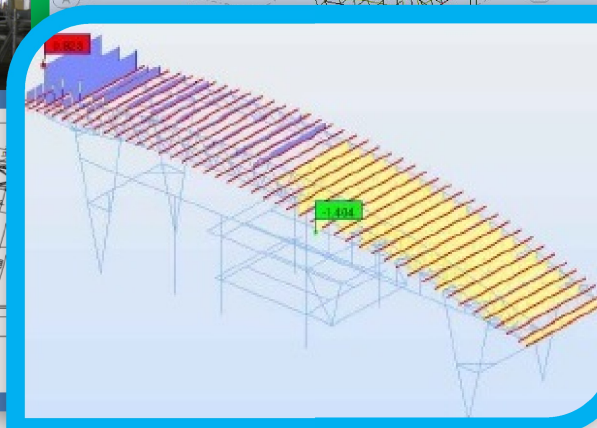
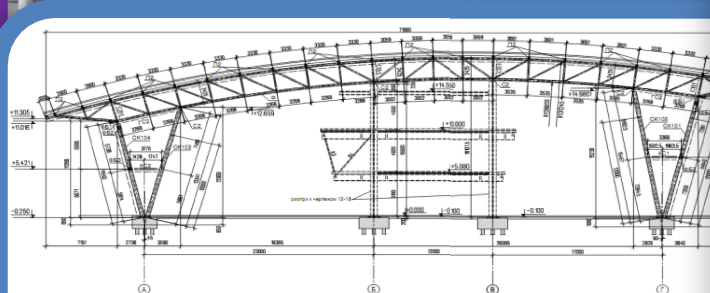
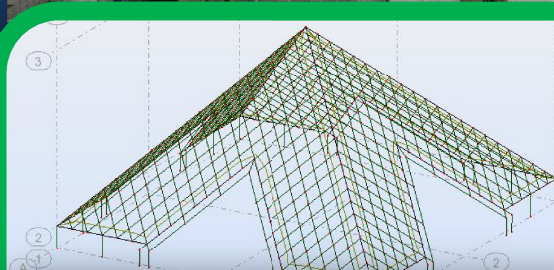
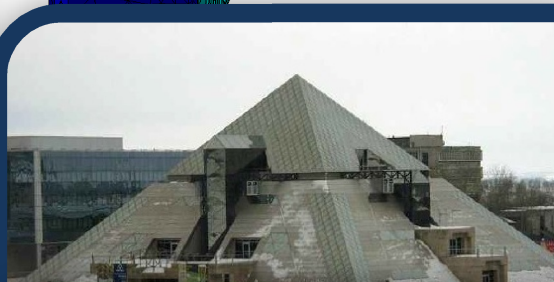
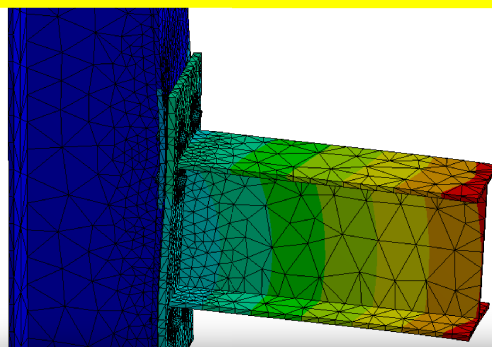


Г.Н.Шмелев, Л.Р. Гимранов, А.Э. Фахрутдинов



Примеры расчета
Конструкций В ПК "Ansys-
Workbench" и «Robot»

Учебно-методическое пособие



Казань
2017



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Г.Н.Шмелев, Л.Р. Гимранов, А.Э. Фахрутдинов

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ
В ПК ANSYS-WORKBENCH И ROBOT»**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01
«Строительство», по курсу «Компьютерные методы
проектирования и расчета зданий»

Казань
2017

УДК 004:624.04
ББК 32.973-018.2
Ш72

Шмелев Г.Н., Гимранов Л.Р., Фахрутдинов А.Э.

Ш72 Примеры расчета конструкций в ПК «Ansys-Workbench»: Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по курсу «Компьютерные методы проектирования и расчета зданий» / Г.Н. Шмелев, Л.Р. Гимранов, А.Э. Фахрутдинов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2017. –103 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с рабочей программой дисциплин «Компьютерные методы проектирования и расчета зданий» и «Металлические конструкции».

В учебно-методическом пособии рассмотрены примеры расчета узлов и конструкций в программных комплексах Ansys и Autodesk Robot Structures. Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (бакалавриат) специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», направление подготовки 08.04.01 «Строительство» (магистратура) для выполнения практических занятий и ВКР.

Рецензенты:

Зав. кафедрой строительных конструкций и водоснабжения
Поволжского государственного технологического университета
В.М. Поздеев

Доктор технических наук, профессор кафедры МК и ИС КГАСУ
И.Л. Кузнецов

УДК 004:624.04
ББК 32.973-018.2

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2017
© Шмелев Г.Н., Гимранов Л.Р., Фахрутдинов А.Э., 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Расчет и моделирование узла сопряжения балки с колонной в ANSYS WORKBENCH.....	5
2. Расчет здания «Пирамида» в г. Казани в программном комплексе Autodesk robot structural analysis professional 2013.....	39
2.1. Геометрия пирамиды.....	39
2.2. Сбор нагрузок.....	41
2.3. Сравнение двух расчетных схем	42
2.4. Расчет влияния температуры.....	47
2.5. Сварочные напряжения	50
3. Расчет несущего каркаса терминала 1а аэропорта г. Казани на ПК Robot.....	56
3.1. Определение нагрузок.....	56
3.2. Результаты расчета.....	65
4. Расчет несущего каркаса терминала аэропорта на прогрессирующее разрушение.....	69
5. Пример «пошагового» расчета рамы на ПК «РОБОТ».....	75
Список использованных источников	103

Введение

Для сложных пространственных, статически неопределимых и протяженных конструктивных систем напряжения от температурных воздействий могут составлять значительную часть напряженного состояния от действующих нагрузок (вес, снег, ветер, оборудование и т.д.)

Современный уровень компьютерных технологий позволяет с достаточной точностью моделировать и рассчитывать напряженно-деформационные поля не только от основных нагрузок, но и от сварки и температурных воздействий. В традиционных курсах по конструкциям учет этих напряжений рассматривается аннотационно и тем более не позволяет студентам реализовывать эту процедуру самостоятельно в ВКР и магистерских диссертациях.

Ответственные здания и сооружения требуют расчета на прогрессирующее разрушение, которое позволяет проанализировать поведение несущего каркаса в чрезвычайных ситуациях, и минимизировать его последствия.

В последнее время ведущие проектные организации Казани (ГИПРОНИИАВИАПРОМ) и Москвы (ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко) используют программный комплекс «ROBOT», интегрированный в систему «AUTODESK», что позволяет ускорить и повысить качество как расчетной части, так и в целом документации на стадии равенства проекта.

Данное пособие позволит студентам не только решать задачи по учету сварочных и температурных напряжений прогрессирующего разрушения, но и самостоятельно научиться вести линейные и нелинейные расчеты несущих конструкций в современных ПК «ANSYS» и «ROBOT», используемых в ведущих проектных организациях страны.

При выполнении выпускных квалификационных работ моделирование сложных узлов сопряжения конструкций в ПК ANSYS и их нелинейный расчет позволит существенно повысить глубину проработки поставленной в ходе ВКР задачи.

1. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ БАЛКИ С КОЛОННОЙ В ANSYS WORKBENCH

На сегодняшний день численное моделирование является неотъемлемой частью любой магистерской диссертационной работы, также компьютерные методы расчета широко используются при конструировании различных узлов и элементов конструкций, как и конструкций в целом. Программный комплекс ANSYS на сегодняшний день является одним из лидеров в своей области. Данный программный комплекс позволяет решать широкий спектр задач, направленных на расчет и моделирование узлов элементов конструкций, а также моделирование течения жидкостей и газов в соответствующих модулях.

Для моделирования задач, связанных с прочностными расчетами, а также использование других направлений задач механики, наиболее удобной в использовании является оболочка WORKBENCH, которая позволяет в интерактивном режиме произвести полный цикл моделирования элементов или деталей конструкции: от создания геометрической модели до прочностных расчетов и анализа результатов. Также существует целый ряд модулей, которые позволяют заниматься задачами оптимизации модели и находить оптимальное решение с точки зрения установленного критерия.

Оболочка WORKBENCH способна работать с различными форматами файлов геометрии при импорте их из других комплексов по моделированию, например, AUTOCAD, INVENTOR и так далее. Однако достоинством применения встроенных средств моделирования геометрии является то, что открываются дополнительные возможности параметризации модели и в случае изменения какого-либо из указанных параметров автоматического модифицирования всей модели. Параметризация модели также позволяет использовать модуль оптимизации формы модели либо оптимизации по целевой функции или критерию.

Компания ANSYS предлагает в образовательных целях студенческую академическую версию с ограничением по количеству конечных элементов. Скачать студенческую версию можно по приведенному ниже адресу в интернете:

<http://www.ansys.com/products/academic/ansys-student>

ANSYS Student Software Download

To download the software select from the following options then select the "Download" button. If prompted, click **Save**. We recommend that you download the current release for the best experience.



Рис.1.1. Опция выбора для скачивания студенческой версии

Создание модели начинается с выбора окружения, в котором будет решаться та или иная модель. Разные типы окружения предназначены для решения разных типов задач. Например, EXPLICIT DYNAMICS позволяет решать задачи динамики соударения тел в пределах не более полутора секунд. Для более продолжительных динамических процессов необходимо использовать модуль TRANSIENT STRUCTURE (рис.1.2).

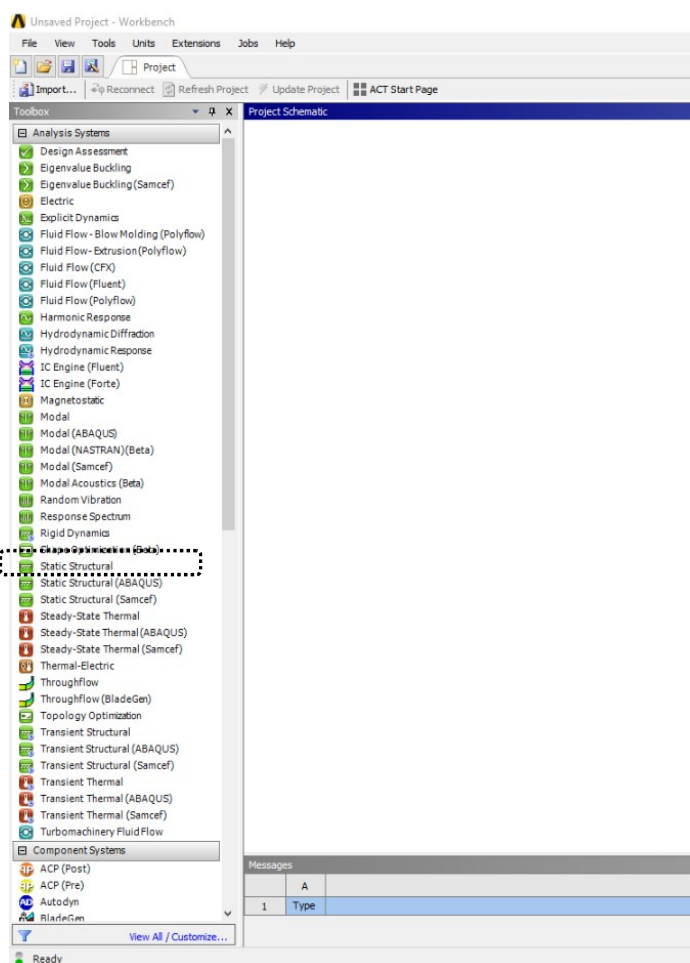


Рис.1.2. Разные типы окружений в оболочке WORKBENCH

Для решения задач механики в статически линейной или нелинейной постановке, принято использовать модуль STATIC STRUCTURAL. Выбор

окружения производится из левого столбца, где приводятся все варианты окружений (рис.1.2).

Создание задачи производится путем перетаскивания значка необходимого варианта окружения в центральную область экрана (рис.1.3).

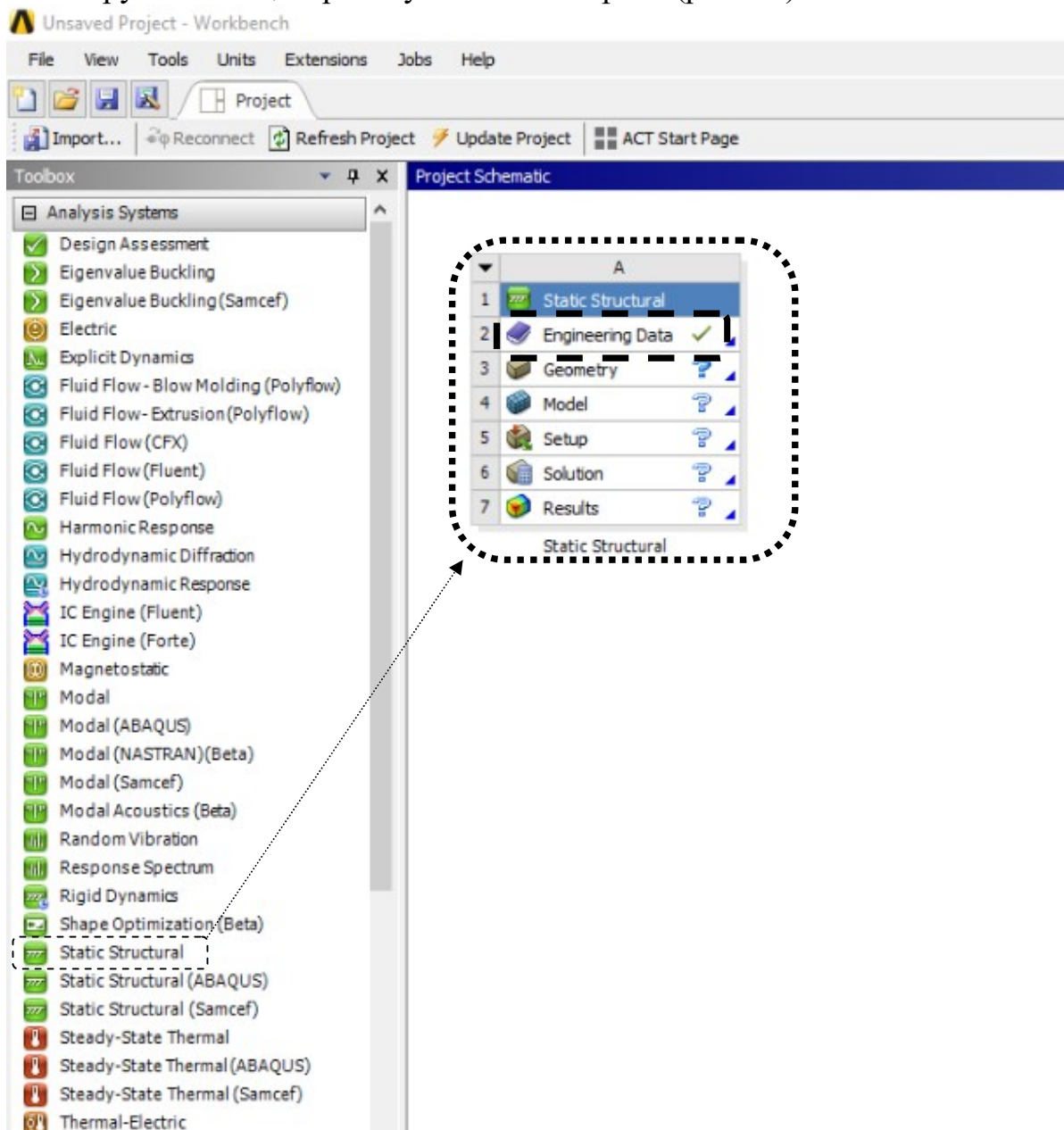


Рис.1.3. Создание задачи для решения задач статики

Далее в появившемся блоке опций необходимо указать характеристики материалов в разделе ENGINEERING DATA.

По умолчанию существуют характеристики конструктивной стали для расчета в физически линейной постановке. По необходимости можно указать дополнительные данные для расчета в физически нелинейной постановке, выбрав в левом столбце одну из опций, описывающих диаграмму работы стали на растяжение, либо кусочно-линейным способом MULTILINEAR ISOTROPIC HARDENING, либо билинейным способом BILINEAR ISOTROPIC HARDENING.

Также существует возможность по редактированию физических и механических свойств стали.

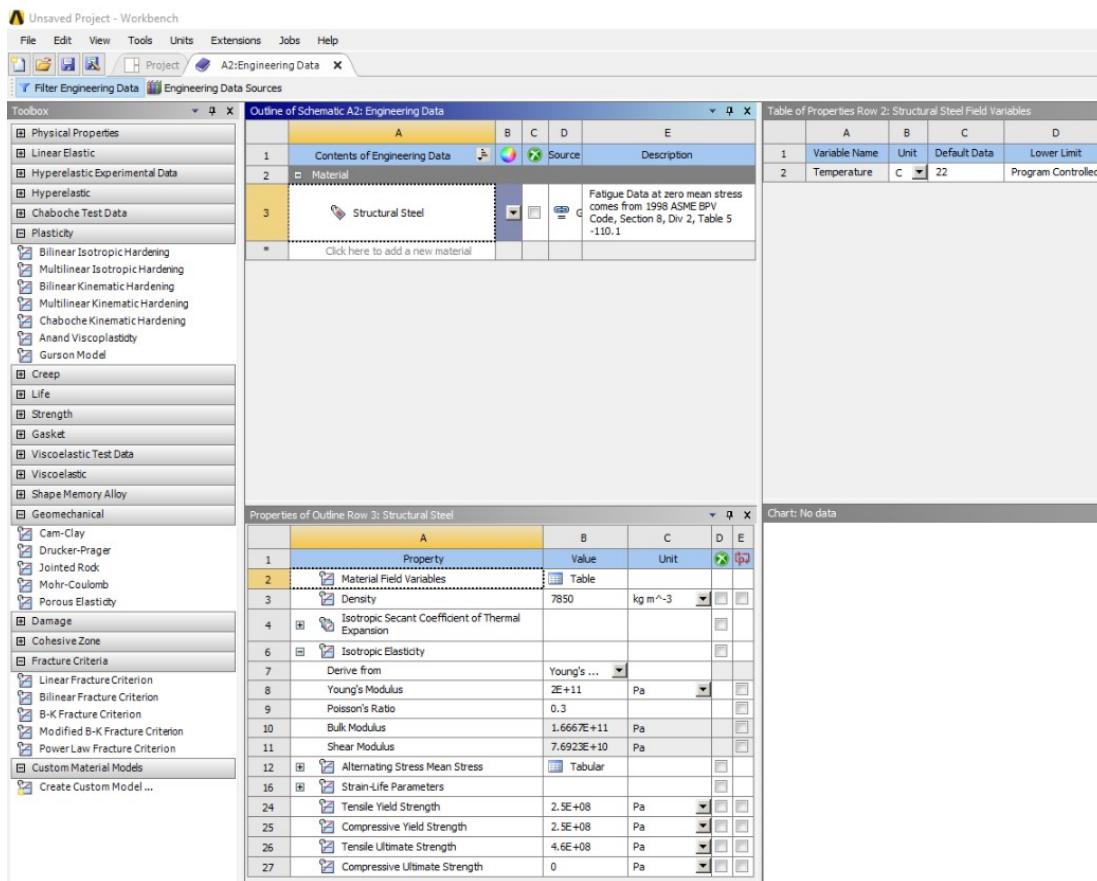


Рис.1.4. Опции задания свойств материалов для расчета

В рассматриваемом нами примере создадим два типа материала: сталь с линейными механическими свойствами и упругими характеристиками и сталь с нелинейными механическими свойствами, заданными билинейной диаграммой работы стали на растяжение (рис. 1.6).

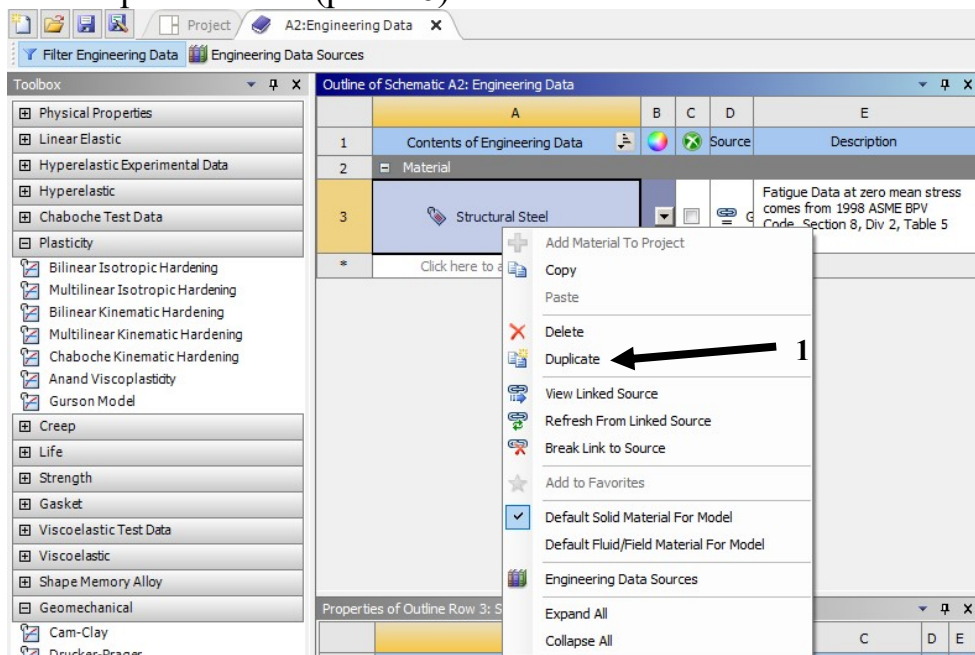


Рис.1.5. Создание двух типов материалов с физически линейными свойствами и с физически нелинейными свойствами

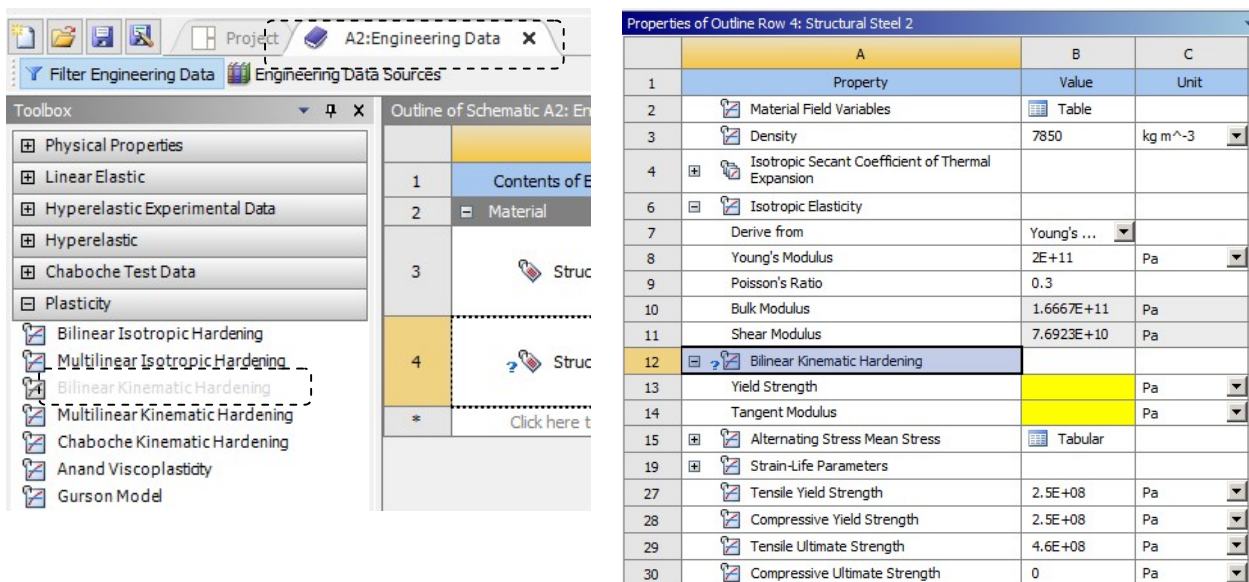


Рис.1.6. Задание предела текучести стали в строке 14.

Правой кнопкой мыши на строке **Structural steel** (строка 3) выберем опцию **DUPLICATE** (1) (рис.1.5). Далее активировав двойным щелчком левой кнопки мыши на появившемся в новой строке пункте **STRUCTURAL STEEL2**, в левом столбце меню опций выберем **BILINEAR ISOTROPIC HARDENING** и зададим характеристики, такие как предел текучести («Yield strength»), к примеру, 255МПа и тангенциальный модуль упругости («Tangent Modulus»), равный 0, таким образом задав диаграмму Прандтля (рис.1.6).

По результатам всех действий должно появиться два типа стали, один тип – с линейными упругими характеристиками, а другой тип – с нелинейными.

Далее закрыв вкладку «Engineering data», возвращаемся в основное окно оболочки в **WORKBENCH**.

Следующая строка блока опции предлагает создать геометрию либо импортировать ее из имеющегося файла. Для этого, кликнув правой кнопкой мыши на строке меню **GEOMETRY**, выбираем опцию «New Design Modeler Geometry» (рис.1.7).

В открывшемся окне оболочки **DESIGN MODELER** нам предлагается создать геометрию нашей модели. Принцип создания модели является параметрическим, как в **Solid Works** или **Autodesk Inventor**.

Создание модели производится следующими этапами:

- создание эскизов **SCETCH** в имеющихся или заново созданных плоскостях;
- выдавливание этих эскизов;
- работа с 3D телами, находящимися в замороженном **FROZEN** или в обычном **ADDMATERIAL** виде.

