	Напряженно- деформированное состояние станины из С435	1				
A1					ПГУ 15.03.02.45.02.00	Колонна	1				
A1					ПГУ 15.03.02.45.02.00 ТЧ	Напряженно- деформированное состояние колонны из С425	1				
A1					ПГУ 15.03.02.45.02.00 ТЧ	Напряженно- деформированное состояние колонны	1				
					ПГУ 15.03.02.45.00.00						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разработка компоновки портального фрезерного станка		Лит.	Лист	Листов		
Разраб.		Кандобаров В.Г.					В	К	Р	1	2
Проб.		Митясов С.Г.					Кафедра "ТОМ", гр. 18МС1				
Н.контр.		Большаков Г.С.			Копировал		Формат А4				
Утв.		Здеришников А.Е.									