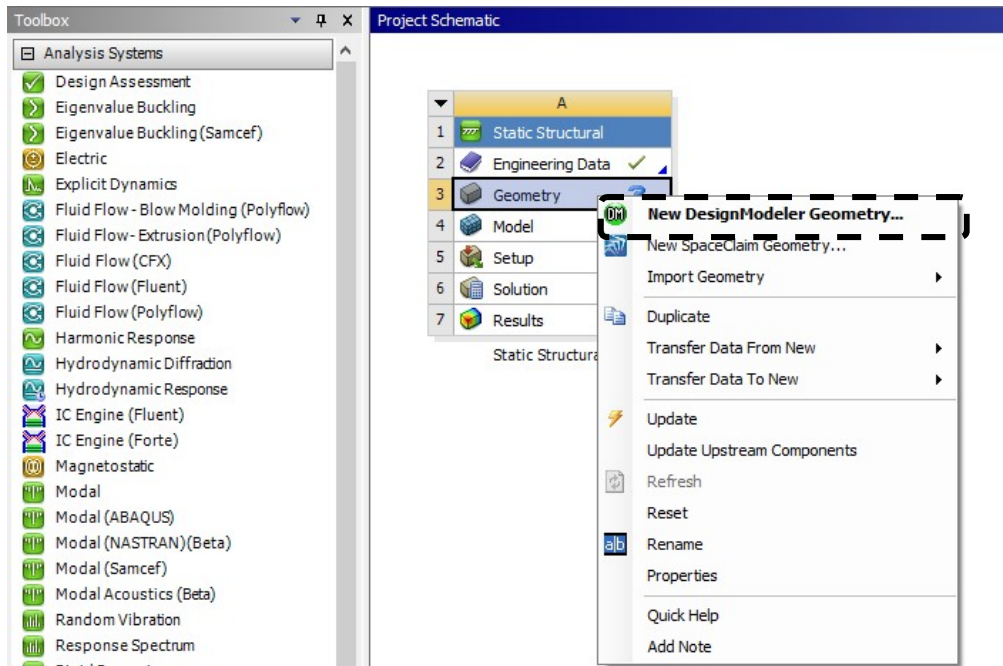


Рис.1.7. Создание геометрии модели

11

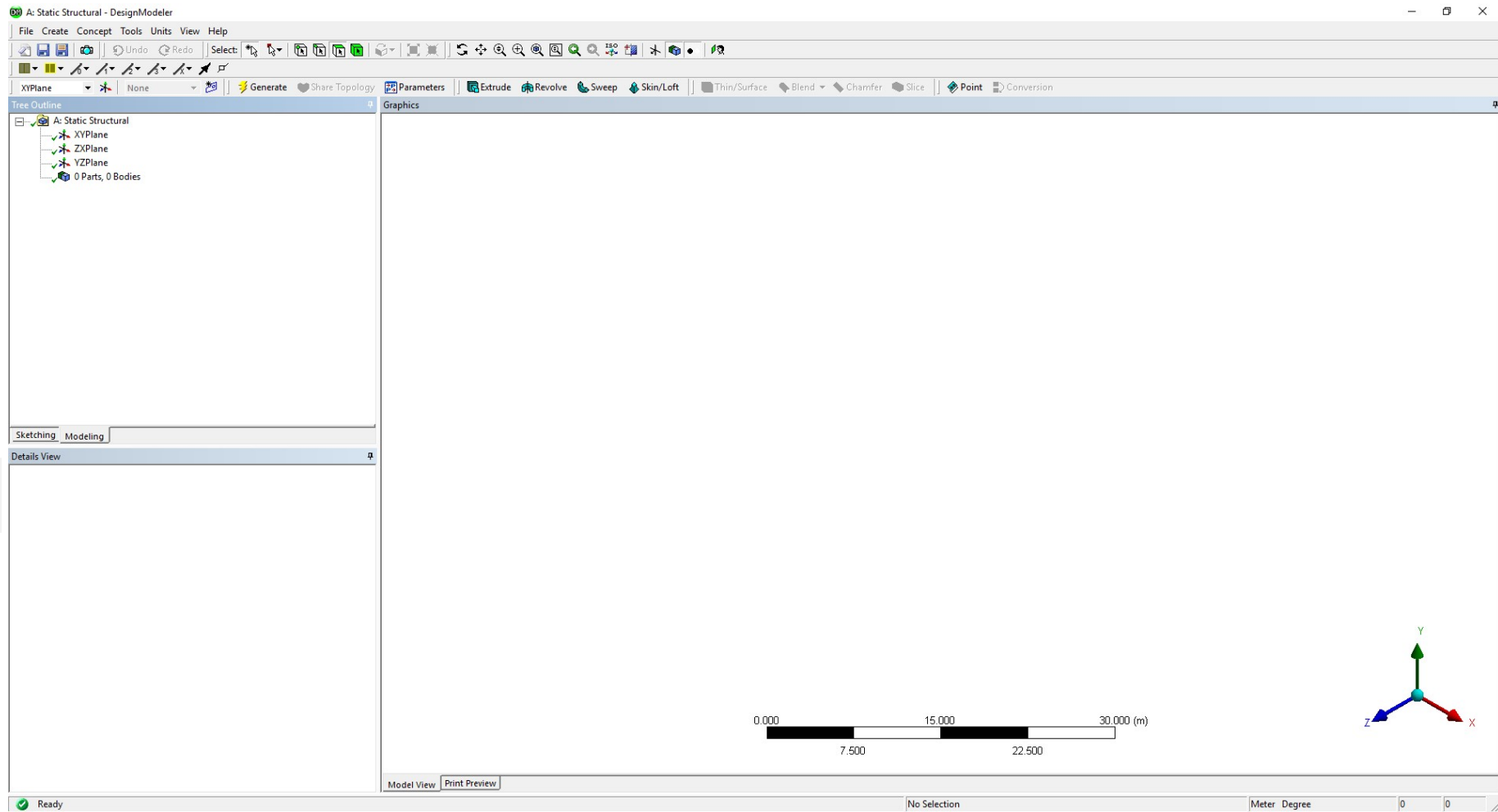


Рис.1.8. Рабочее пространство оболочки Design Modeler

Меню команд оболочки Design Modeler выглядят как представлено на рис.1.9-10.

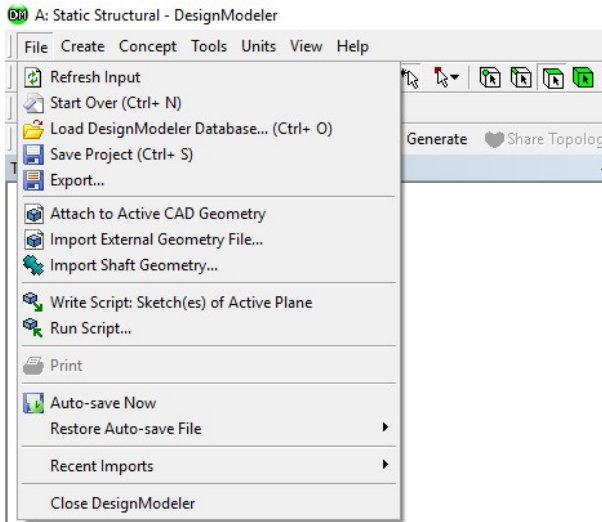


Рис. 1.9. Меню «File»с соответствующими опциями

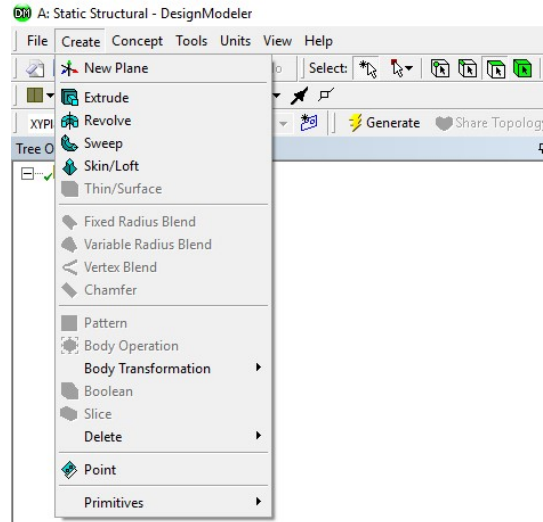


Рис.1.10. Меню «Create»с соответствующими опциями

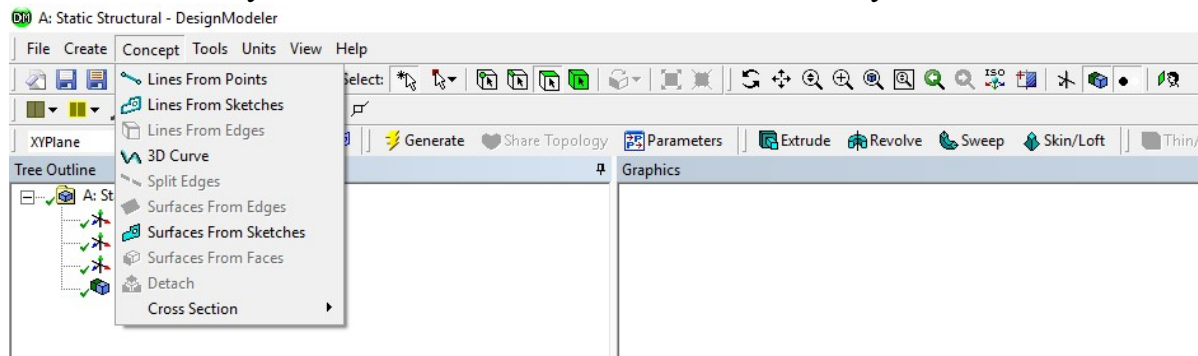


Рис. 1.11. Меню «Концерт»с соответствующими опциями

1.1. Пример:

Рассмотрим создание модели фланцевого стыка балки и колонны, в котором будет работа материалов стыкуемых элементов в нелинейной постановке, а материала болтов – в линейной постановке.

Создание геометрии модели

- Выбираем в левом столбце опций плоскость, в которой будем располагать поперечное сечение колонны, а именно: плоскость XY, кликнув на ней левой кнопкой мыши один раз (1) – рис.1.12
- На панели инструментов сверху находим кнопку SCETCH (2) – рис.1.12.
- В дереве столбца опций под строкой плоскости XY появилась надпись "SCETCH"(1) – рис.1.12. А в рабочем поле при этом становится видимым начало координат в выбранной плоскости (рис.1.12).

- Далее под столбцом опций выбираем вкладку SCETCHING (3) – рис.1.12, при этом меняется предлагаемый выбор опции в левом столбце, (В меню команд левого столбца команды разделены на несколько разделов.

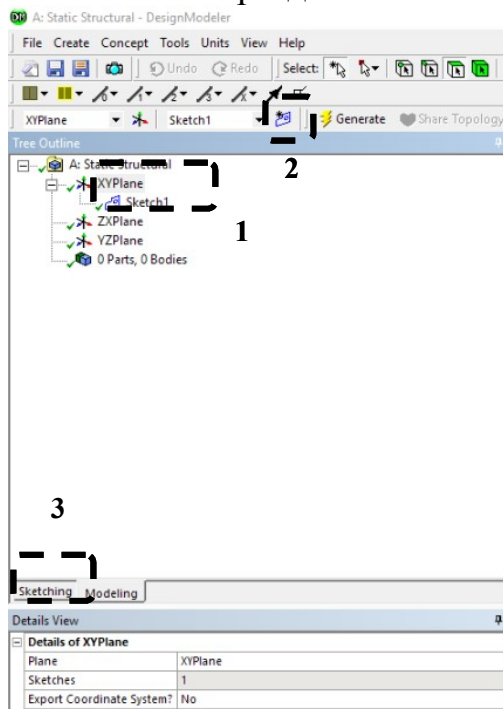


Рис.1.12. Команда "SCETCH" и строка в дереве опций

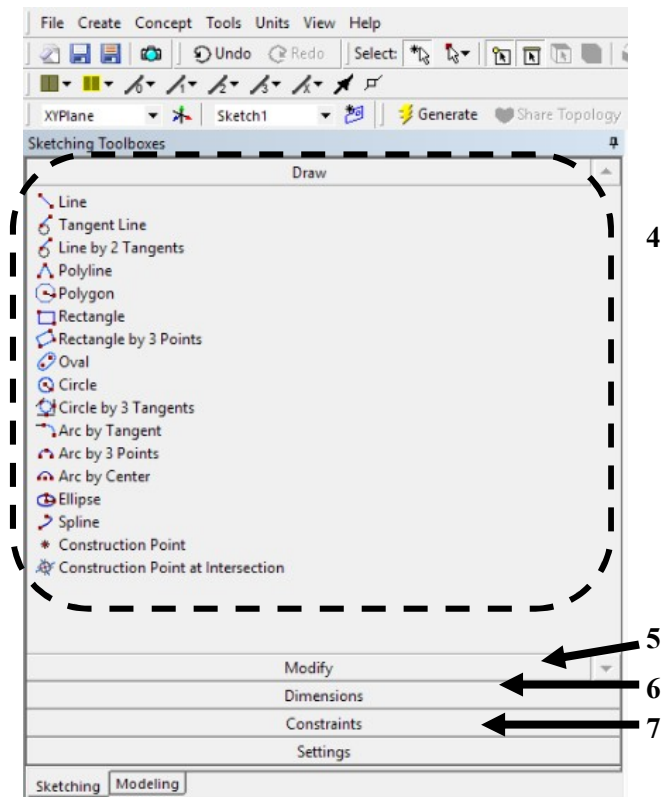


Рис.1.13. Команды для создания набросков

Главный раздел (Draw) содержит в себе команды для рисования набросков (4) – рис.1.13.

Второй сверху раздел – вкладка (Modify) содержит в себе команды по редактированию набросков (5) – рис.1.13.

Третий сверху раздел – вкладка (Dimensions) содержит в себе команды по расстановке размеров, которые определяют параметрическим образом габариты и линейные размеры наброска (6) – рис.1.13.

Четвертый сверху раздел – вкладка (Constraints) включает в себя команды по наложению на отдельные элементы наброска различных зависимостей. Причем эти зависимости не должны пересекаться и конфликтовать с наложенными размерами (7) – рис.1.13.

- Вычерчиваем поперечное сечение колонны, выполненной из двутавра с помощью команды **ПОЛИЛИНИЯ** (Polyline), (1) – рис.1.14, при этом геометрические размеры не важны, важна только форма в виде двутавра. Начать вычерчивание двутавра можно в начале координат выбранной плоскости.

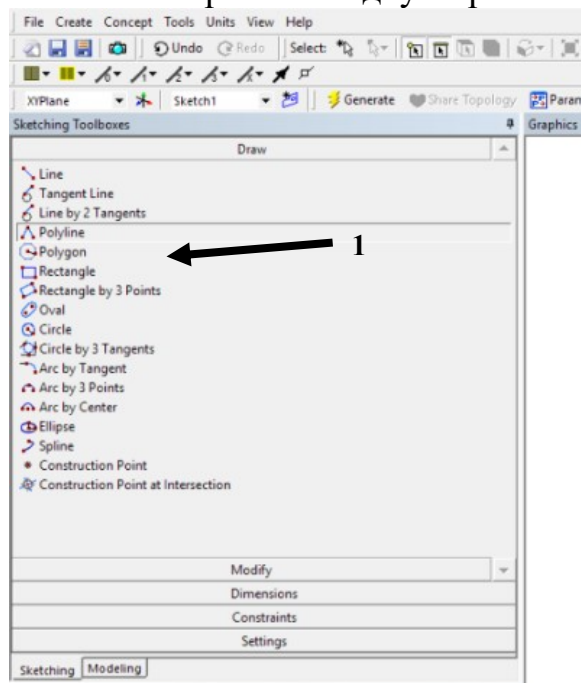
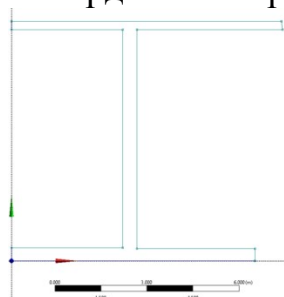
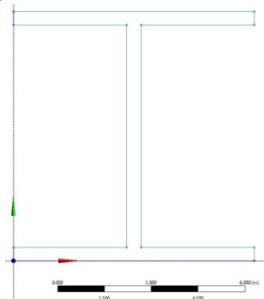


Рис.1.14



Сечение до наложения зависимостей



Сечение после наложения зависимостей

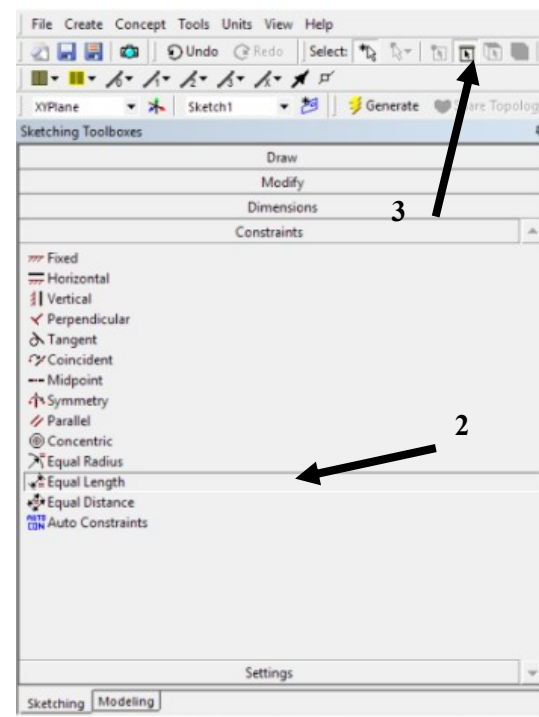


Рис.1.15

- Далее переходим в четвертый раздел наложения зависимостей. В данном разделе наложим зависимости одинаковой длины (EQUALLENGTH), (2) – рис.1.15 – на элементы поперечного сечения двутавра, которые должны иметь одинаковую длину. Наложение зависимости осуществляется путем запуска команды и выбором соответствующих элементов поочередно. При этом можно уточнить на панели инструментов выбираемый элемент: узел либо линия – 3.

- Следующим шагом устанавливаются размеры командой (General),(1) – рис 1.16. с установлением конкретных величин геометрических параметров наброска, таких как высота, ширина, толщина стенки, толщина полки двутавра – рис.1.17.

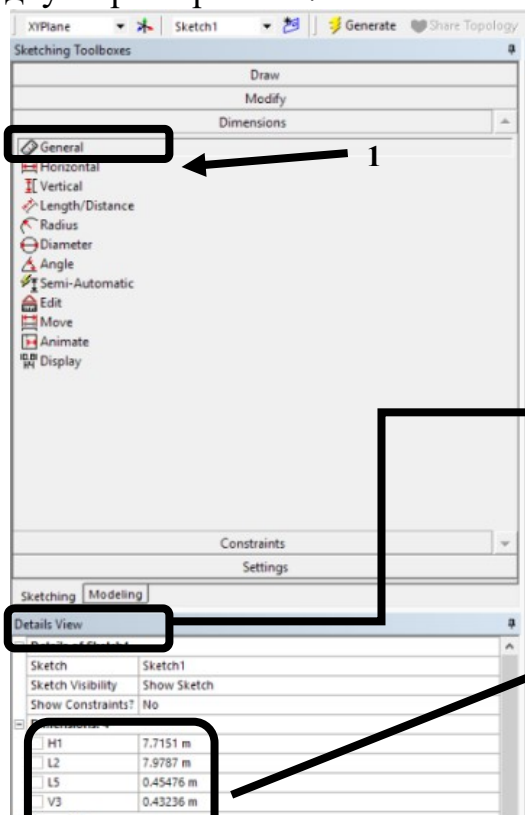


Рис. 1.16

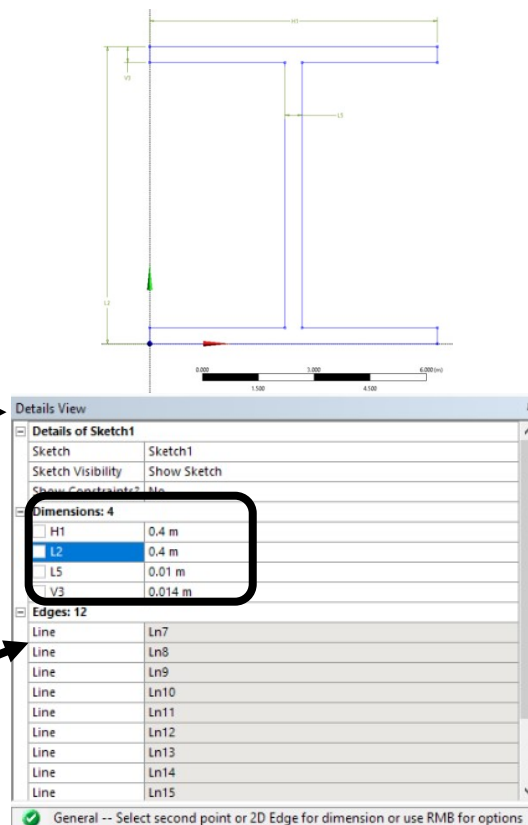


Рис. 1.17

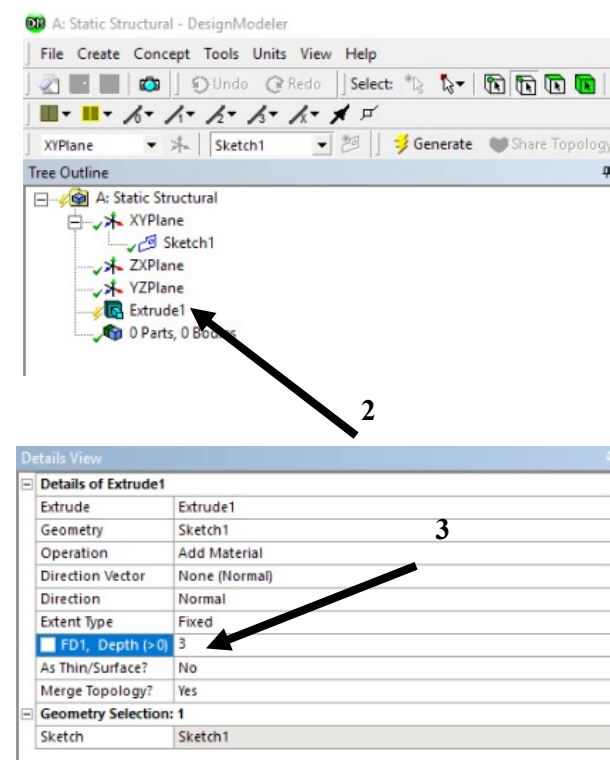


Рис.1.18

- Далее на панели инструментов или в меню "CREATE" следует найти и запустить команду "EXTRUDE", (2). В левой колонке появится значок команды "EXTRUDE".В дополнительном меню опций следует указать глубину выдавливания в строке "DEPTH", (3) – рис.1.18.

- Далее для завершения команды следует нажать команду на панели инструментов "GENERATE", (1) – рис.1.19. После чего в левой колонке появится раздел "PARTS, BODIES"– (2), внутри которого появится 3D тело двутавра с высотой, равной указанной ранее величине – рис.1.20.

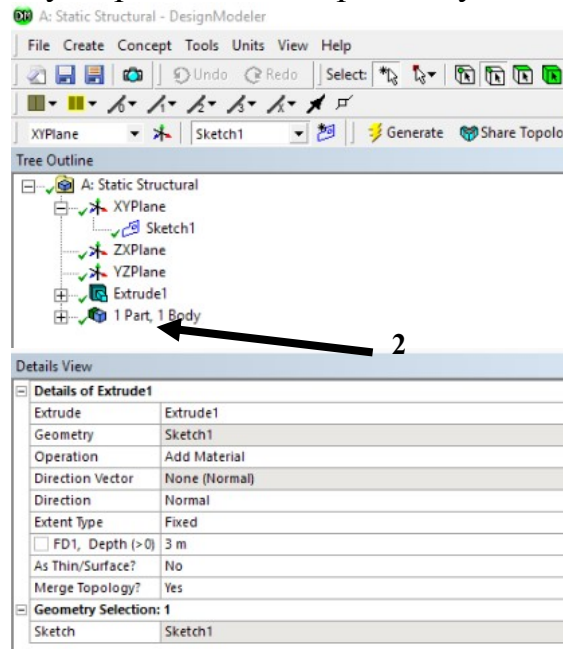


Рис. 1.19

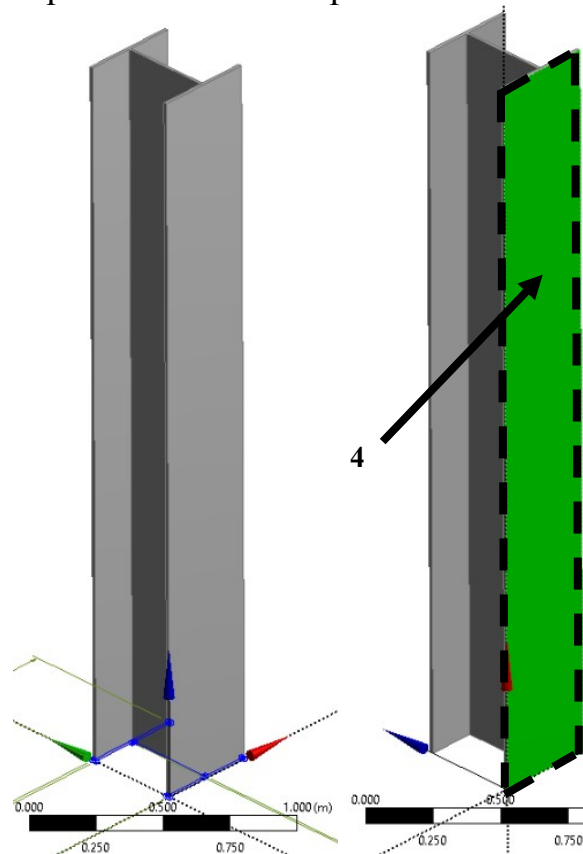
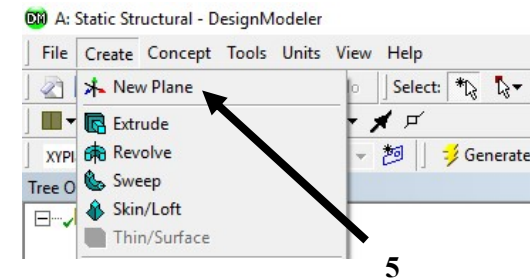
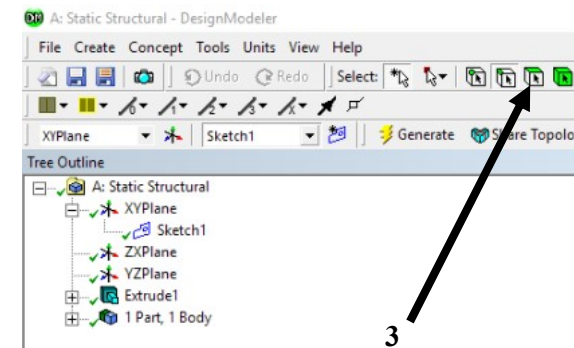


Рис. 1.20

Рис. 1.21



5



3

Рис. 1.22

- Выбрав одну из граней двутавра с помощью команды выбора граней , (3) – рис.1.22 и указав нужную грань на двутавре, (4) – рис.1.21, создадим новую плоскость (NewPlane) в разделе меню Create , (5) – рис.1.22.

- По аналогии с созданием наброска для двутавра (рис.1.12) создаем набросок (SCETCH) для этой новой плоскости с дальнейшим созданием внутри него прямоугольника командой (Rectangle) – (1) с вершинами на ребрах вновь созданной плоскости – (2) и высотой 0.8 м – (3).

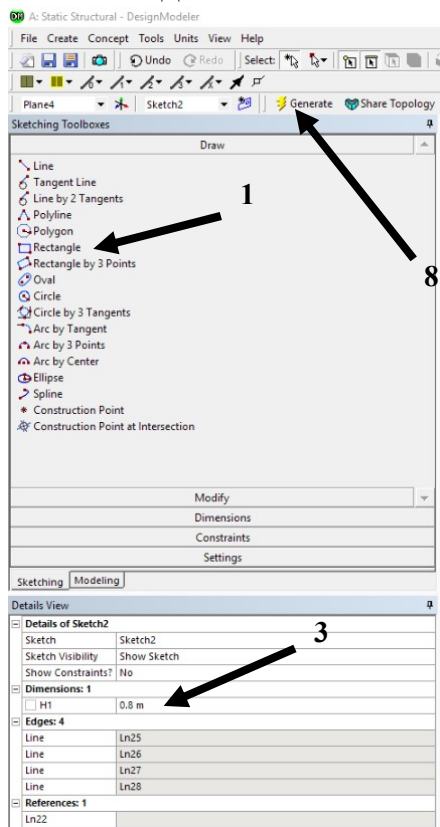


Рис. 1.23

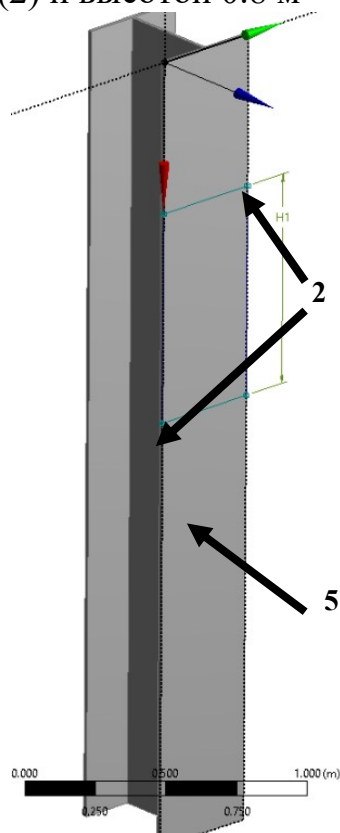


Рис. 1.24

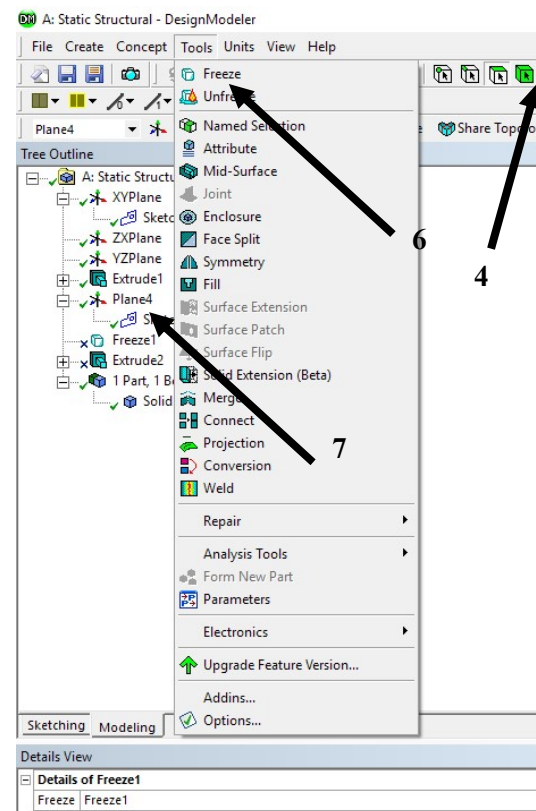


Рис. 1.25

- Далее замораживаем тело колонны командой (Freeze) – 6 в меню (Tools), предварительно выделив двутавр как тело (5) командой выбора тел (4). Выдавливаем созданную ранее прямоугольную пластину командой (Extrude) на 20 мм, выделив предварительно набросок (7) и подтвердив командой (Generate) – (8).

- Выделив внешнюю плоскость пластины – (1), создаем новую плоскость – (2); в дереве-структуре модели появится новая плоскость (Plane 5) – (3), в которой нужно создать новый набросок – (4).

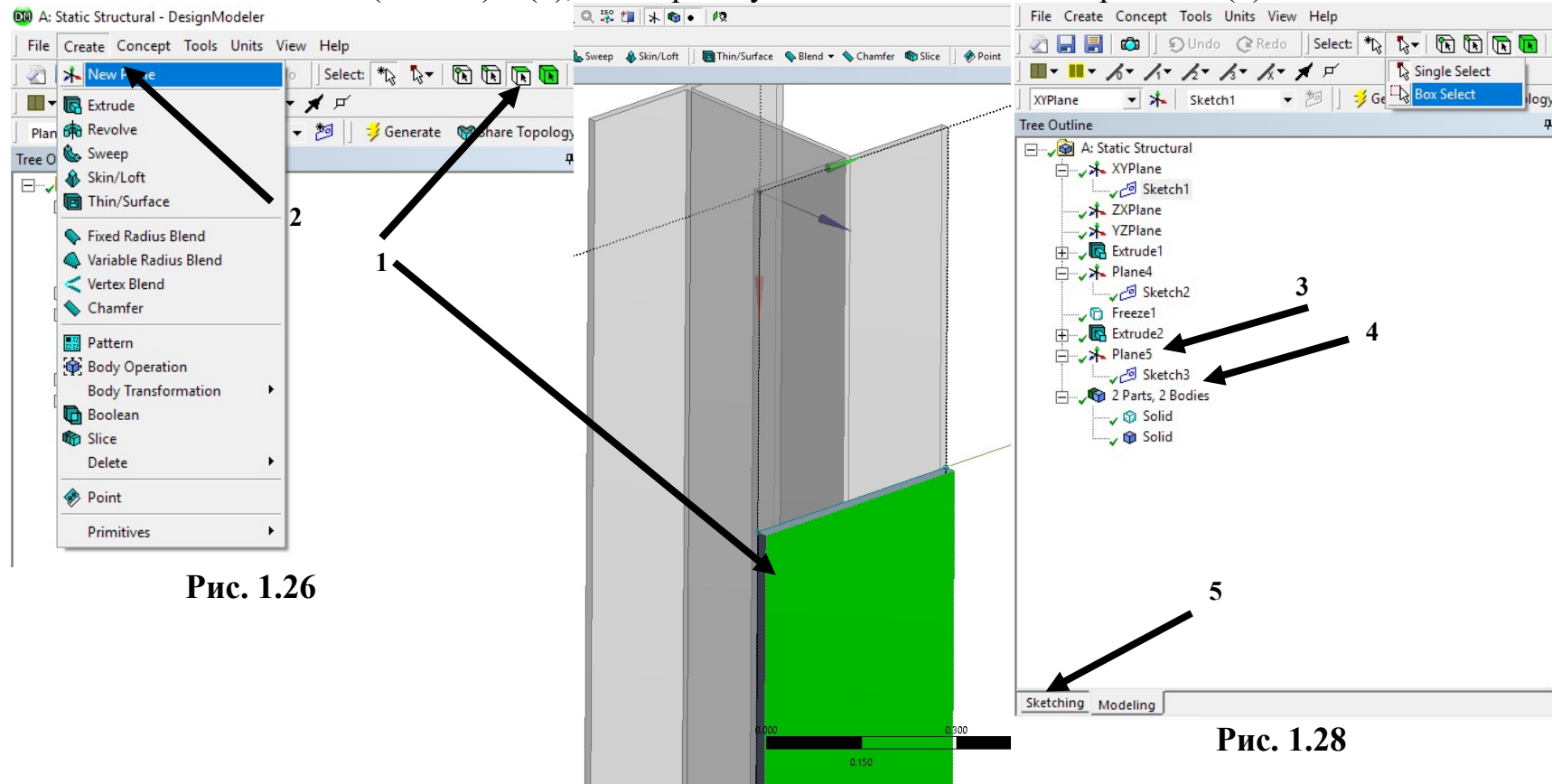


Рис. 1.26

Рис. 1.27

Рис. 1.28

- Выделив набросок (4) и перейдя затем в раздел (SCETCHING) – (5), создадим набросок сечения для двутавровой консольной балки.

- Создадим сечение двутавра по аналогии с шагами, приведенными на рис.1.14 – 1.17, но с несколько другими геометрическими параметрами поперечного сечения (рис.1.29) и привязкой к вертикальным и горизонтальным кромкам созданной ранее плоскости (plane 5).

19

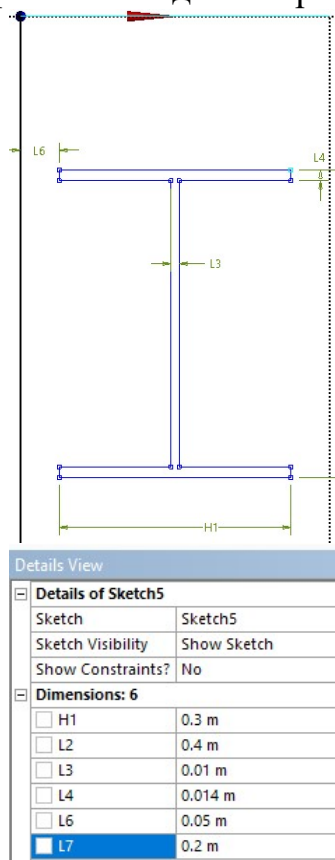


Рис. 1.29

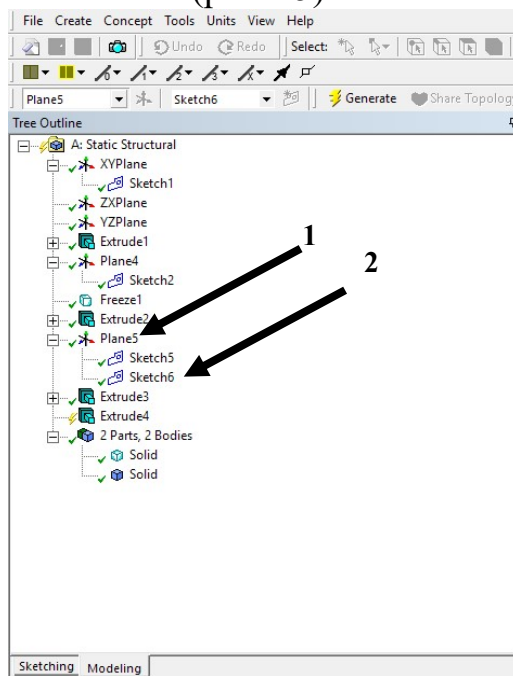


Рис. 1.30

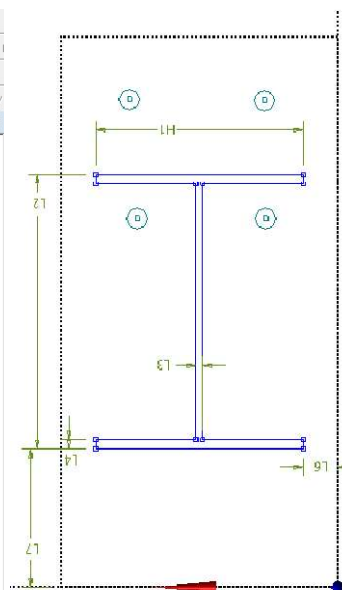


Рис. 1.31

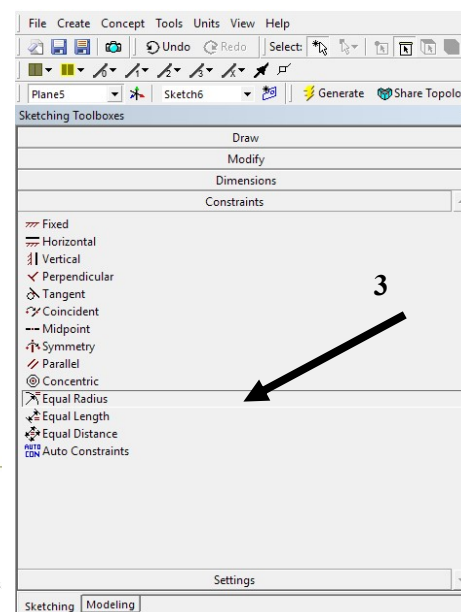
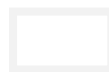


Рис. 1.32

- В плоскости, созданной на базе пластины (1), создадим еще один набросок (2), в котором создаются отверстия под болты и тело самих болтов. Наложим зависимости одинакового радиуса на отверстия – (3).



- Укажем также его диаметр и привязку остальных отверстий (1) – рис.1.34. Перейдя во вкладку (Modeling) – 2 и выбрав набросок двутавра балки (3), запустим команду (Extrude), выдавив его на 0.8 м, при этом пластина и балка станут одним телом(4), т.к. выдавливались с опцией по умолчанию (Add Material).

20

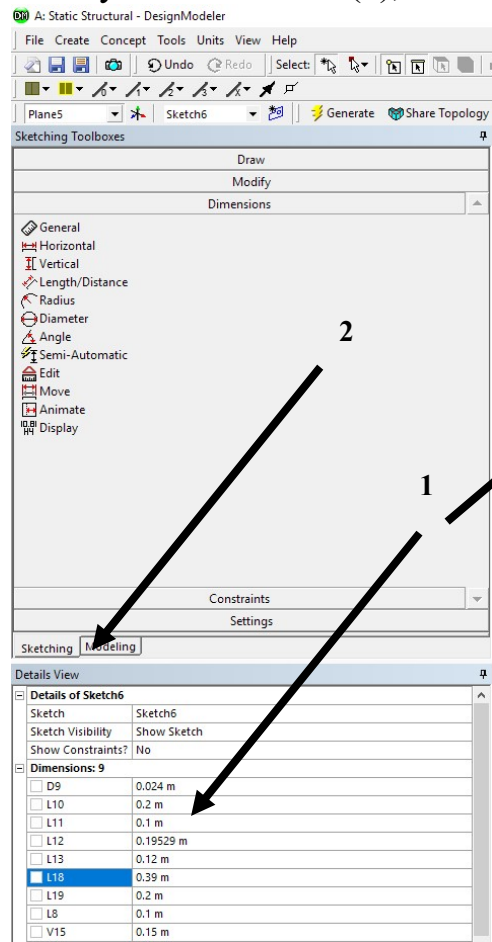


Рис. 1.33

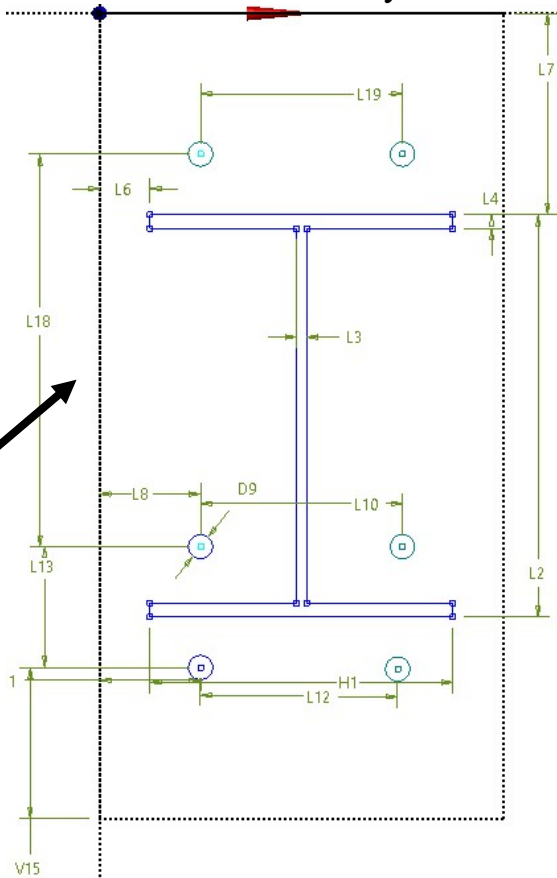


Рис. 1.34

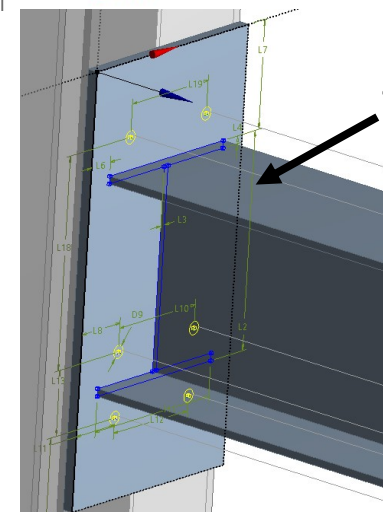
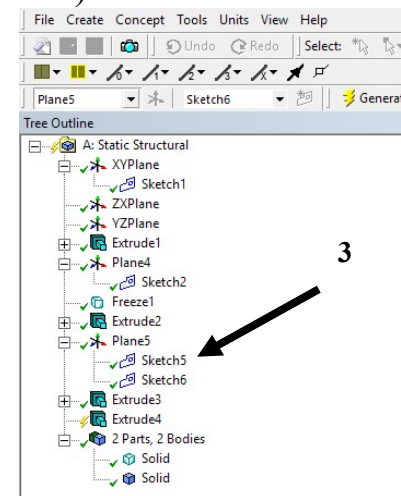


Рис. 1.35

- Выделив набросок отверстий болтов в плоскости, созданной на базе грани пластины (1), запустим команду (Extrude) – (2), в разделе (detail view) строки (Operations) которой выберем опцию (CutMaterial) – (3), а в строке (depth) – (4) сумму толщин пластины и толщины полки двутавра колонны; для создания отверстия в пластине нажимаем кнопку (Generate) – (5), при этом можно изменить направление выдавливания в строке (Direction). Далее выделив тело, состоящее из балки и пластины – (6), заморозим его командой Freeze – (7), для того чтобы создавать тела болтов и их головки.

21

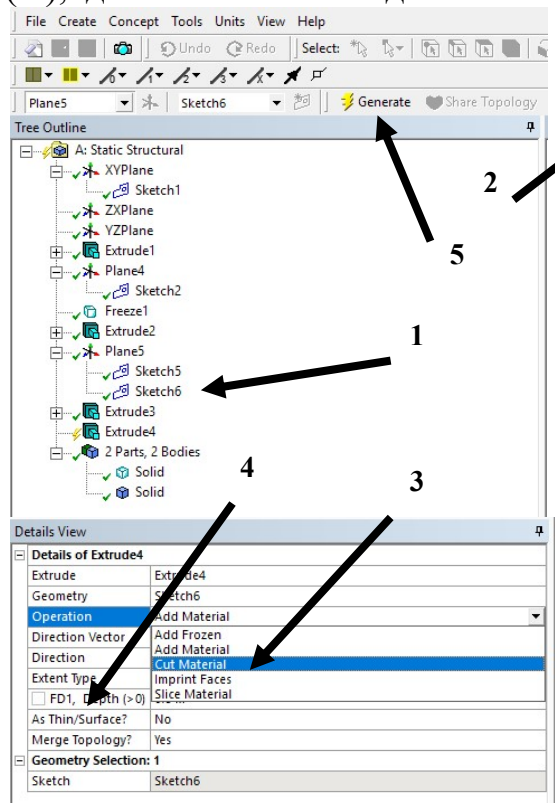


Рис. 1.36

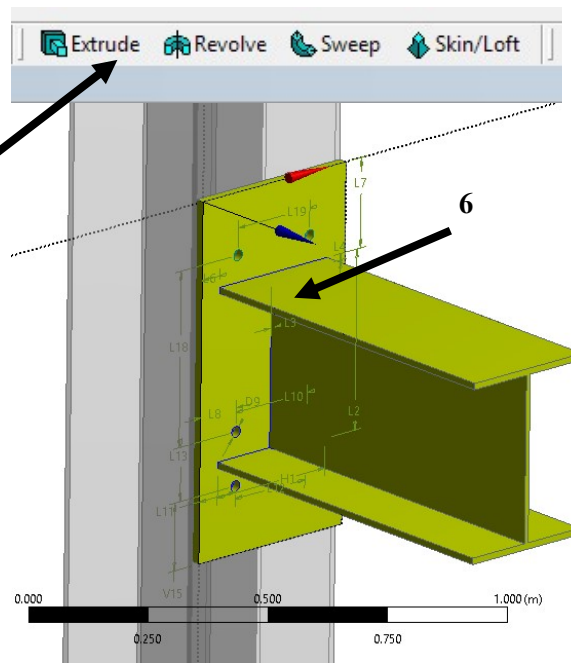


Рис. 1.37

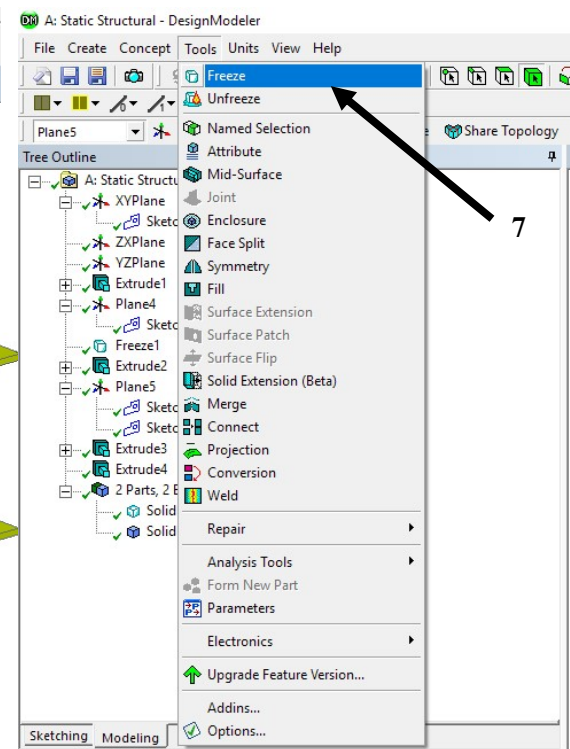


Рис. 1.38

- Выделив набросок с сечением болтов (1) в плоскости, созданной на базе пластины, выполним команду (Extrude) с глубиной выдавливания 0.034 м, (2) – (суммарная толщина пластины и толщины полки двутавра).

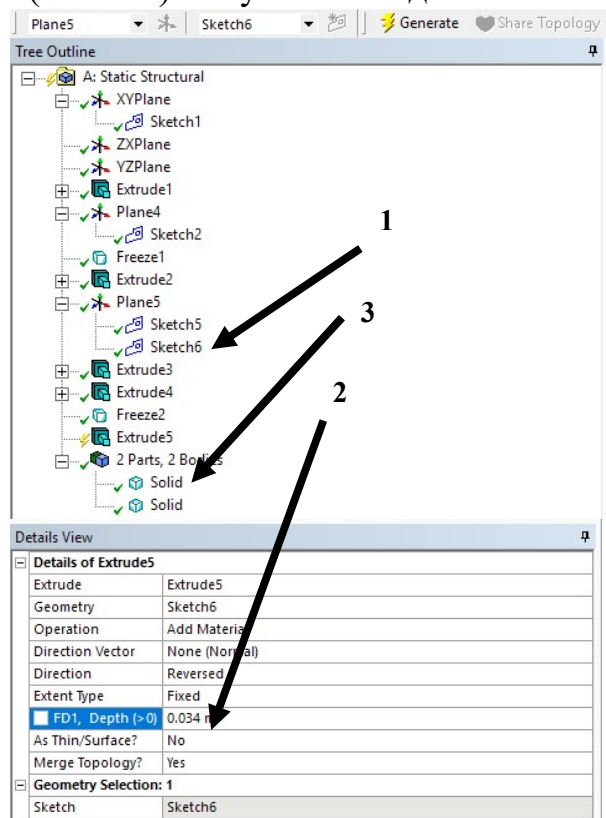


Рис. 1.39

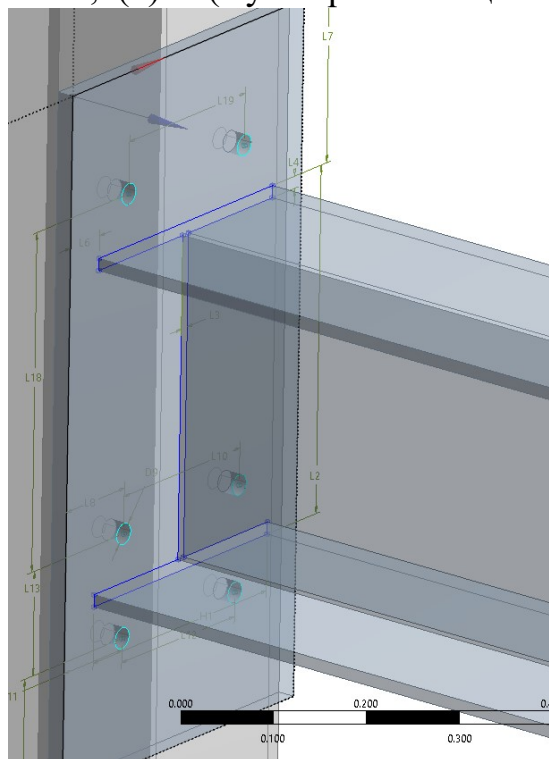


Рис.1. 40

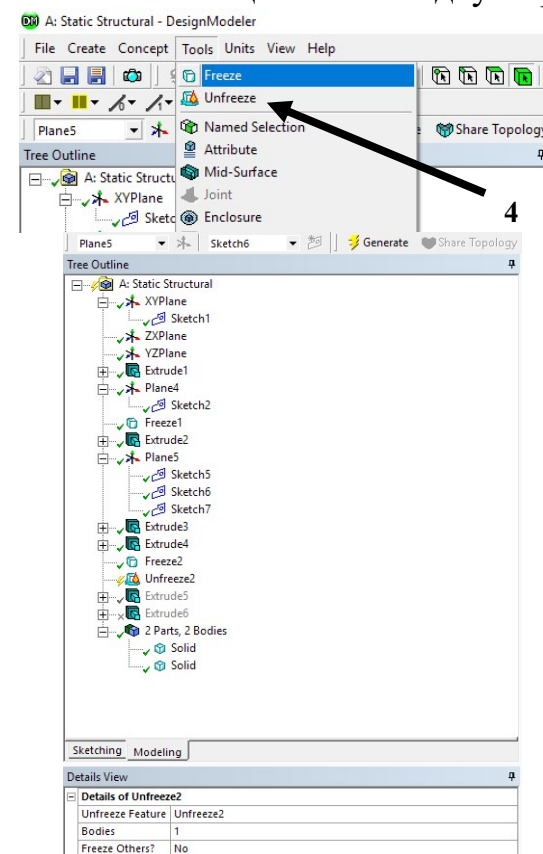


Рис. 1.41

- Разморозим тело колонны, которое было заморожено ранее для выполнения отверстий в колонне командой (Unfreeze) – 4, для этого выберем тело колонны в дереве команд, (3) – (Parts, Bodies), и запустим команду (Unfreeze) из меню (Tools). Получившееся дерево-структура модели представлено на рис.1.41



- Проведем отверстие в полке двутавра колонны командой (Extrude) – (2) с опцией (Cut material) – (3) и глубиной 0.034 м – (4), выполненной с выделением наброска с болтами в плоскости, созданной на базе грани пластины – (1).

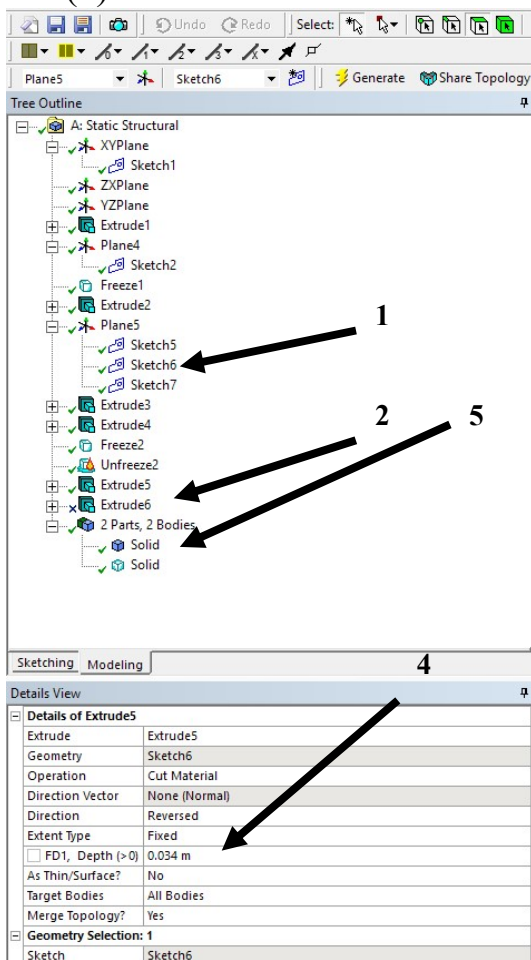


Рис. 1.42

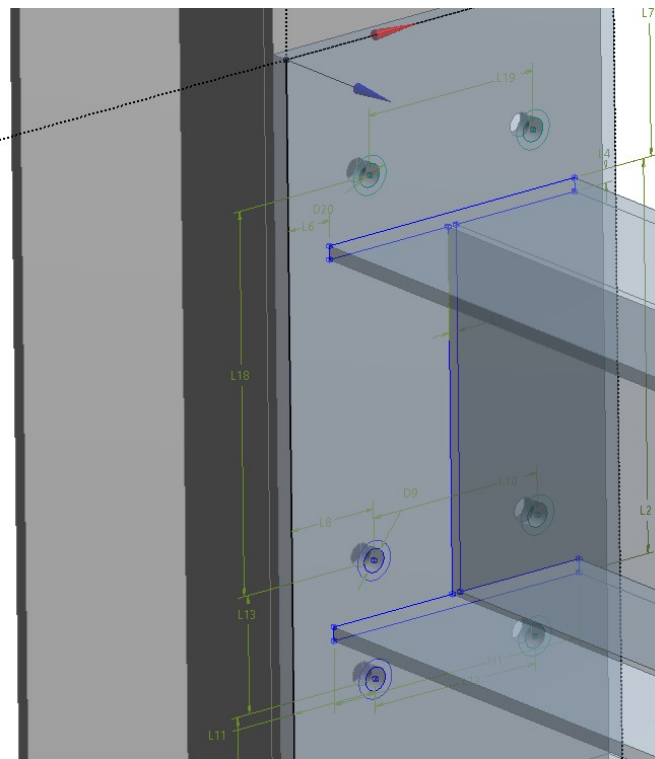


Рис. 1.43

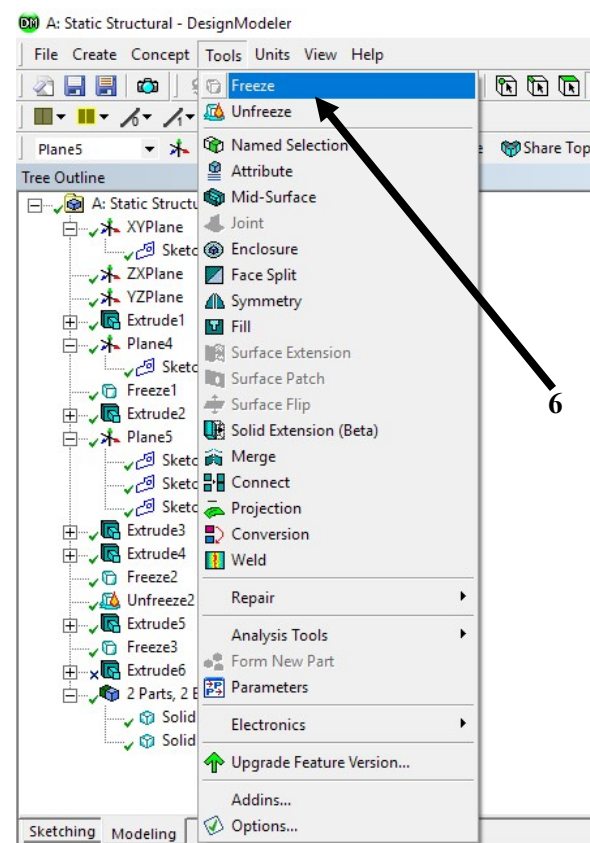
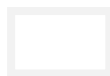


Рис. 1.44

- Заморозим тело колонны – (5) командой (Freeze) – 6 для создания тела болтов и их головок.



- Создадим третий набросок в плоскости на базе грани пластины для создания головок болтов – (1). Наброски эскизов головок болтов можно создать копированием внутри раздела (Sketching) во вкладке (Modify).

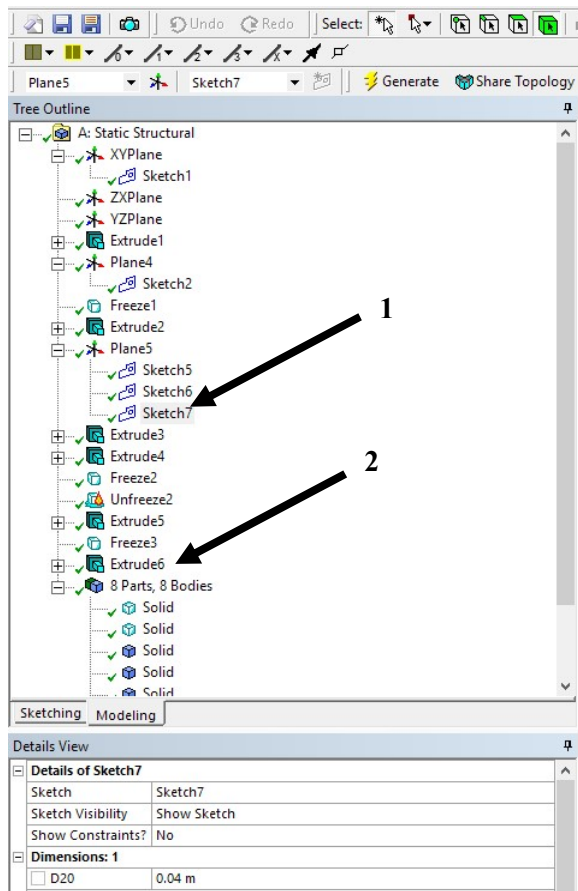


Рис.1.45

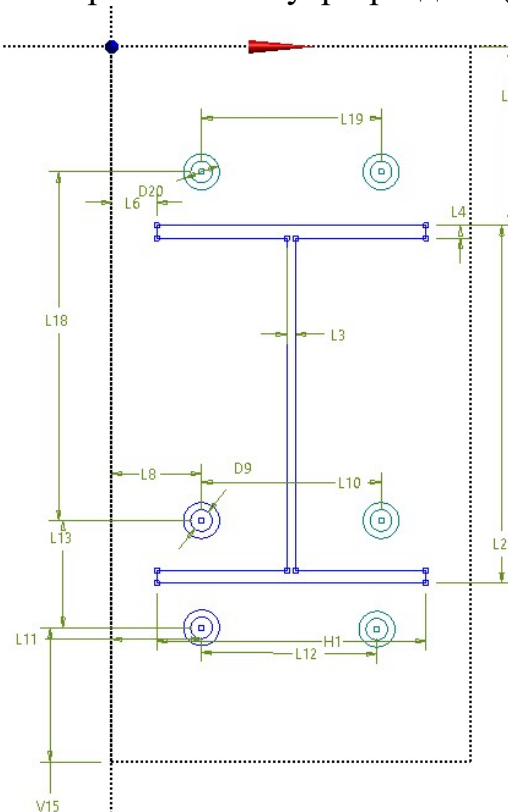


Рис.1.46

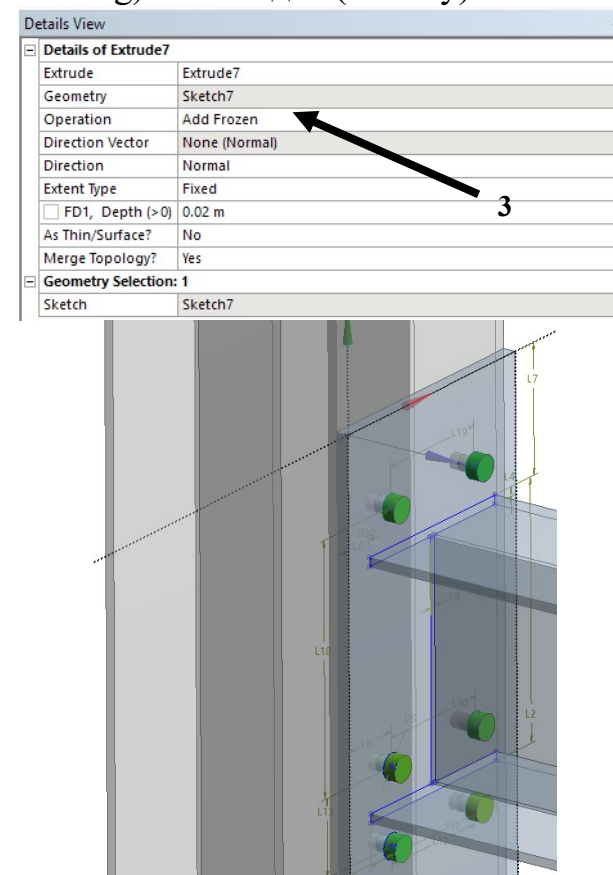


Рис.1.47

- Выдавим головки болтов командой (Extrude) – (2) с опцией (Add Frozen) – (3) на 0.02 м, для того чтобы в дальнейшем их скопировать.

- В меню (Create) выполним команду (Pattern) – (2) для копирования головок болтов для грани колонны, выделив предварительно (с использованием Ctrl) в дереве-структуре модели, шесть головок болтов – (1).

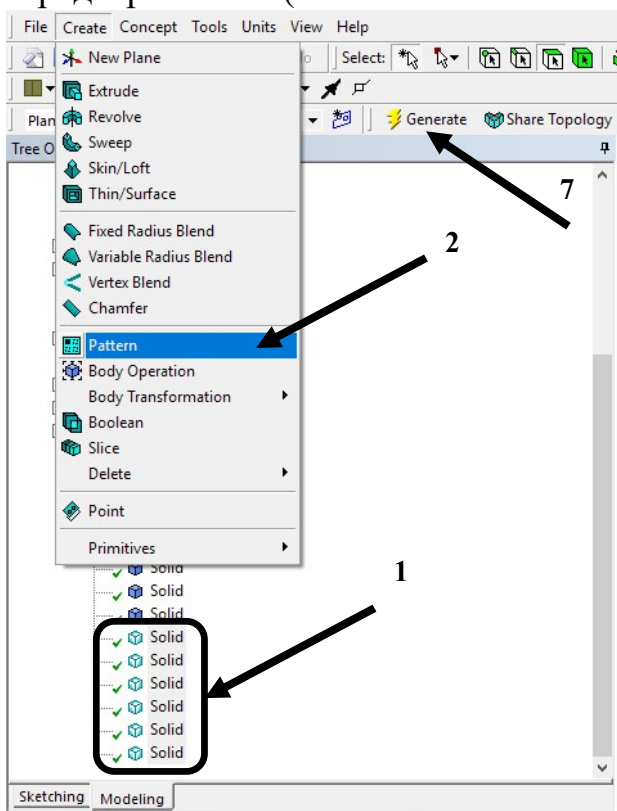


Рис. 1.48

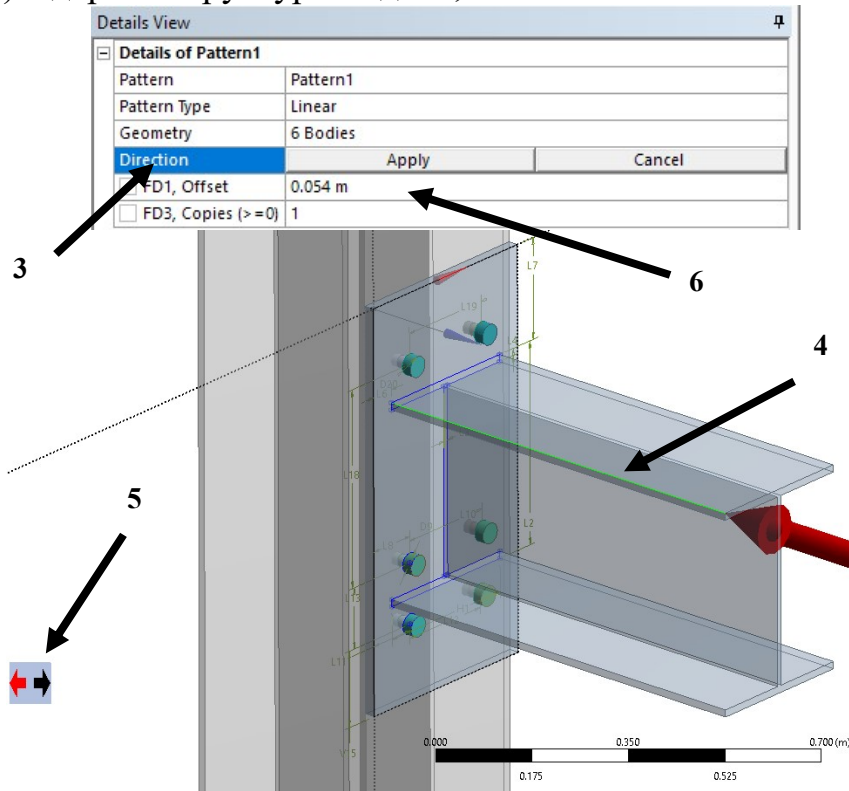


Рис. 1.49



Рис. 1.50

- Указав направление копирования (Direction) –3 в разделе (DETAILSVIEW), выделим кромку балки – 4 и изменяя направление, нажимая на стрелки, – (5) уточнив расстояние (Offset) в 0.054 м, (6) (сумма высоты головки, толщины пластины и толщины полки двутавра колонны), выполним команду (Generate) – (7), при этом появится 6 дополнительных тел – (8).

- Выделив все тела, которые входят в состав болтов (тело и головки болтов по обеим сторонам, всего 12 тел) в дереве команд (Parts, Bodies) – (1), запустим команду (Unfreeze) – (2), при этом все указанные тела сольются в группу из 6 отдельных болтов, тело колонны с отверстиями и тело балки с пластиной и отверстиями.

26

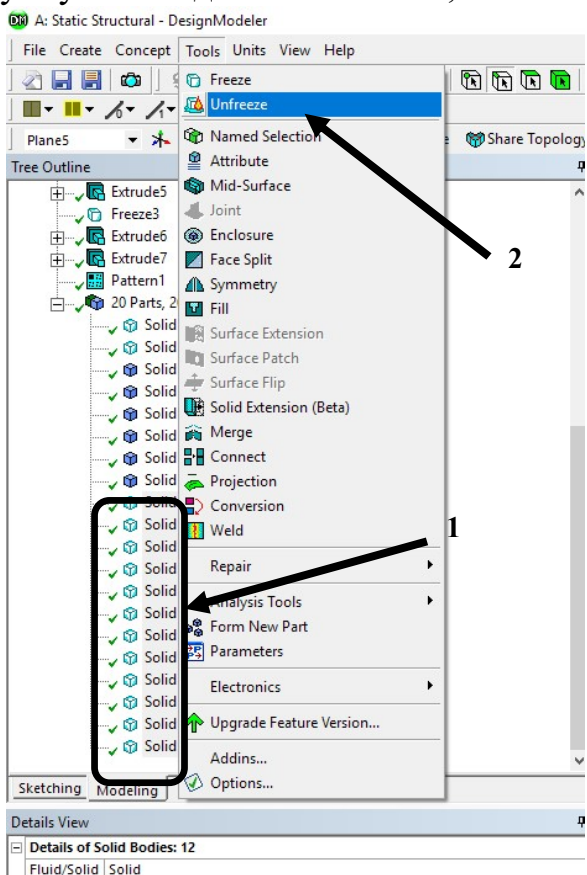


Рис. 1.51

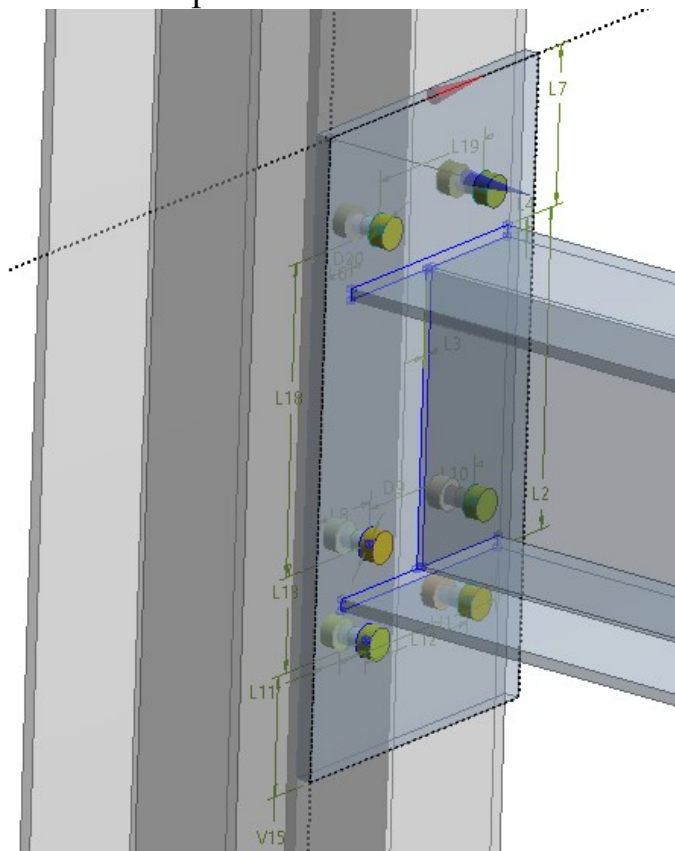


Рис. 1.52

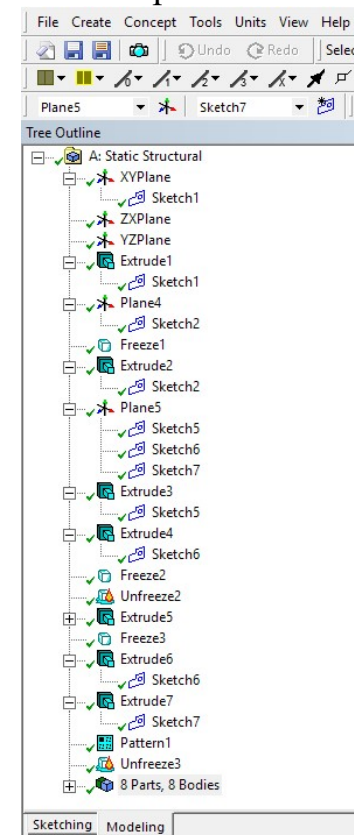


Рис. 1.53

- Геометрическая модель и дерево команд создания модели выглядят следующим образом, при этом названия эскизов и номера повторяющихся команд могут не совпадать (рис.1.53).

- Выделив любой из набросков в дереве-структуре модели в разделе (details view), будем иметь возможность поставить метку значка параметров – (1).

27

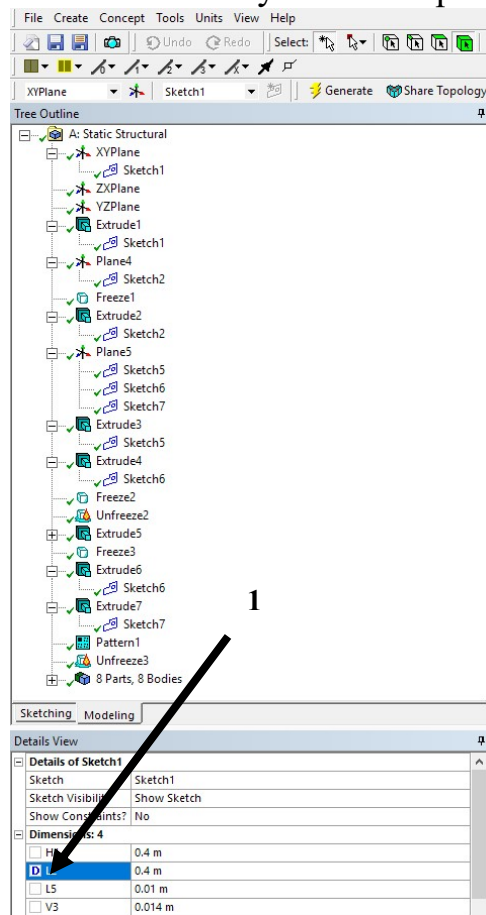


Рис. 1.54

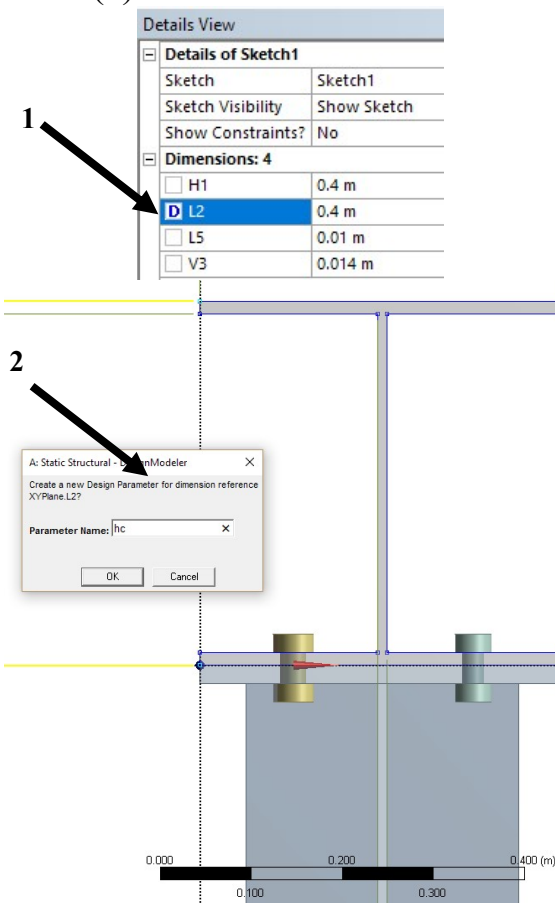


Рис. 1.55

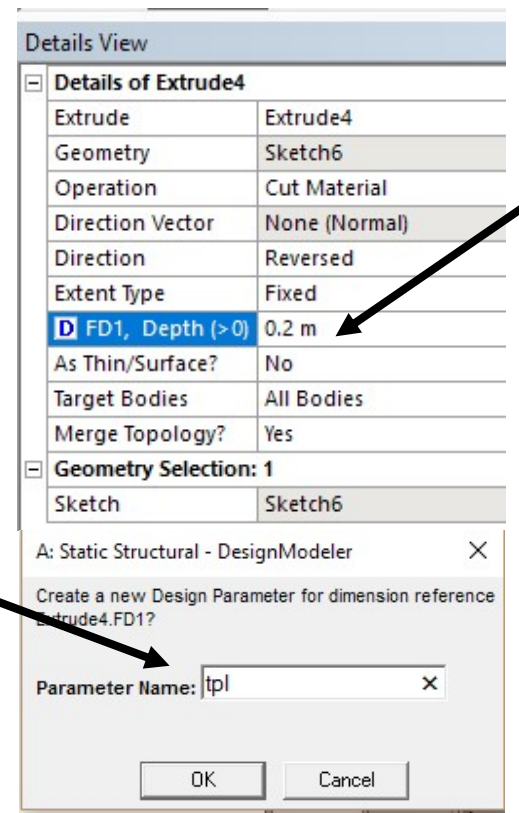
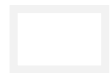


Рис. 1.56

- При этом в основном поле всплывает окно с предложением дать обозначение желаемому параметру или согласиться на тот, что предлагается по умолчанию – (2). Как вариант можно параметризовать толщину полок двутавра, толщину стенки, высоту двутавра, ширину двутавра или толщину выдавливания плиты – (3).



- Для отслеживания параметров необходимо запустить команду (Parameters) – (1), в нижней части экрана появится окно параметров (Parameters Editor) – (2) с названием, величиной и типом параметров.

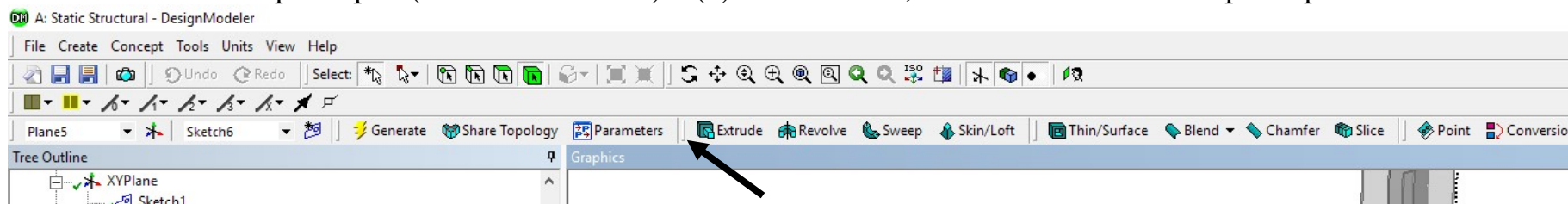


Рис.1.57

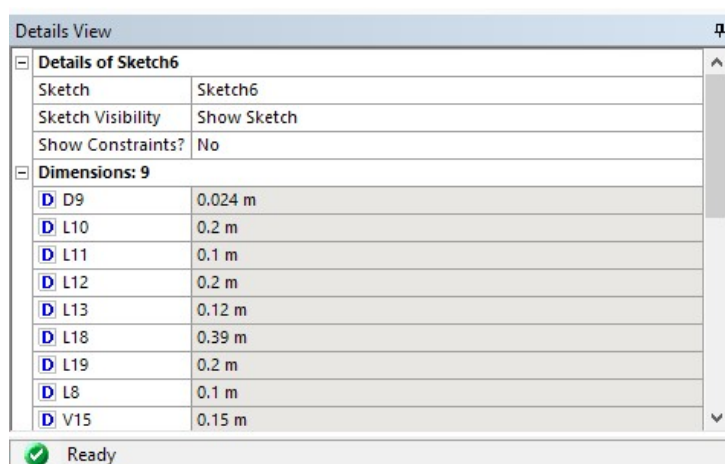


Рис. 1.58

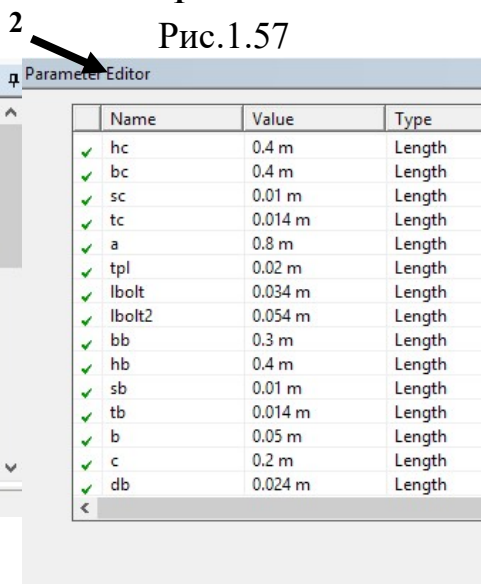


Рис. 1.59

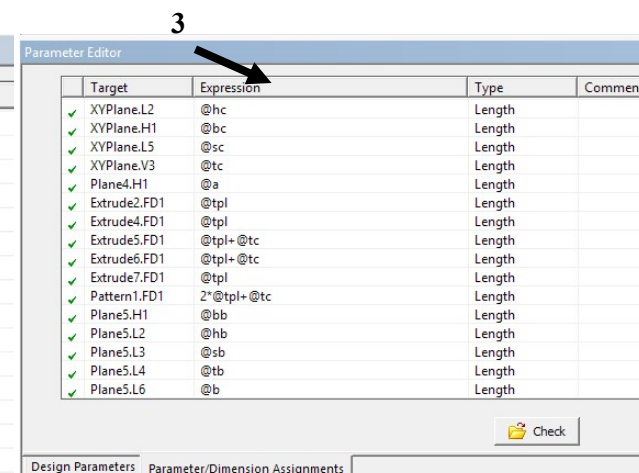
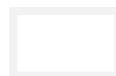


Рис. 1.60

4

- Также имеется возможность задать взаимные зависимости между параметрами (Expressions) – (3) во вкладке (Parameters Dimensions Assignments) – (4).



- После завершения создания геометрической модели модуль Design Modeler можно закрыть, и в основном окне Workbench необходимо запустить модуль (Mechanical), щелкнув два раза на надписи (Model) – (1).

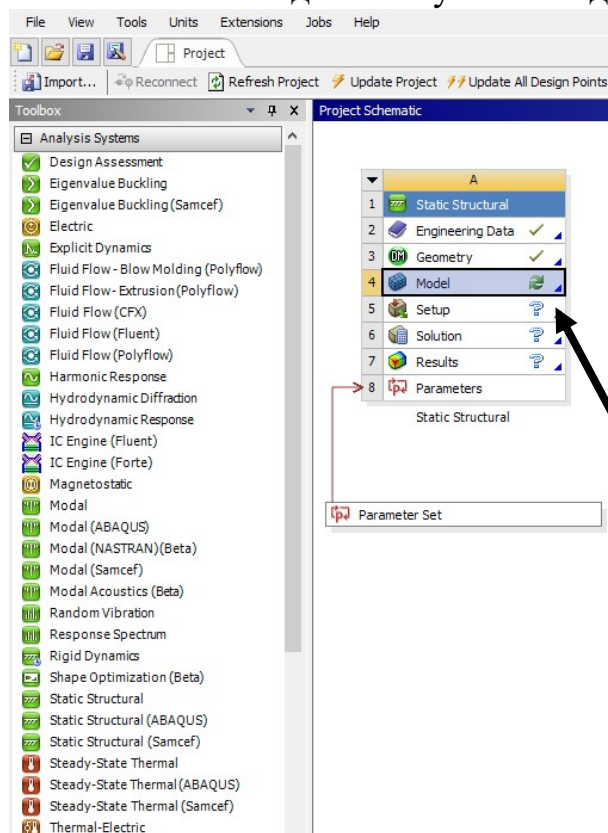


Рис. 1.61

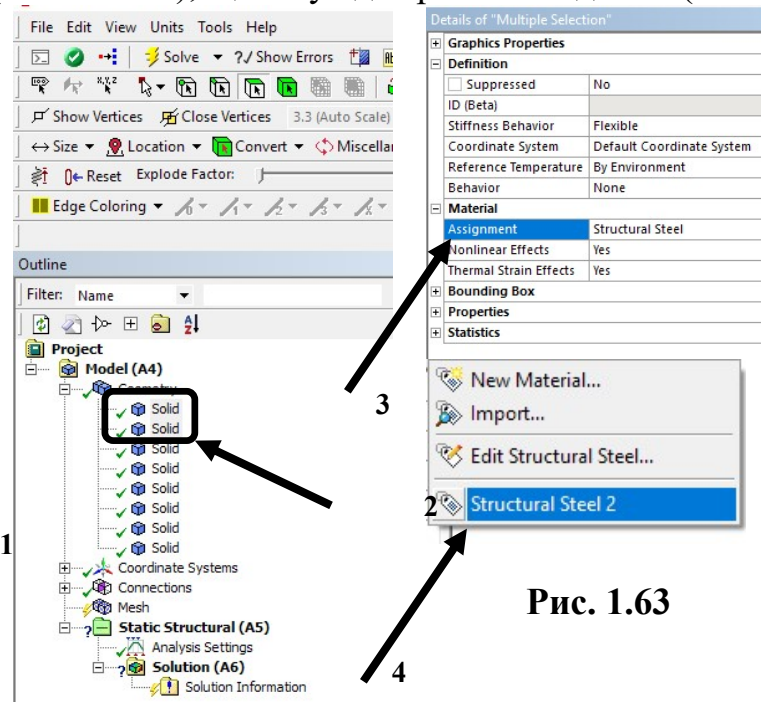


Рис. 1.62

Рис. 1.63



Рис. 1.64

- В открывшемся модуле также существует основное поле, дерево команд и параметров (Outline) и окно дополнительных опций (Details). По умолчанию всем телам присваивается материал (Structural Steel), который в нашем случае относится к стали с физически линейными свойствами. Выделив в списке тел колонну и балку (2), в окне дополнительных опций (Assignment) – (3) назначим им материал (Structural Steel2) – (4).

- Следующим этапом необходимо указать характеристики соединения элементов в дереве опций раздел (Connections) , (1) – рис. 1.65, в подразделе (Contacts) , (2) – рис.1.65. Существует несколько типов контактов (Bonded, No separation, Rough, Frictional, Frictionless).
- Контакты делятся на линейные (Bonded, No separation) и нелинейные (Rough, Frictional, Frictionless). Линейные контакты не требуют итеративного процесса расчета и могут моделировать жесткое соединение элементов между собой (Bonded) либо жесткое, но с небольшим проскальзыванием от действия сдвигающих усилий в зоне контакта (No separation).
- Контакт (Bonded) – жесткое соединение элементов между собой, например, сварка или жесткое равнопрочное склеивание деталей.
- Контакт (No separation) – жесткое соединение элементов между собой, но с возможностью проскальзывания в зоне контакта от сдвигающих усилий.
- Контакт (Rough) – нелинейный контакт, позволяющий моделировать резьбовое соединение или любое другое соединение, в котором осуществляется контактная передача сжимающих усилий и образуются зазоры между поверхностями контакта в зоне растягивающих усилий. Данный контакт не допускает скольжения элементов относительно друг друга вдоль контактной поверхности.
- Контакт (Frictional) – нелинейный контакт, который позволяет реальные неидеализированные условия контакта (скольжение, образование зазоров) Требуется указать коэффициент трения поверхностей контакта.
- Контакт (Frictionless) – нелинейный контакт, позволяющий образование зазоров и контактную передачу усилий при отсутствии трения между поверхностями.

- Выделив (используя Ctrl или Shift) все контакты в разделе – (3) в рассматриваемом примере, примем реальные условия контакта в разделе (Type) (Frictional) – 4.

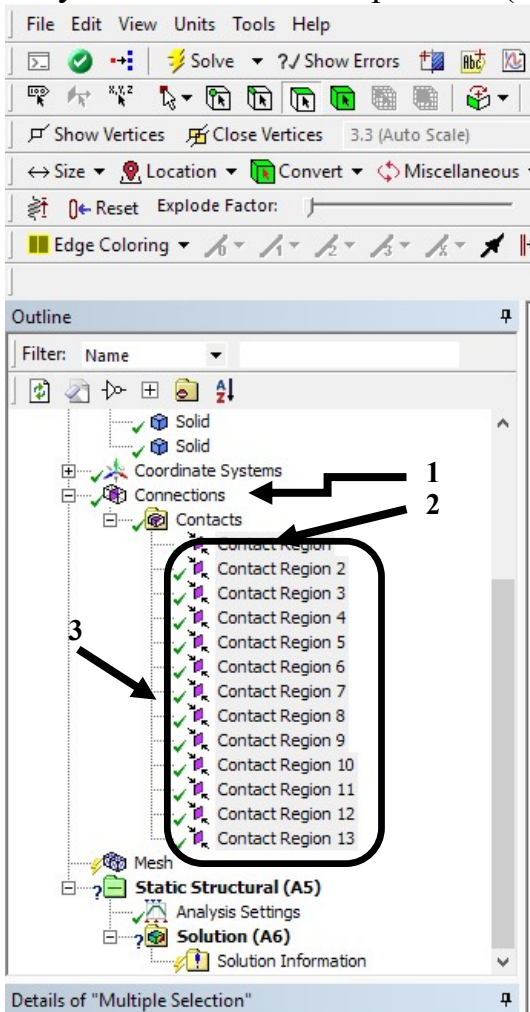


Рис. 1.65

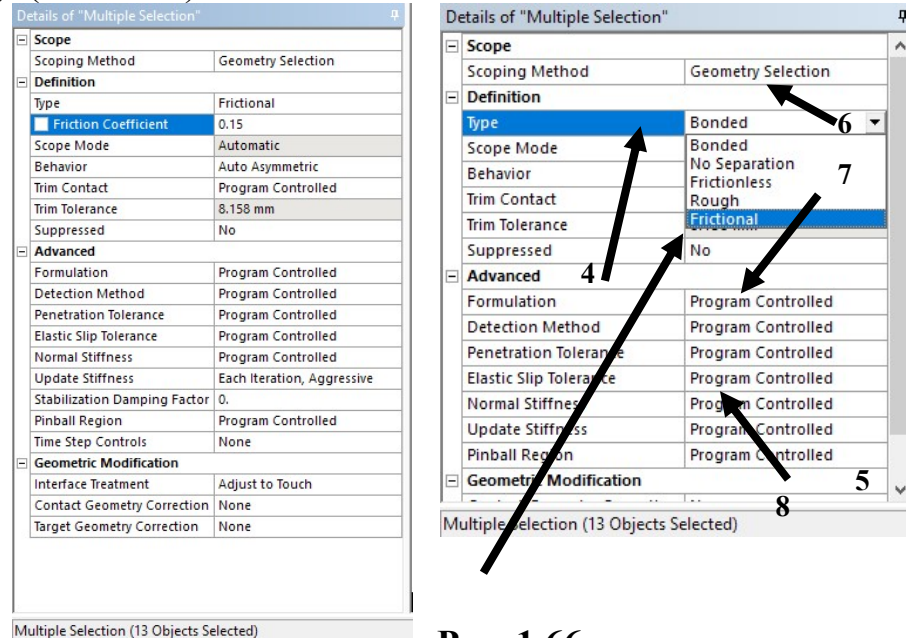


Рис. 1.66

В рассматриваемом примере примем реальные условия контакта (Frictional) – (5) с коэффициентом трения 0.15, со следующими настройками контакта: Behavior – Auto Asymmetric – (6), Update Stiffness – Each Iteration Aggressive – (7), Interface treatment – Adjust to Touch – (8).

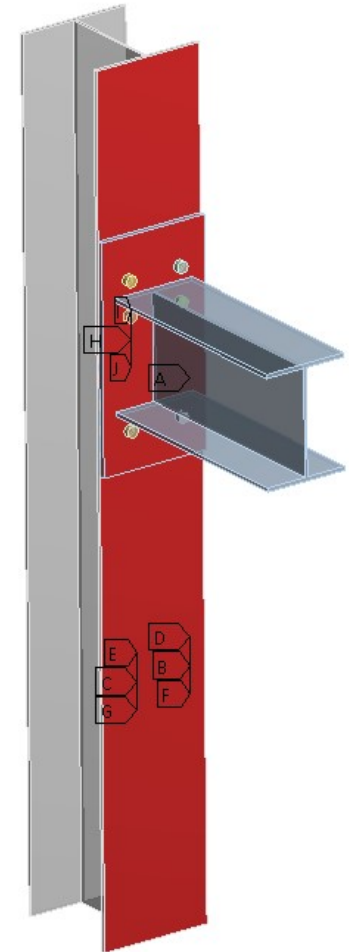


Рис. 1.67

- Следующий этап – разбивка на конечные элементы в разделе (Mesh) – (1), при этом для обеспечения сходимости расчета нелинейной задачи, уточним элементы в модели, которые будут иметь более подробную сетку конечных элементов, запустив команду (Refinement) – (5) в меню команды (Mesh Control) – (4), предварительно указав нужные грани – (3), выделив их рамкой – (2). Также командой (Contact sizing) – (6) улучшаем сетку в зоне контакта.

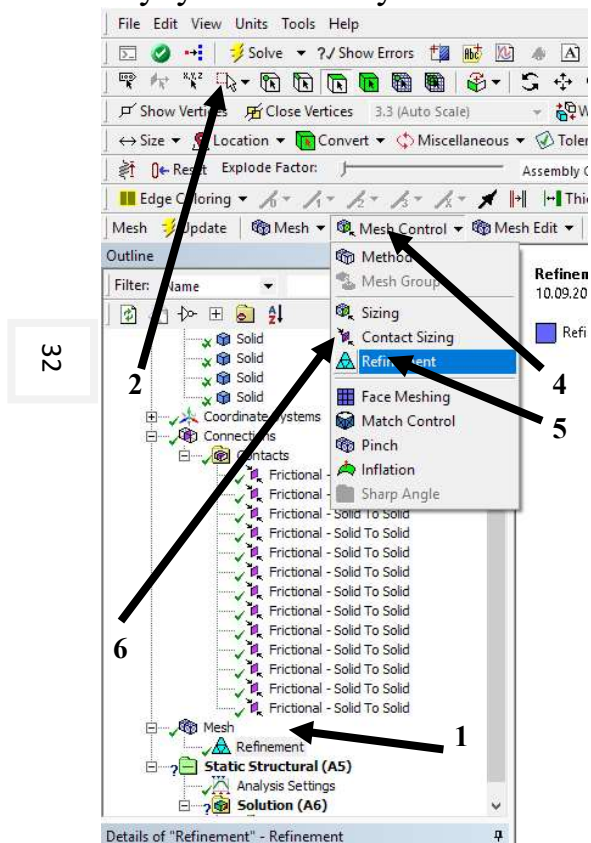


Рис. 1.68

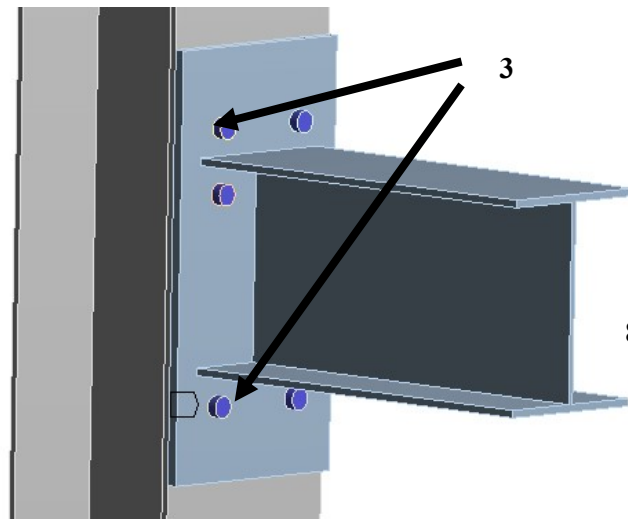


Рис. 1.69

Выбрав пункт (Contact Sizing) – (7), в меню контактов (Details) в выпадающем окне (8) выбираем контакт между гранями пластины и колонны и указываем размер в 30 мм (9). Таким образом получаем сетку конечных элементов, как представлено на рис.1.71.

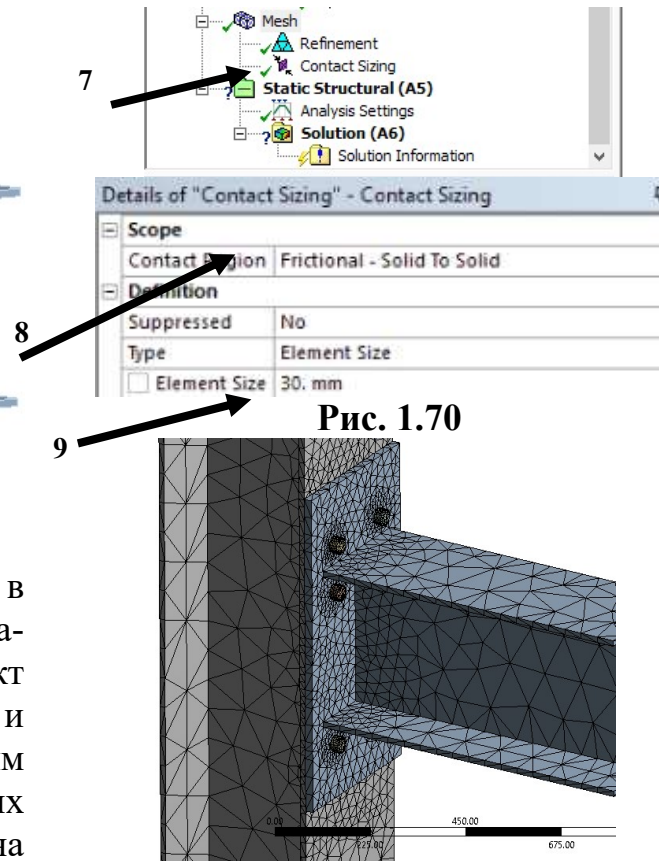


Рис. 1.71

- В дереве опций назначаем граничные условия на модель в разделе (Static Structural) – (1), командой (Supports) – (3) и выбором опции (Fixed Support) – (4), выбрав необходимые грани на модели – (2) (в нашем случае верхняя и нижняя грань колонны).

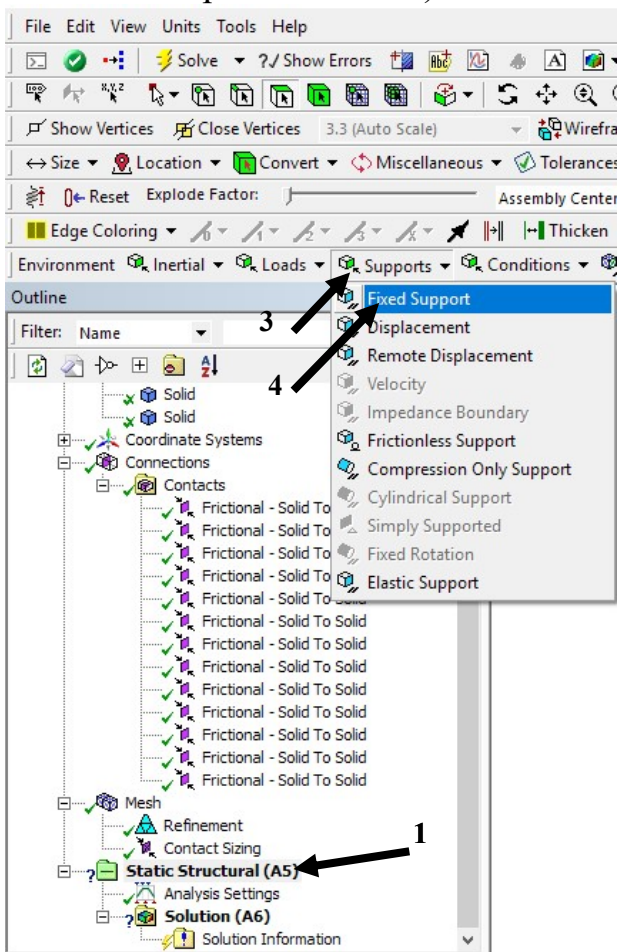


Рис. 1.72

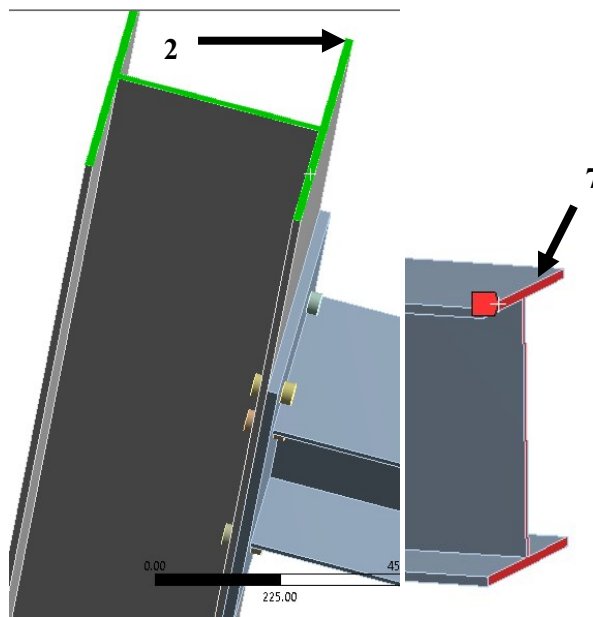


Рис. 1.73

В дереве опций в разделе (Static Structural) командой (loads) – (5) выбираем приложение нагрузки (Force) – (6) к балке, а именно в ее торец –(7), в разделе (Details) указываем величину усилия (Magnitude) – (8)

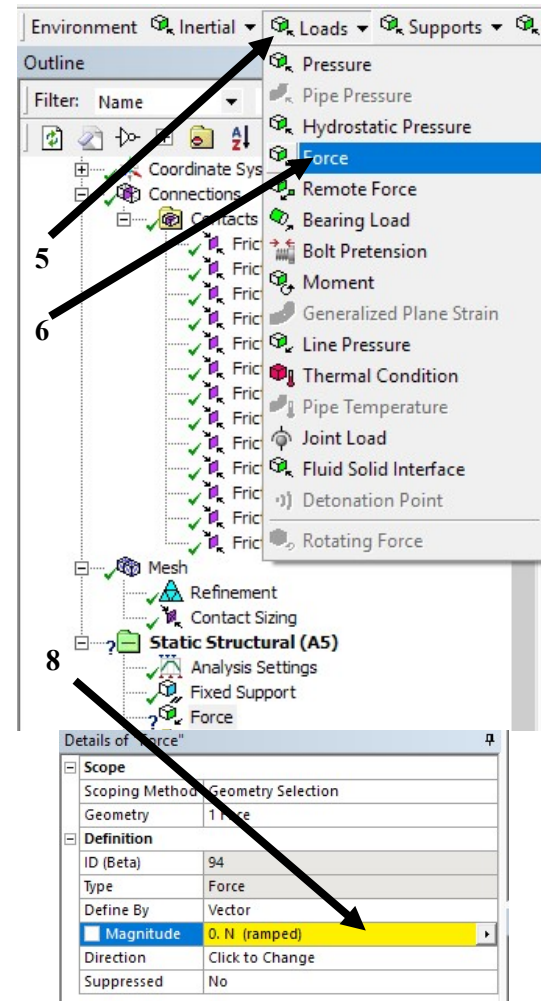
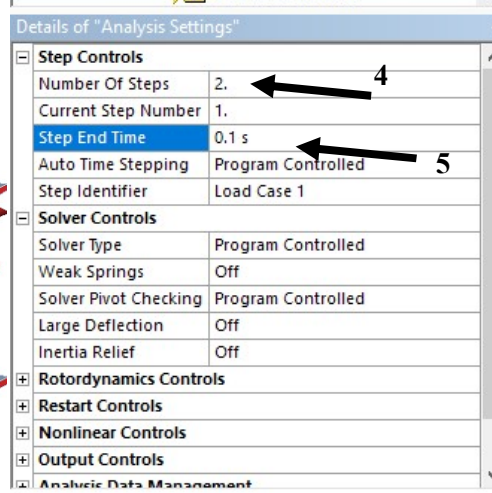
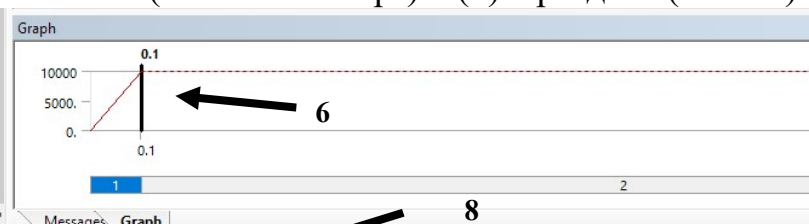
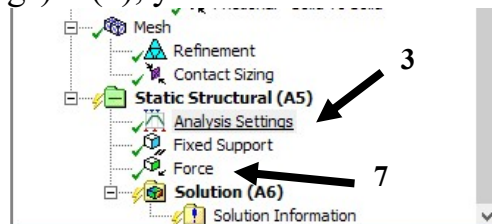
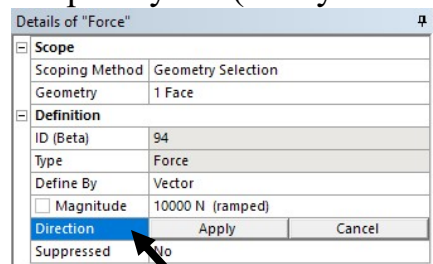


Рис. 1.74

- При выборе строки (force) в разделе (details view) можно указать направление действия силы (Direction) – (1), указав ребро стенки двутавра – (2). Для ускорения процесса сходимости расчета разделим расчет на два этапа, выбрав пункт (Analysis settings) – (3), указав число шагов – 2 в поле (Number of steps) – (4) в разделе (Details).



Steps	Time [s]	Force [N]
1	0.	0.
2	0.1	10000
3	2.	= 10000



34

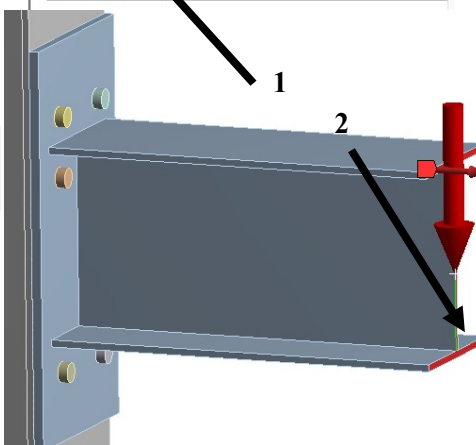


Рис. 1.75

Рис. 1.76

Рис. 1.77

- Длительность первого этапа (объем прилагаемой нагрузки) определим в 0.1 с – (5). При этом получится, что усилие прикладывается в течение только первого шага, т.е. 0.1 с – (6). Чтобы полное усилие прикладывалось в завершении второго шага, в разделе (Static Structural) выберем усилие (Force) – (7), а в разделе (Tabular Data) – (8) удалим значение силы (10) в строке напротив времени в 0.1 с – (9), воспользовавшись правой кнопкой мыши. После чего усилие прикладывается по возрастающей: от 0 до 2 с – (11).

- Выведем результаты, которые мы хотим увидеть после завершения решения в разделе (Solution) – (1), выбрав на панели инструментов команду (Deformation) – (2) для отображения общей деформации (Total) – (3)

35

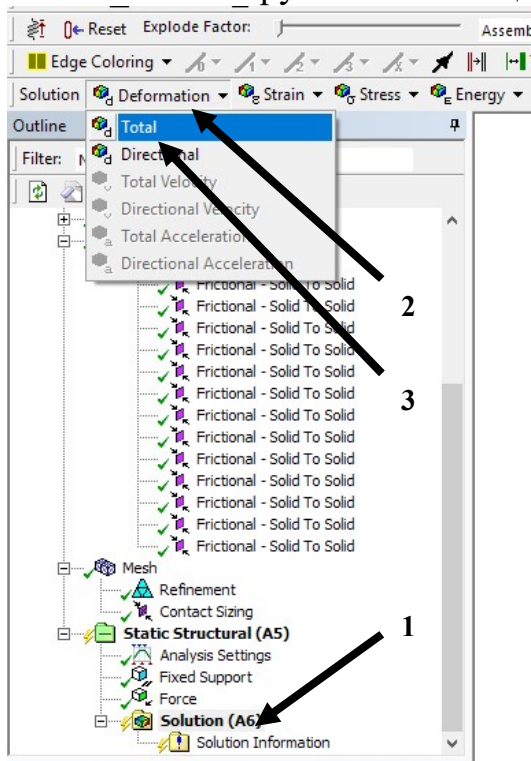


Рис. 1.78

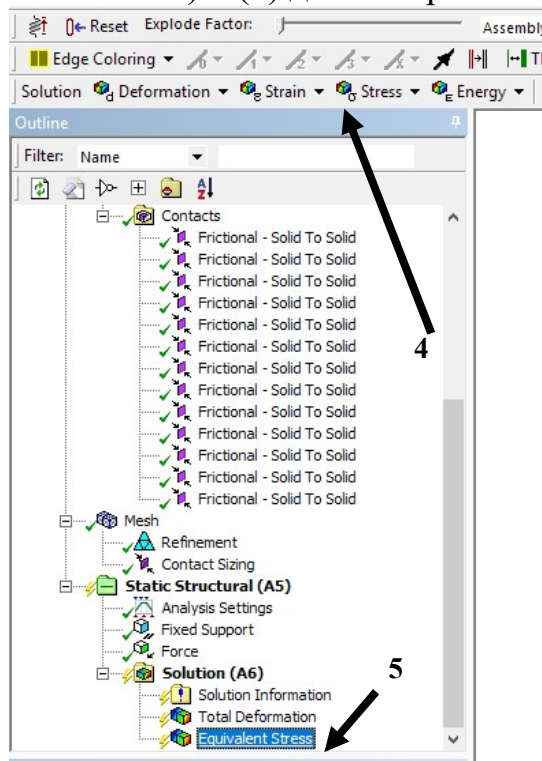


Рис. 1.79

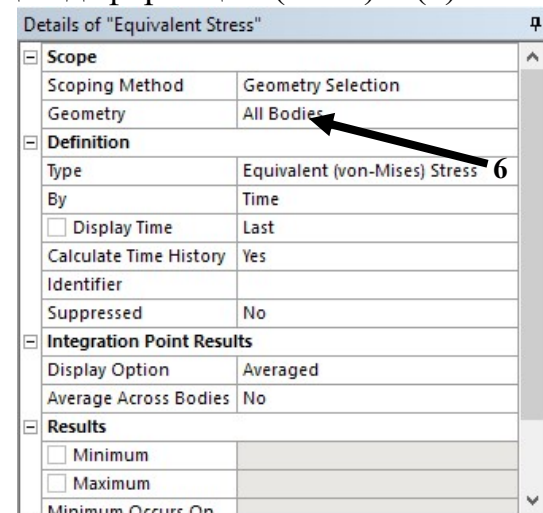


Рис. 1.80

и приведенные напряжения (Equivalent Stress) – (5) в меню команды (stress) – (4). В разделе (details) можно уточнить, для каких именно тел выводить информацию – (6), выделив их предварительно перед этим.

- Перед запуском расчета в разделе (Static Structural) выберем пункт меню настройки расчета (Analysis Settings) – (1), внутри него выберем пункт меню слабые ограничения (Weak Springs) – (2) для обеспечения стабильности расчета в режим (Program Controlled) – (3) и установим тип решателя на прямой (Direct) – (4).

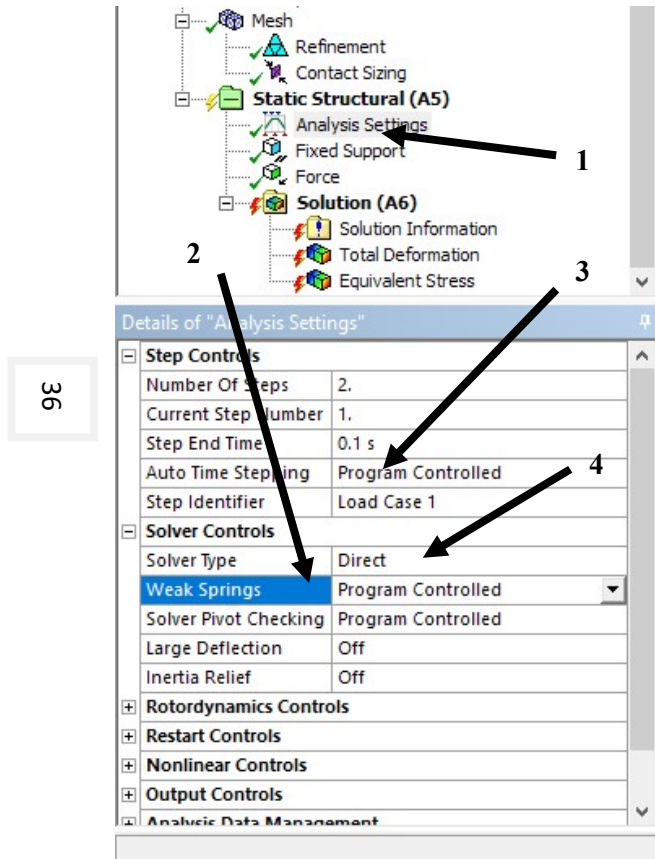


Рис. 1.81

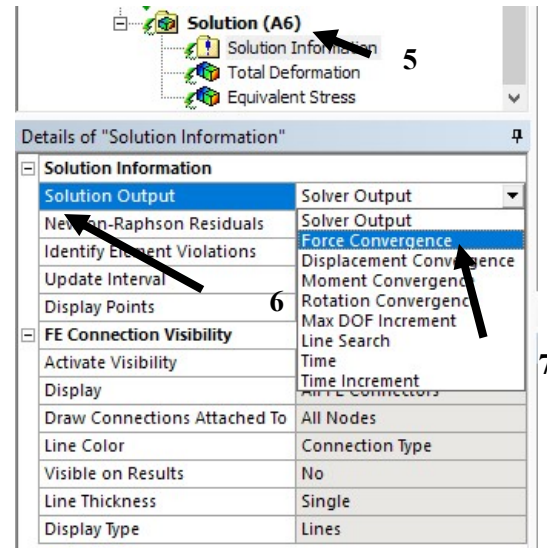


Рис. 1.82

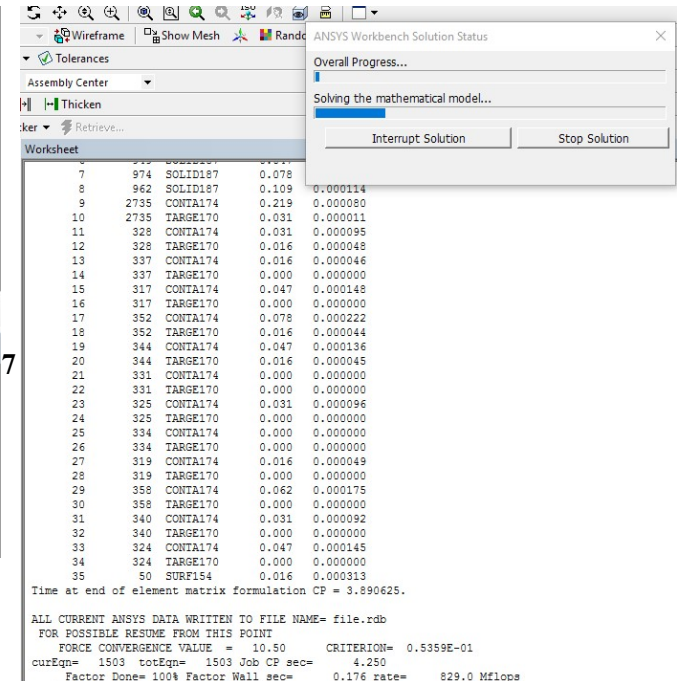


Рис. 1.83

- Запускаем расчет в разделе (Solution) – (5) , выбрав правой кнопкой мыши (Solve), и ставим в разделе (Solution Output)- (6). на отображение сходимости (Force Convergence) – (7).

- В режиме (Force Convergence) – (1) отображается сходимость расчета с критерием. Пересечение Линии (Force Convergence) – (2) с линией (Force Criterion) означает успешный прогресс в выполнении задачи. Успешно завершившийся расчет представлен ниже.

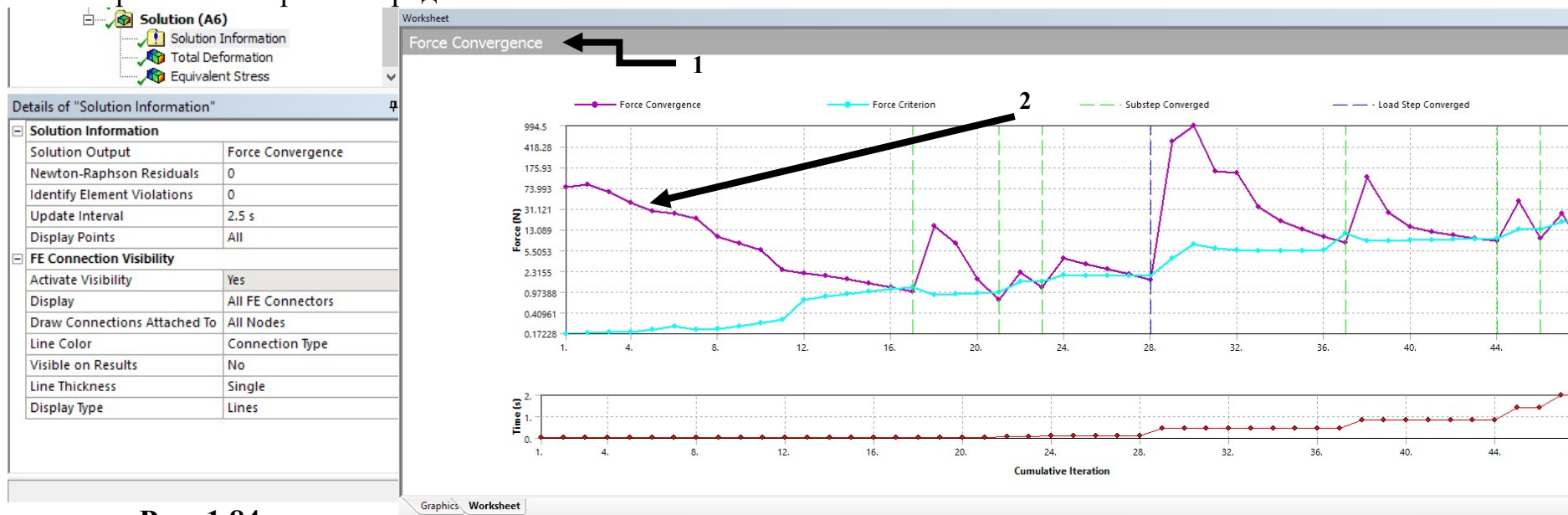


Рис. 1.84

Рис. 1.85

- Выбрав в разделе (Solution Information) Деформации (Total Deformations) – 1, можно оценить деформации. При этом видно, что образовались зазоры между колонной и балкой.

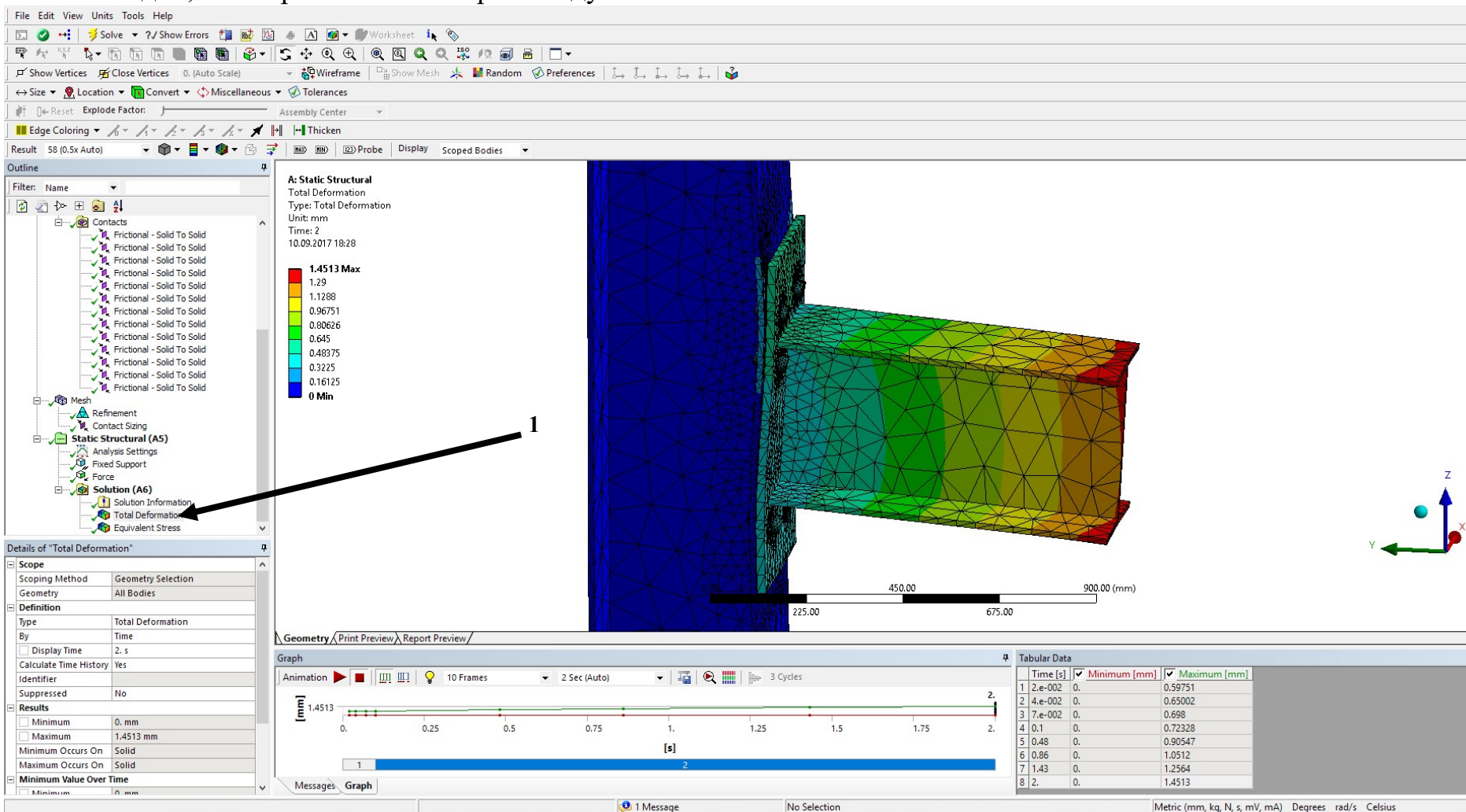


Рис. 1.86

- Выбрав в разделе (Solution Information) Эквивалентные напряжения (Equivalent Stress) – (1), можно оценить уровень напряжений.

39

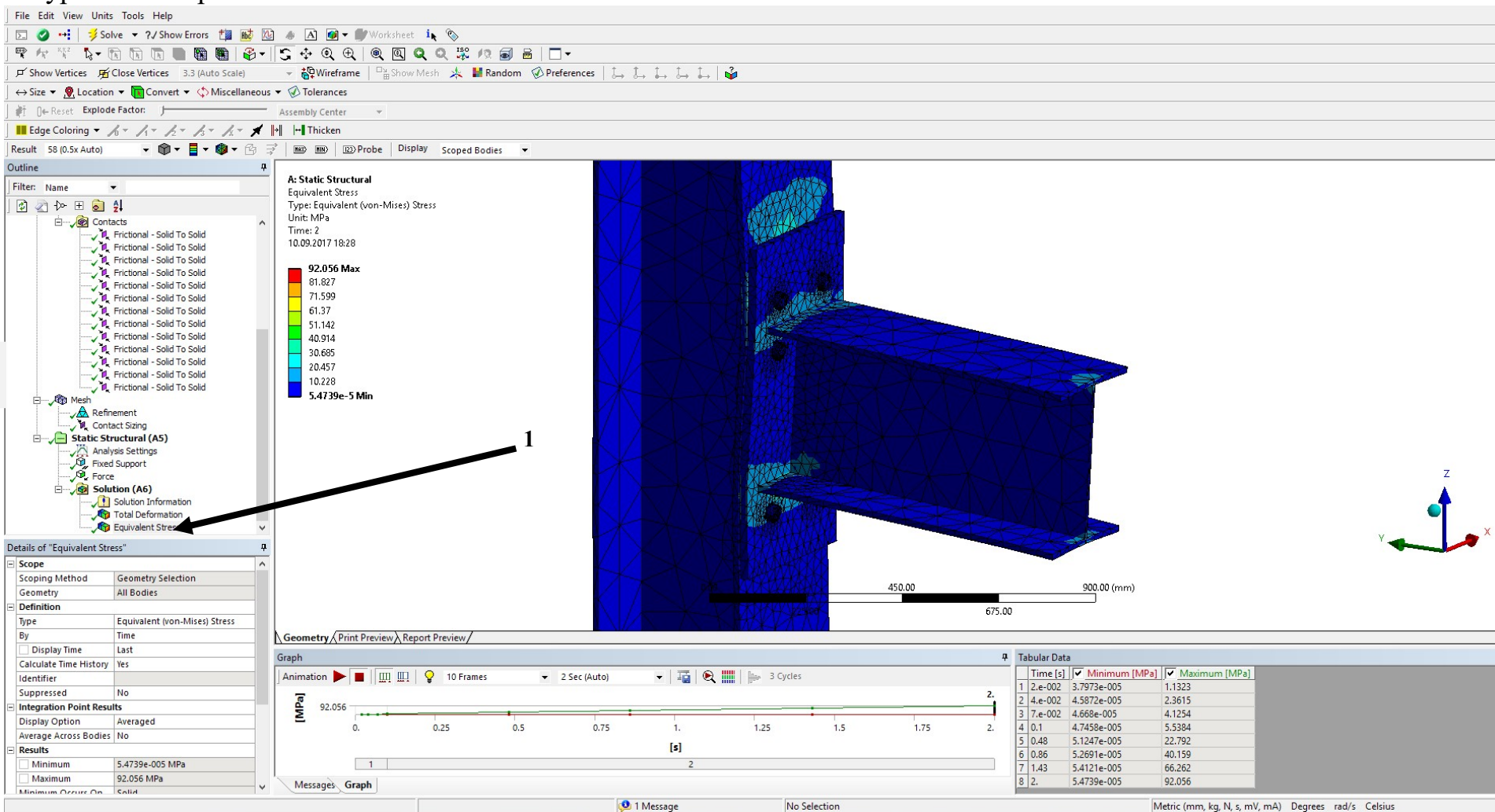


Рис. 1.87

2. РАСЧЕТ ЗДАНИЯ «ПИРАМИДА» В Г. КАЗАНИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL 2013

2.1. Геометрия пирамиды

Основные габаритные размеры пирамиды по плоскостям стеклопакетов:

сторона основания пирамиды (пролет конструкции) – 24750 мм,
высота пирамиды от основания – 12375 мм,
сторона одного стеклопакета – 974,3 мм,
сторона стеклопакета в одной ячейке несущего каркаса – 2922,9 мм,
отметка вершины пирамиды по остеклению – 31.61 м.

Общий вид здания показан на рис. 2.1, а конструктивная схема несущего каркаса граней – на рис. 2.2.



Рис. 2.1. Общий вид здания



Рис. 2.2. Конструктивная схема несущего каркаса граней

Размер основания пирамиды по осям пересечения стержней стального несущего каркаса составляет 23236,2 мм. Отметка опорных стоек в основании несущей стальной конструкции пирамиды – 18,96 м.

Основные размеры пирамиды по осям элементов стального каркаса на отметке 19,602.

Основание пирамиды – 23236,2x23236,2 мм.

Высота пирамиды – 11618,1 мм.

Длина диагонального ребра – 20568,1 мм.

Длина диагонали основания пирамиды – 20123,5 мм.

Высота треугольника (грани) от основания до вершины пирамиды – 16430,8 мм.

Отметка вершины пирамиды – +31,221 м.

2.2. Сбор нагрузок

Расчетная снеговая нагрузка равна

$$S = f S_0,$$

где $f = 0,5$ коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие;

$f = 1$ – коэффициент надежности по снеговой нагрузке ;

$S_0 = 240 \text{ кг/м}^2$ – вес снегового покрова для г. Казани;

$$S = 0,5 \times 1 \times 240 = 120 \text{ кг/м}^2;$$

Расчетная снеговая нагрузка на 1 м^2 равна 120 кг/м^2 ;

Ветровая нагрузка

Расчетная ветровая нагрузка

$$W_m = k_{(ze)} c_i W_0;$$

$$W_0 = 0,48 \text{ кПа};$$

$$ze = 31,22, k(ze) = 0,99;$$

$$W_m = 0,48 \times 0,99 = 0,48 \text{ кПа};$$

$$W_{m1} = 0,48 \times 0,48 \times 0,6 = 0,14 \text{ кПа};$$

$$W_{m2} = 0,48 \times 0,48 \times 0,2 = 0,05 \text{ кПа}.$$

Расчетный перепад температур

Нормативное значение перепада температур

$$\text{Теплое время } t_w = t_w - t_{oc};$$

здесь t_w – нормативное значение средней температуры в теплое время, равное:

$$t_w = t_{ef} + 1 + 4 = 260 + 80 + 100 = 440,$$

где t_{ef} – среднесуточная температура, равная:

$$t_{ef} = t_{VII} + VII = 200 + 60 = 260 .$$

Приращение средних температур равно:

$$1 = 80 \text{ (для металлических конструкций),}$$

$$4 = 0,05 S_{max} k k_1 = 0,05 \times 0,35 \times 817 \times 1 \times 0,7 = 100;$$

$S_{max} = 0,35$ – для двойного остекления;

$$S = 817 \text{ Вт/м}^2 \text{ – среднее суточное значение солнечной радиации;}$$

$k = 1$ – коэффициент, зависящий от ориентации поверхности;

$k_1 = 0,7$ – коэффициент, зависящий от материала.

Начальная температура, соответствующая замыканию конструкции в холодное время

$$t_{oc} = 0,2 \times t_{VII} + 0,8 \times t_1 = 0,2 \times 20 + 0,8 \times (-15) = -80^\circ\text{C}.$$

Расчетное значение перепада температуры

$$T = 1,1 (t_w) = 1,1 (44 + 8) = 570^\circ\text{C},$$

где 1,1 – коэффициент надежности по нагрузке.

Перепад температур в холодное время

$$t_c = t_c - t_{ow} = -16,8^\circ - 13^\circ = -29,8^\circ\text{C}.$$

Нормативное значение температуры по сечению элемента в холодное время равно:

$$t_c = t_{ic} + 0,6 (t_{ec} - t_{ic}) - 0,5 \times 2 = 18^\circ + 0,6 (-35^\circ - 18^\circ) - 0,5 \times 6^\circ = -16,8^\circ\text{C};$$

$$t_{ow} = 0,8 \times t_{VII} + 0,2 \times t_1 = 0,8 \times 20^\circ + 0,2 \times (-15^\circ) = 13^\circ\text{C}.$$

Расчетное значение перепада температуры в холодное время равно:

$$T_c = 1,1 (t_c) = -1,1 \times 29,8^\circ = -33^\circ\text{C}.$$

Расчетный перепад температур принимаем равным -33° .

2.3. Сравнение двух расчетных схем

В здании пирамиды прогоны уложены сверху по балкам, и в расчетной схеме это сложнее моделировать. Проще задать прогоны и балки в одной плоскости. Решено проверить, будут ли отличаться результаты расчета по 2 схемам:

- 1 схема – прогоны балки в одном уровне;
- 2 схема – прогоны опираются сверху на балки;

На рис.2.3 приведены усилия в элементах расчетной схемы по двум вариантам.

В табл. 2.1 приведены результаты расчета по двум схемам, которые показывают, что разница в нагруженных элементах составляет порядка 10%, а мало нагруженных элементов значительно больше.

Таблица 2.1

Усилие.	до смещения	после смещения	разница по модулю в кН.	разница в %.
F _x	16.00	14.94	1.06	-6.62
	-14.96	-13.69	1.27	-8.49
F _y	6.38	5.53	0.85	-13.32
	-7.65	-6.81	0.84	-10.98
M _x	0.34	0.76	0.42	123.53
	-0.43	-0.90	0.47	109.30

Таким образом, целесообразно в дальнейших расчетах использовать вторую, более сложную, схему опирания.

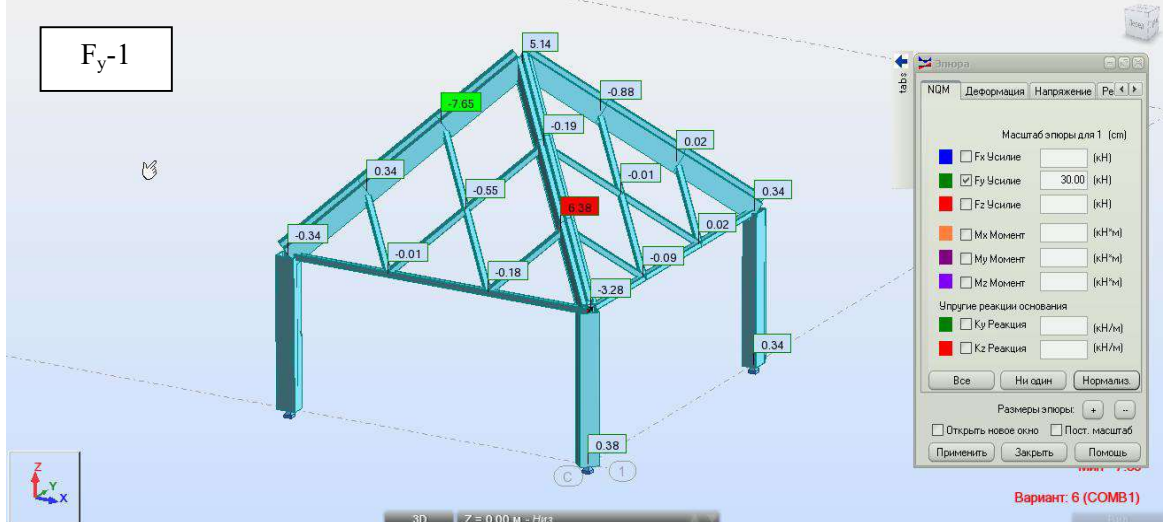
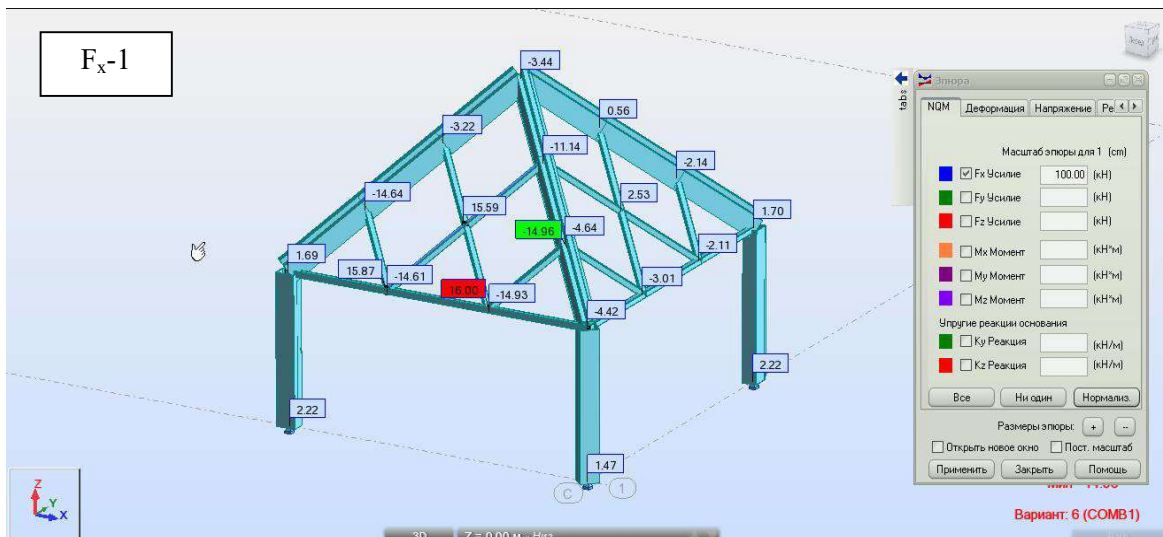


Рис. 2.3. Усилия в элементах по 2 схемам

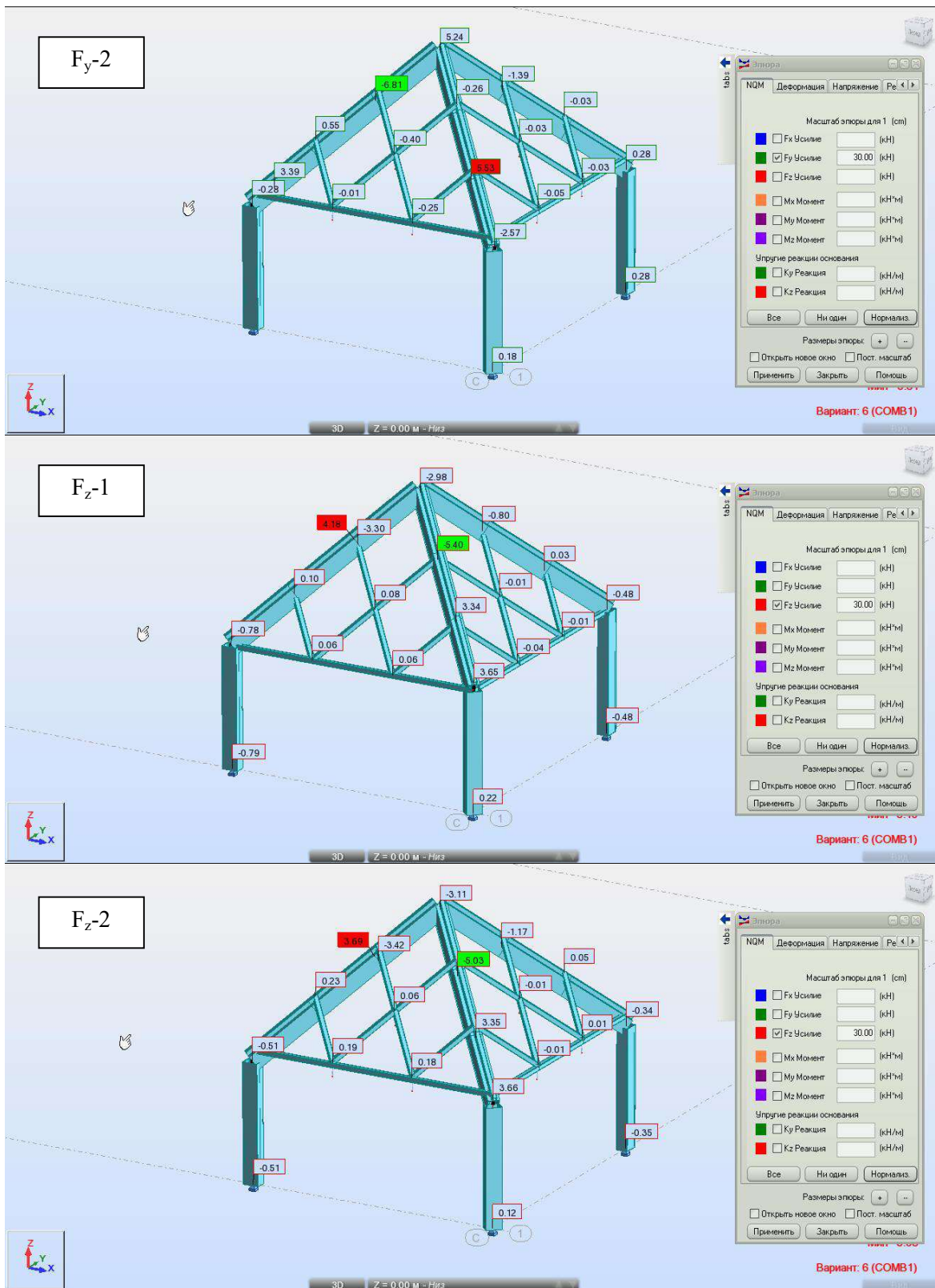


Рис. 2.4. Усилия в элементах по 2 схемам

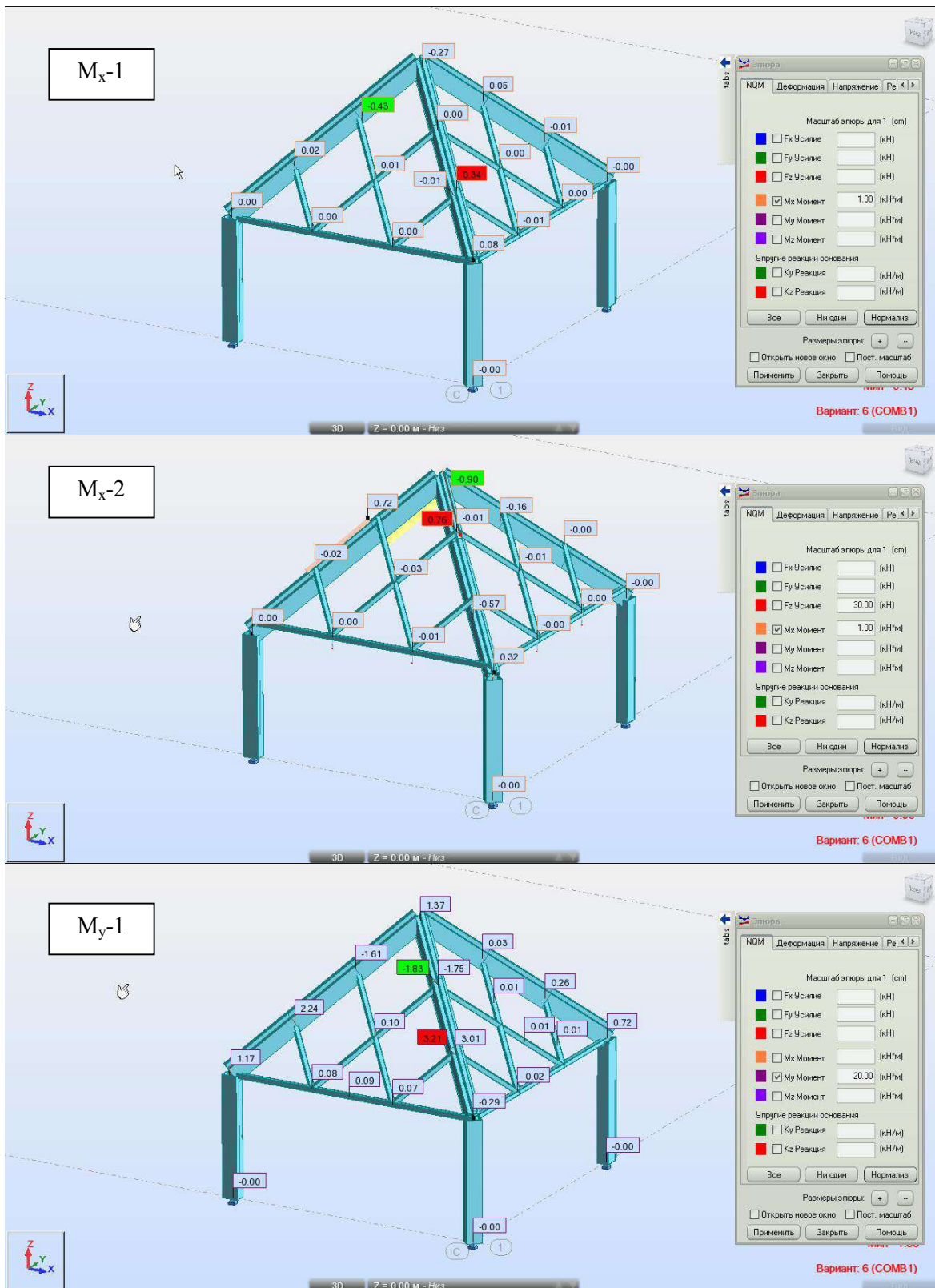


Рис. 2.5. Моменты в элементах по 2 схемам

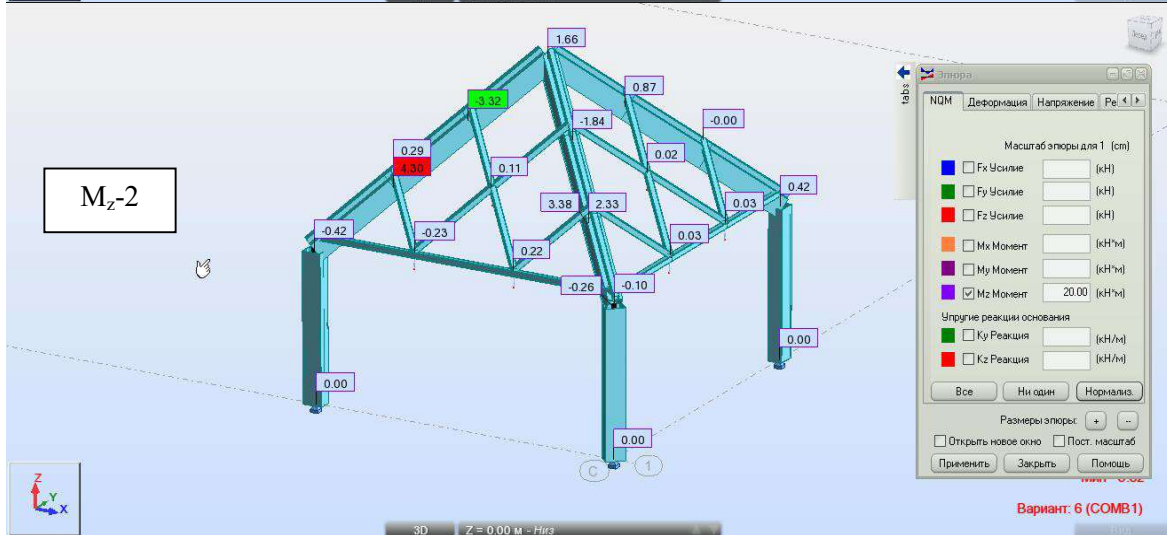
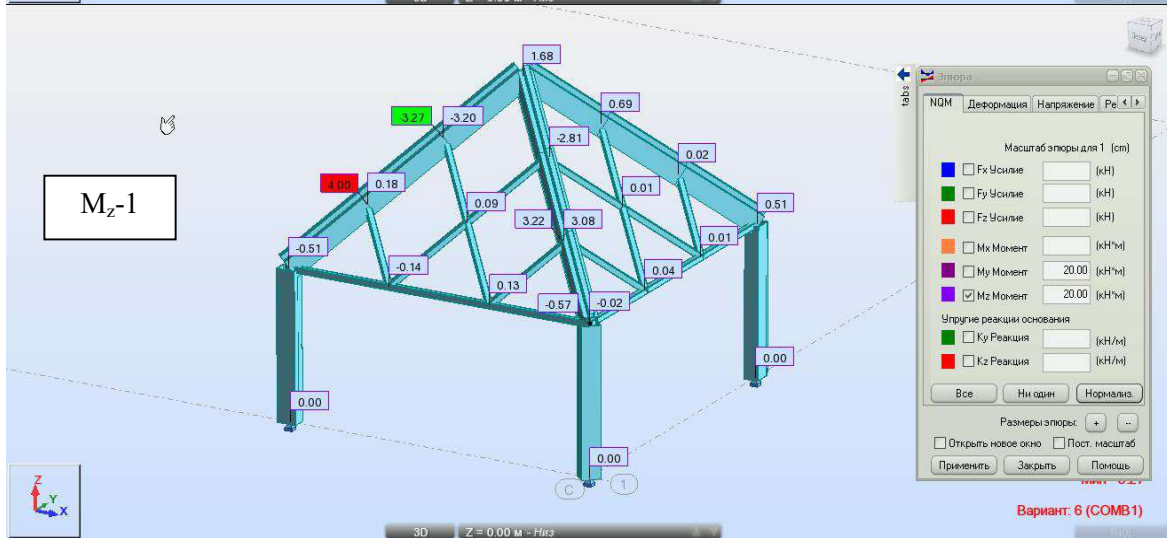
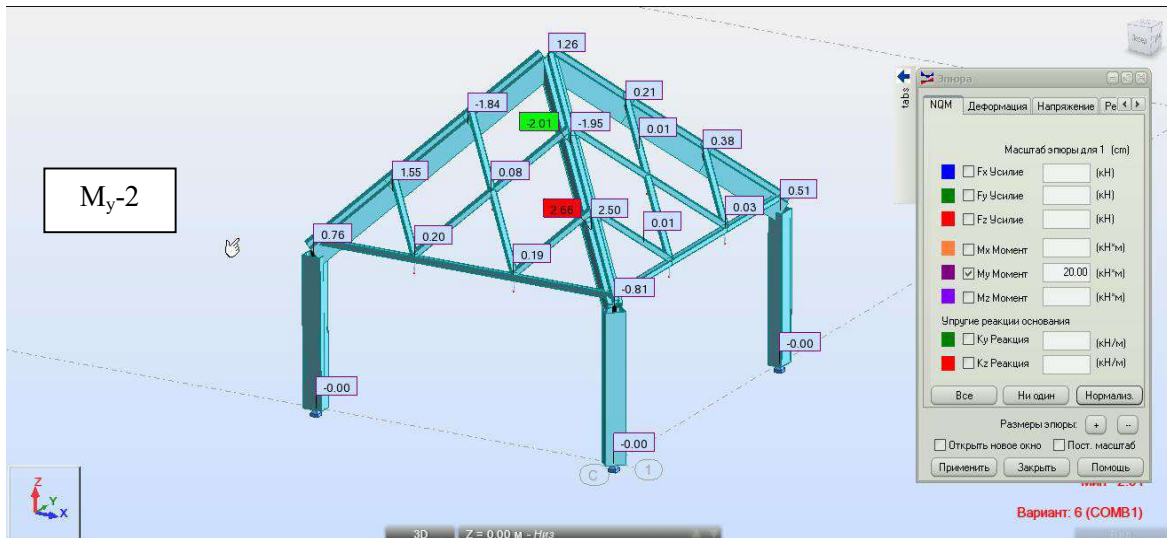


Рис. 2.6. Моменты в элементах по 2 схемам

2.4. Расчет влияния температуры

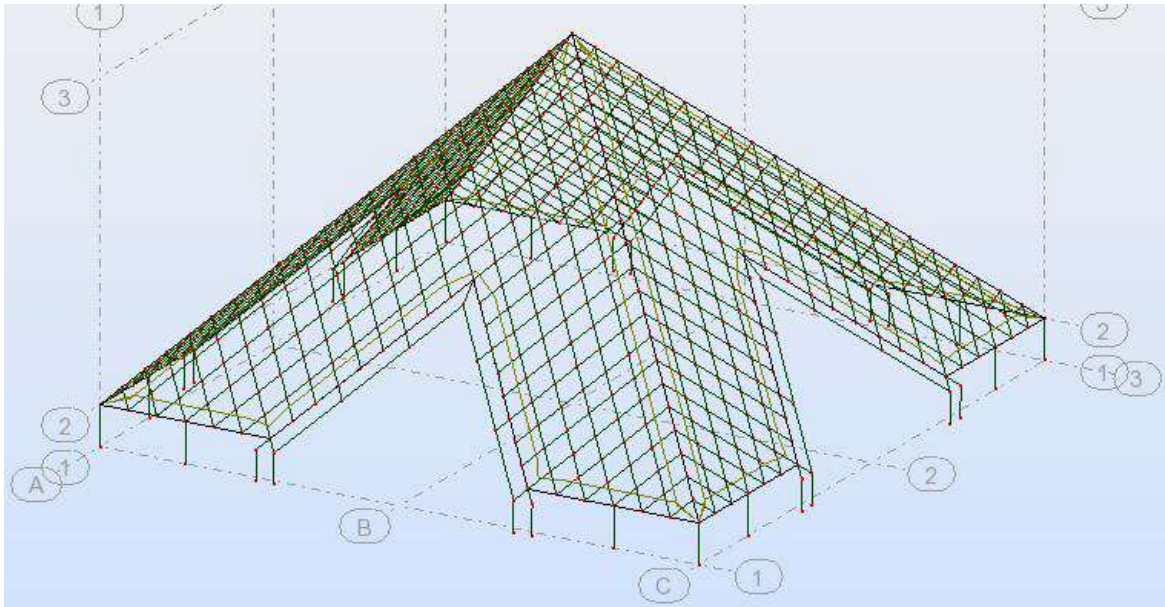


Рис. 2.7. Полная расчетная схема

Заданные нагрузки:

1. Собственный вес.
2. Ветер вдоль оси X.
3. Ветер вдоль оси Y.
4. Снег.
5. Температура +57 на прогоны передней поверхности пирамиды.
6. Температура +57 на прогоны правой поверхности.
7. Температура -33 на прогоны передней поверхности пирамиды.
8. Температура -33 на прогоны правой поверхности пирамиды.

Ручные сочетания:

1. Нагрузки № 1, 2, 4, 7.
2. Нагрузки № 1, 2, 5.
3. Нагрузки № 1, 2, 5, 6.

Последовательность расчета предполагала получение результатов на каждое загрузение отдельно, с тем, чтобы оценить вклад каждого в расчетное сочетание усилий (PCY).

Температурное воздействие моделировало реальное воздействие солнечной радиации в течение дня в двух вариантах:

- 1 – воздействие на 1 грань (рис. 2.8),
- 2 – воздействия на 2 грани (рис. 2.9).

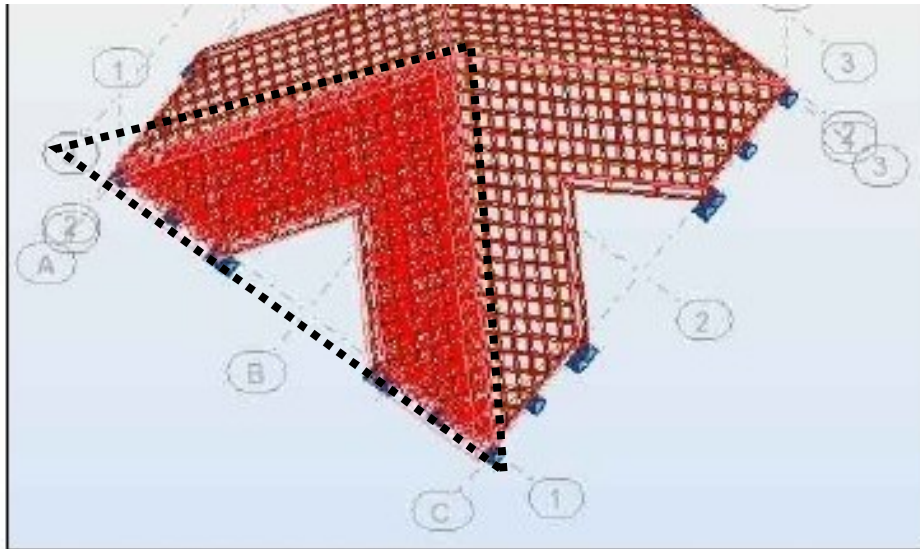


Рис. 2.8. Температура приложена только к одной грани

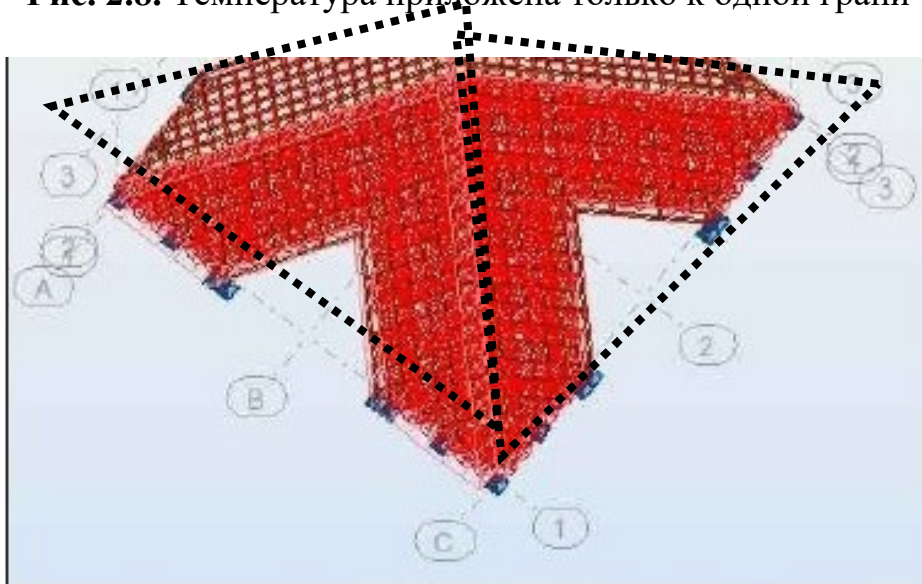


Рис. 2.9. Температура приложена к двум граням

Для анализа выделим несколько характерных зон и элементов, приведенных на рис. 2.10. Результаты расчета приведены в табличном виде.

Для сравнения результатов расчета и доли от температурных воздействий на рассмотренные стержни по двум расчетным схемам сведены в табл. 2.2.

Анализ результатов расчета показывает, что максимальное влияние температурные воздействия оказывают в плоскости грани пирамиды, а для мало нагруженных элементов оно достигает больших значений.

Таким образом, для таких систем, как пирамида, расчет на температурные воздействия требуется выполнять обязательно.

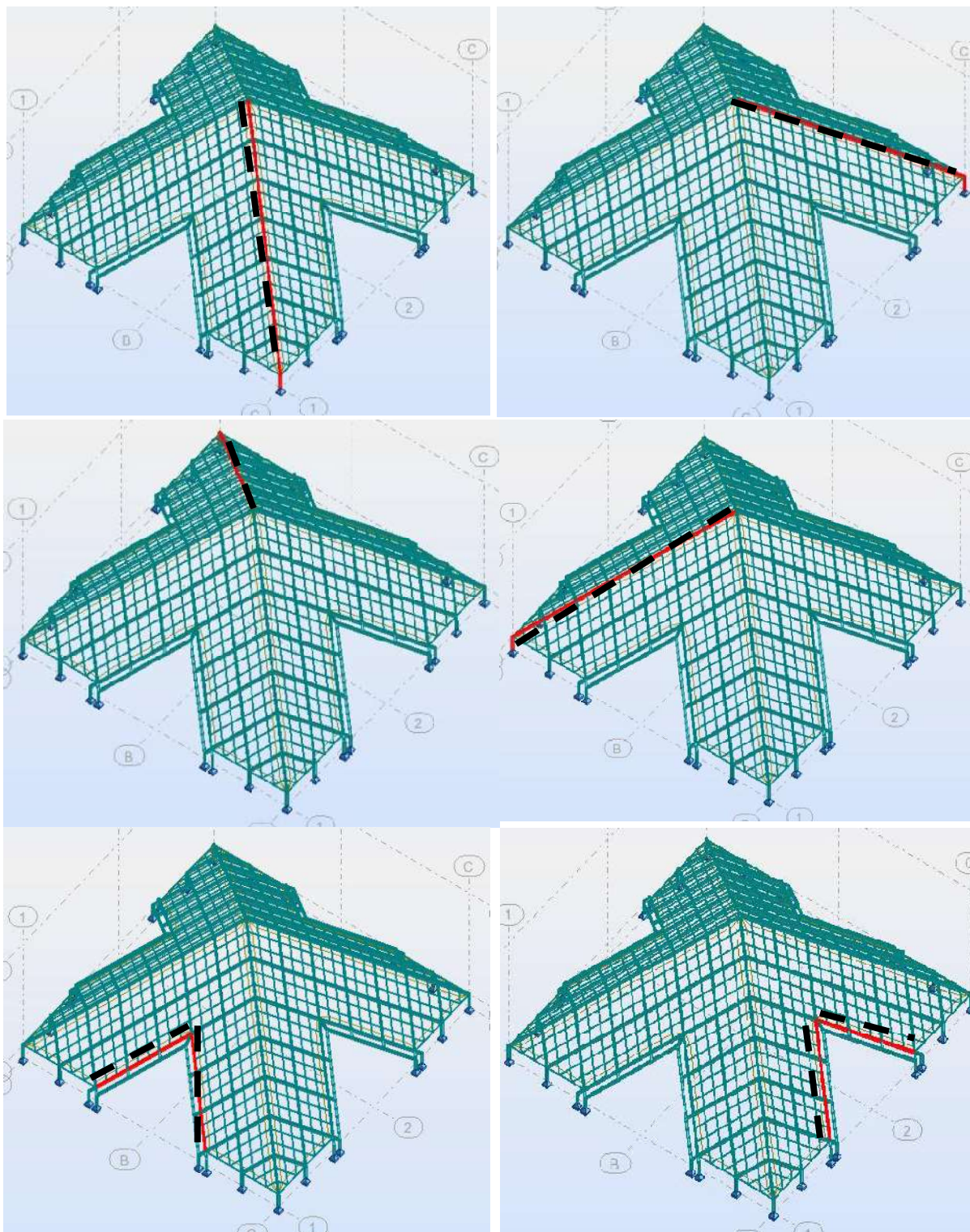


Рис. 2.10. Стержни, для которых были рассмотрены усилия

Таблица 2.2

Усилие.		С.в.+ветер.	С.в.+ветер+ температура на одну грань	Разница в%.	Разница по модулю.	С.в.+ветер+ температура на две грани.	Разница в%.	Разница по модулю.
F _x	1	16.43	12.41	-24.47	4.02	13.91	15.34	2.52
	2	16.21	12.18	-24.86	4.03	13.69	-15.55	2.59
F _y	1	2.80	30.56	991.43	27.76	33.83	1108.22	31.03
	2	2.80	30.56	991.43	27.76	33.83	1108.22	31.03
F _z	1	-5.58	-2.93	47.49	2.65	-4.88	-12.54	0.70
	2	-5.92	-3.28	44.59	2.64	-5.22	-11.82	0.70
M _x	1	1.14	2.03	78.07	0.89	2.41	111.41	1.27
	2	1.14	2.03	78.07	0.89	2.41	111.41	1.27
M _y	1	-5.86	-3.37	42.49	2.49	-4.33	-26.11	1.53
	2	-11.05	-7.21	34.75	3.84	-8.89	-20.09	2.16
M _z	1	-0.81	9.08	1020.99	9.89	10.45	1290.12	11.26
	2	-3.48	-20.02	475.29	16.54	-21.76	525.29	18.28
Напряжения ст 1339	1	8.64	148.19	1615.16	139.55	177.61	1955.67	168.97
	2	3.21	77.49	2314.02	74.28	59.20	1744.24	55.99
Напряжения ст 2658	1	23.76	11.92	-49.83	11.84	-1.07	-95.69	24.83
	2	37.92	18.79	-50.45	19.13	16.52	-56.43	21.40

2.5. Сварочные напряжения

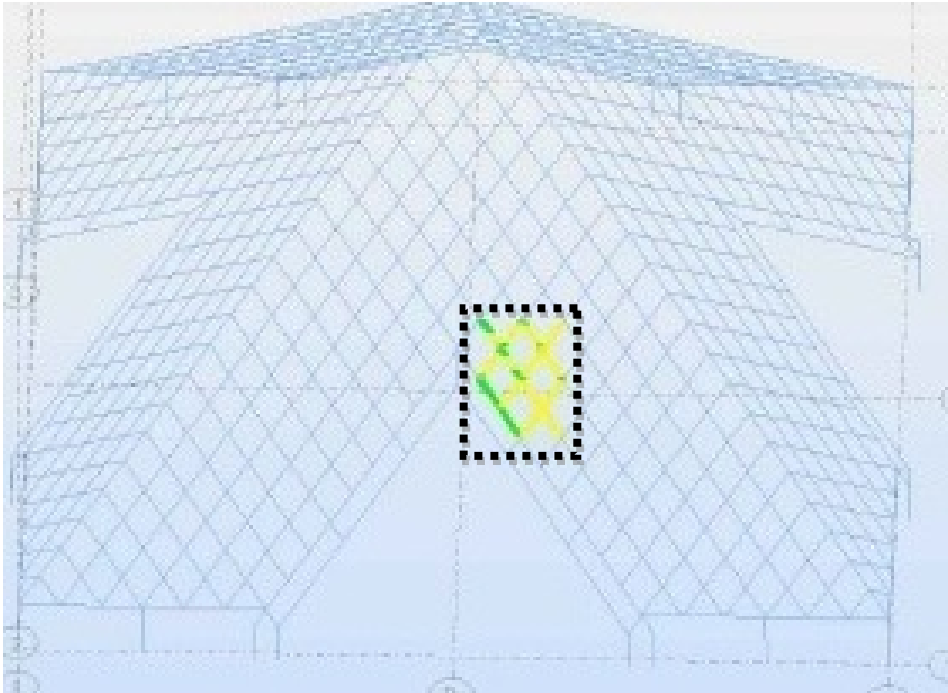
Рассмотрим наиболее характерные узлы здания пирамиды до и после сварки узла. Температура узла, в котором производилась сварка, задавалась на время окончания сварки. На рис.2.11 приведены поля напряжений узлов.

В табл. 2.3 приведены результаты расчета по характерным узлам пирамиды. Влияние сварочных напряжений составляет от 3% до 39% для различных узлов пирамиды. Следовательно, аварийные напряжения вносят меньший вклад, чем температурные напряжения, но их нужно учитывать при проектировании и разрабатывать специальную технологию сварки по их уменьшению.

Таблица 2.3

№	Процентное соотношение	Разница в кН.
1	1.39	2.70
2	1.09	1.46
3	1.32	3.70
4	0.97	1.82

а)



б)

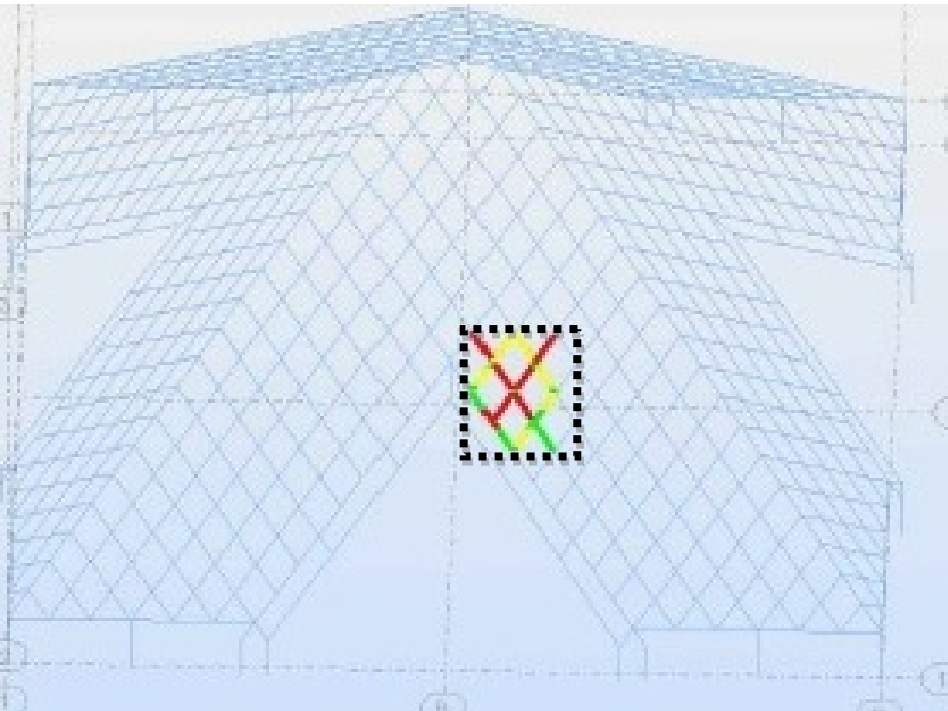
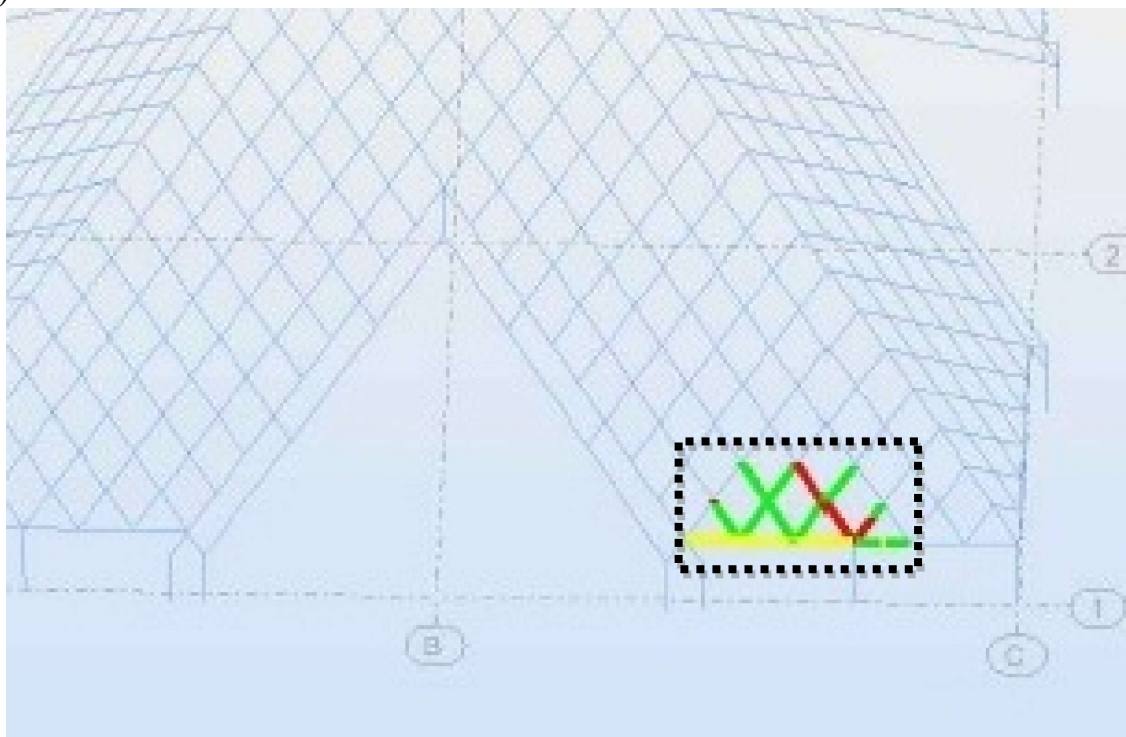


Рис. 2.11. Поля напряжений в узле 1: а) до и б) после сварки

а)



б)

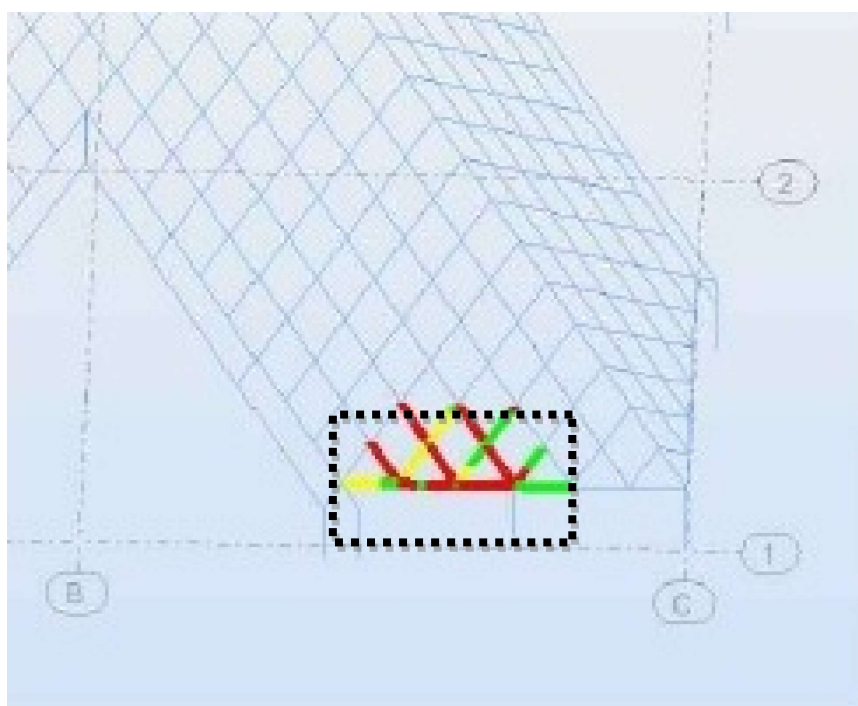
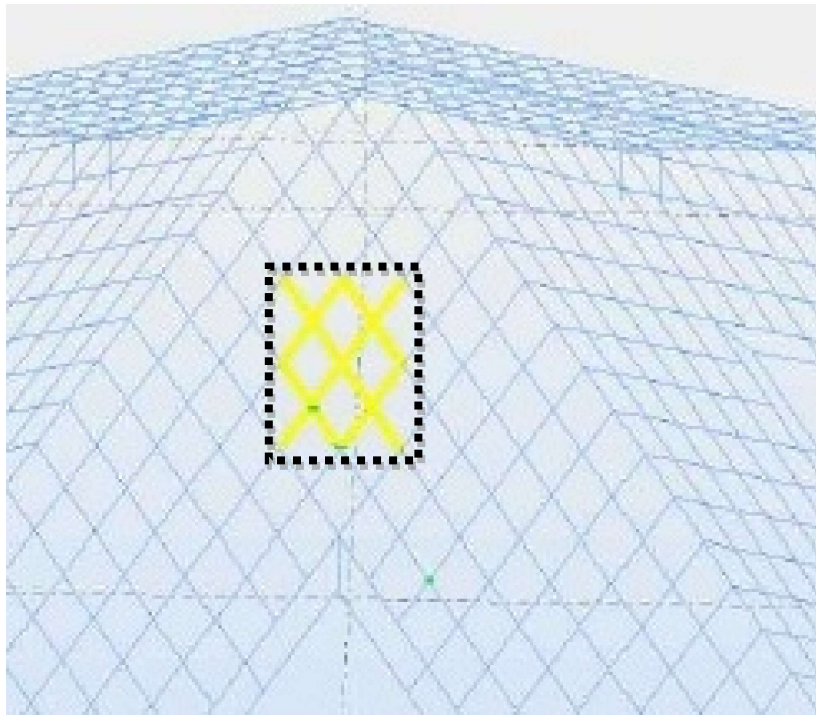


Рис. 2.12. Поля напряжений в узле 2: а) до и б) после сварки

а)



б)

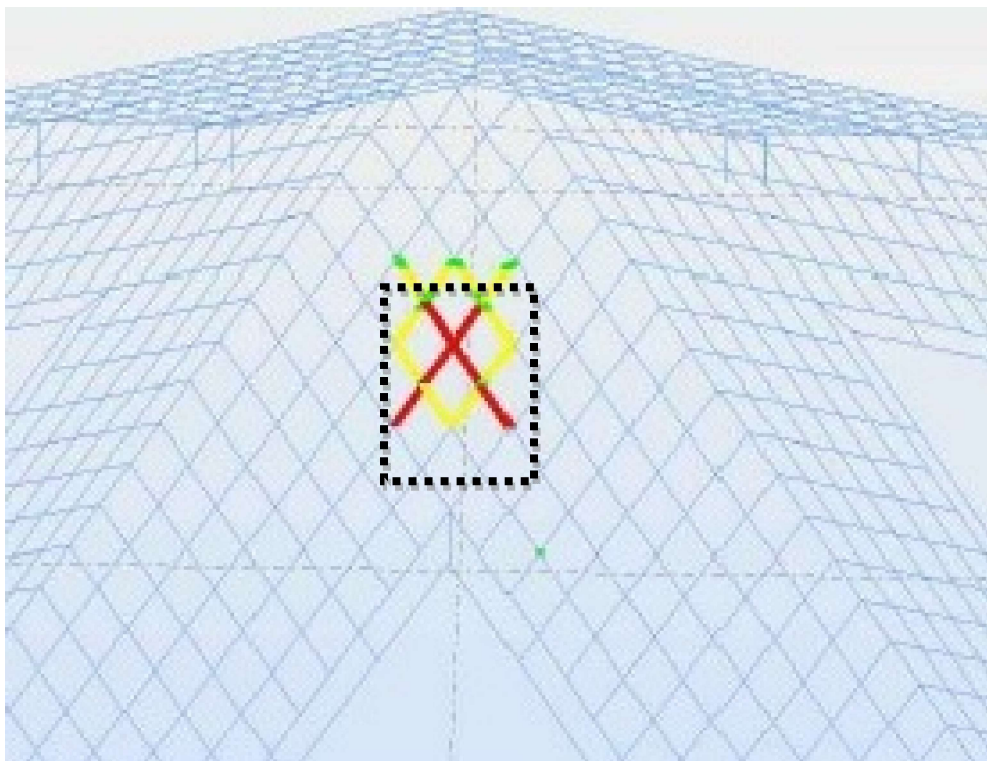
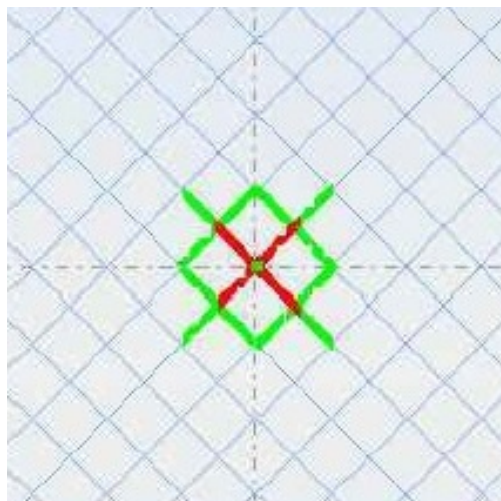


Рис. 2.13. Поля напряжений в узле 3: а) до и б) после сварки

а)



б)

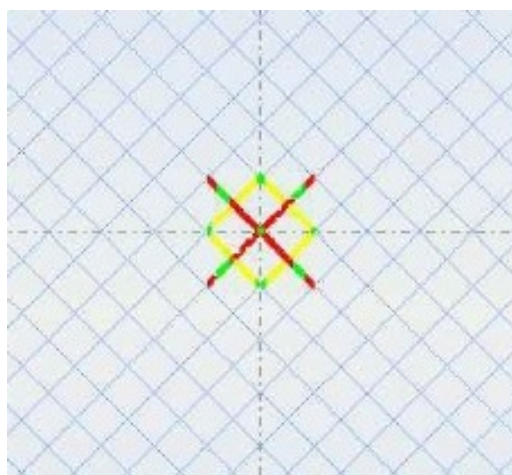


Рис. 2.14. Поля напряжений в узле 4: а) до и б) после сварки

Таблица 2.4

Узел 1					
Стержень		Узел		S max (МПа)	
1405	21	16.58	14.07	1.18	2.51
1405	344	28.52	13.29	2.15	15.23
1406	344	32.98	13.4	2.46	19.58
1406	345	14.63	16.47	0.89	-1.84
1450	345	16.13	11.15	1.45	4.98
1450	197	18.61	11.21	1.66	7.4
1451	197	1.26	13.25	0.10	-11.99
1451	210	1.88	11.84	0.16	-9.96
1475	210	1.72	12.01	0.14	-10.29
1475	217	1.15	13.25	0.09	-12.1
1476	217	14.74	9.59	1.54	5.15
1476	321	14.8	11.75	1.26	3.05

1517	321	3.36	5.6	0.60	-2.24
1517	322	20.95	6.65	3.15	14.3
1518	322	17.38	6.07	2.86	11.31
1518	21	13.56	5.42	2.50	8.14
Узел 2					
Стержень		Узел		S max (МПа)	
1753	16	-0.41	-0.14	2.93	-0.27
1753	352	4.09	-6.08	-0.67	10.17
1827	290	2.45	1.59	1.54	0.86
1827	571	0.75	1.84	0.41	-1.09
1828	571	-2.45	1.94	-1.26	-4.39
1828	352	-4.01	2.29	-1.75	-6.30
1843	329	8.94	3.38	2.64	5.56
1843	571	9.33	2.4	3.89	6.93
1881	14	18.54	11.38	1.63	7.16
1881	289	10.96	9.58	1.14	1.38
1882	289	10.97	9.63	1.14	1.34
1882	290	10.68	8.09	1.32	2.59
1962	289	1.52	2.6	0.58	-1.08
1962	591	5.36	3.33	1.61	2.03
1986	14	1.88	4.38	0.43	-2.50
1986	354	3.56	2.58	1.38	0.98
1380	192	13.53	7.19	1.88	6.34
1380	297	8.56	5.95	1.44	2.61
Узел 4					
Стержень		Узел		S max (МПа)	
290	397	1.39	2.44	0.57	1.05
290	976	-1.49	1.31	-1.14	2.8
297	401	-1.6	1.21	-1.32	2.81
297	397	1.22	2.26	0.54	1.04
686	560	2	2.42	0.83	0.42
686	401	-0.91	1.89	-0.48	2.8
693	243	-1.16	1.64	-0.71	2.8
693	560	1.71	2.15	0.80	0.44
709	393	4.39	0.84	5.23	3.55
709	401	3.58	3.29	1.09	0.29
1340	243	3.38	3.09	1.09	0.29
1340	244	4.3	0.75	5.73	3.55
1374	190	2	2.42	0.83	0.42
1374	318	-0.91	1.89	-0.48	2.8
1390	243	-1.17	1.64	-0.71	2.81
1390	190	1.7	2.15	0.79	0.45

1421	317	4.39	0.84	5.23	3.55
1421	318	3.58	3.29	1.09	0.29
2709	975	1.39	2.44	0.57	1.05
2709	976	-1.49	1.31	-1.14	2.8
2716	318	-1.59	1.21	-1.31	2.8
2716	975	1.22	2.26	0.54	1.04
2732	982	4.56	1.01	4.51	3.55
2732	976	3.6	3.31	1.09	0.29

3. РАСЧЕТ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ТЕРМИНАЛА 1А АЭРОПОРТА Г. КАЗАНИ НА ПК РОБОТ

3.1. Определение нагрузок

Таблица 3.1

Постоянная нагрузка

№ п/п	Наименование	Нормат. нагрузка (кг/м ²)	Кoeff. надежности по нагрузке	Расчетн. нагрузка (кг/м ²)
1	Покрытие на отметке +18,55м от массы покрытия	50	1.2	60
2	Покрытие на отметке +14,55м	25	1.2	30
3	Перекрытие на отметке +10,00м	28	1,3	36,4
4	Пол	150	1.3	195
5	Комбинированное перекрытие	350	1,1	385
6	Подвесной потолок	50	1,3	65
	Итого	578	-	681,4
	Перекрытие на отметке +5,08 м			
7	Архитектурный настил	100	1,3	130
8	Комбинированное перекрытие	350	1,1	385
9	Подвесной потолок	50	1,3	65
10	Внутренние перегородки	200	1,2	240
	Итого	700	-	820
	Ограждение по колоннам			
11	Остекление 0,02х2500	50	1,1	55
12	Каркас	7	1,05	7,35
	Итого	57	-	62,35
	Фасадная кровля по ферме			
13	Фасадная кровля	100	1,2	120
	Итого	100	-	120

Постоянная расчетная погонная нагрузка на прогоны покрытия:

$$g_1=601,65=99 \text{ кг/м}; g_2=601,8=108 \text{ кг/м}.$$

Постоянная расчетная сосредоточенная нагрузка от фасадной кровли в нижние узлы консолей ферм:

$$G_1=12063,2=2304 \text{ кг}; G_2=12063,2/2=1152 \text{ кг}.$$

Постоянная расчетная погонная нагрузка от ограждения на фасадные балки ФБ2 и ФБ3 по оси «А»:

$$g_1=62,356,133/2=191,2 \text{ кг/м};$$

$$g_2=62,35(6,133+5,417)/2=360,1 \text{ кг/м};$$

на фасадные балки ФБ2 по оси Г:

$$g_3=62,357,685/2=239,6 \text{ кг/м};$$

$$g_4=62,35(7,685+6,956)/2=456,4 \text{ кг/м};$$

на фасадные балки ФД1÷5 по оси 4 и 15 и в нижние узлы ферм:

$$g_5=1205,4/2=324 \text{ кг/м}; G_3=1203,2 \cdot (5,4/2+2,425)=1968 \text{ кг}.$$

Площадка в осях Б/1-В

Покрытие на отметке +14,55 м

Постоянная расчетная погонная нагрузка от покрытия на отметке +14,55 м

на поперечные балки

$$g=304=120 \text{ кг/м}.$$

Перекрытие на отметке +10,0м

Постоянная расчетная погонная нагрузка от покрытия на отметке +10,0м

на поперечные балки и ригели

$$g=681,44=2725,6 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели между осями А и Б1/14-15

$$g=681,4(3,7+0,3)/2=1362,8 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели по оси В и между В и В2

$$g=681,4(2+0,35)/2=801 \text{ кг/м}$$

Перекрытие на отметке +5,08 м

Постоянная расчетная погонная нагрузка от перекрытия на поперечные балки и ригели

$$g=8204=3280 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели по оси Б/1 и между Б/1 и А (5-14)

$$g=820(3,85+0,35)/2=1722 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели по оси Б/1 и между Б/1 и А (14-15)

$$g=820(3,775+0,15)/2=1609,25 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели около оси В и между В и В2

$$g=820(0,85+0,35)/2=492 \text{ кг/м}.$$

Постоянная расчетная погонная нагрузка от ограждения на крайние балки с полосы бм

$$g=706=420 \text{ кг/м}.$$

Площадка в осях В-Г/1

Покрытие на отметке +5,00м в осях 7-9/В/2-Г/1

Постоянная расчетная погонная нагрузка от перекрытия на балки и ригели

$$g=8202,125/2=871,25 \text{ кг/м};$$

$$g=820(2,125+3,75)/2=2408,75 \text{ кг/м};$$

$$g=8203,75=3075 \text{ кг/м};$$

$$g=820(3,75+3,825)/2=3105,8 \text{ кг/м};$$

$$g=8203,825=3136,5 \text{ кг/м};$$

$$g=8203,825/2=1568,25 \text{ кг/м};$$

$$g=8203,05/2=1250,5 \text{ кг/м};$$

$$g=820(3,05+3,015)/2=2486,65 \text{ кг/м};$$

$$g=820(3,015+2,405)/2=2222,22 \text{ кг/м};$$

$$g=820(2,405+2,93)/2=2187,35 \text{ кг/м};$$

$$g=8202,93/2=1201,3 \text{ кг/м}.$$

Лестница:

$$G1=3001,1(2,61/2) (1,75/2)=376,8 \text{ кг};$$

$$G2=188,4 \text{ кг}$$

Покрытие на отметке +5,08м в осях 11-13/В/2-Г/1

Постоянная расчетная погонная нагрузка от перекрытия на балки и ригели

$$g=8202,125/2=871,25 \text{ кг/м};$$

$$g=820(2,125+3,25)/2=2203,75 \text{ кг/м}$$

$$g=8202,74/2=1123,4 \text{ кг/м};$$

$$g=820(2,74+3,25)/2=2455,9 \text{ кг/м};$$

$$g=8203,25=2665 \text{ кг/м};$$

$$g=820(3,25+2,9)/2=2521,5 \text{ кг/м}$$

$$g=820(2,9+2,85)/2=2357,5 \text{ кг/м};$$

$$g=8202,9/2=1189 \text{ кг/м}.$$

Лестница:

$$G3=3001,1(6,0/2) (2,0/2)=990 \text{ кг};$$

$$G4=495 \text{ кг}.$$

Временная нагрузка:

в офисах и канцеляриях – $300 \text{ кг/м}^2 (f=1,2)$;

в коридорах, лестницах и фиксированных посадочных трапах – $400 \text{ кг/м}^2 (f=1,2)$;

в магазинах розничной торговли – 400 кг/м^2 ; (п. 4 г – 400 кг/м^2);

в ресторанах, барах, столовых – 300 кг/м^2 ; (п. 4 б – 300 кг/м^2);

в залах ожидания и в зонах для чекирования – 400 кг/м^2 ;

(п. 4 в – 400 кг/м^2);

балконы (лоджии) с учетом нагрузки:

полосовой равномерной на участке шириной 0,8 м вдоль ограждения балкона (лоджии) – $4,0 (400 \text{ кг/м}^2)$;

сплошной равномерной на площади балкона (лоджии), воздействие которой не благоприятнее, чем определяемое по поз. 10 а – 2,0 (200 кг/м²).

Временная нагрузка на отметке +14,4 м – 50 кг/м²)

Равномерно распределенная временная нагрузка на перекрытие в помещениях серверных на отметке +5,00м отсутствует.

Площадка в осях Б/1-В

Покрытие встройки на отметке +14,4м

Полезная расчетная погонная нагрузка на поперечные балки
 $g=501,34=260$ кг/м.

Перекрытие на отметке +5,08 м

Полезная расчетная погонная нагрузка на поперечные балки

$p=3001,240,933=1344$ кг/м;

$p=3001,240,933/2=671,8$ кг/м

$p=4001,240,933=1791,4$ кг/м;

$p=(400+300)1,240,933/2=1567,5$ кг/м.

на продольные ригели по оси Б/1 и между Б1 и БА

$p=3001,2(3,85+0,35)0,933/2=705,4$ кг/м;

$p=4001,2(3,85+0,35)0,933/2=940,5$ кг/м;

$p=3001,2(3,775+0,15)0,933/2=659,2$ кг/м;

на продольные ригели около оси В и между В и В2

$p=3001,2(0,85+0,35)0,933/2=201,5$ кг/м;

$p=4001,2(0,85+0,35)0,933/2=268,7$ кг/м;

Площадка осей В-Г/1

Покрытие на отметке +5,08м в осях 7-9/В/2-Г/1

Полезная расчетная погонная нагрузка на перекрытие на балки и ригели

$p=4001,22,125/2=510$ кг/м;

$p=4001,2(2,125+3,75)/2=1410$ кг/м;

$p=4001,23,75=1800$ кг/м;

$p=4001,2(3,75+3,825)/2=1818$ кг/м;

$p=4001,23,825=1836$ кг/м;

$p=4001,23,825/2=918$ кг/м;

$p=4001,23,05/2=732$ кг/м;

$p=4001,2(3,05+3,015)/2=1455,6$ кг/м;

$p=4001,2(3,015+2,405)/2=1300,8$ кг/м;

$p=4001,2(2,405+2,93)/2=1280,4$ кг/м;

$p=4001,22,93/2=703,2$ кг/м.

Лестница:

$P1=4001,2(2,61/2) (1,75/2)=548,1$ кг;

$P2=274,05$ кг

Покрытие на отметке +5,08м в осях 11-13/В/2-Г/1

Полезная расчетная погонная нагрузка на перекрытие на балки и ригели

$$p=4001,22,125/2=510 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,2(2,125+3,25)/2=1290 \text{ кг/м}$$

$$p=4001,22,74/2=657,6 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,2(2,74+3,25)/2=1437,6 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,23,25=1560 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,2(3,25+2,9)/2=1476 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,2(2,9+2,85)/2=1380 \text{ кг/м};$$

$$p=4001,22,9/2=696 \text{ кг/м}.$$

Лестница:

$$P3=4001,2(6,0/2) (2,0/2)=1440 \text{ кг};$$

$$P4=720 \text{ кг}.$$

Нагрузка от оборудования:

Нагрузка на фермы от систем пожаротушения

$$v=101,33,3/2=21,45 \text{ кг/м}.$$

Ось «В» стройка в осях Б/1-В

Перекрытие на отметке +10,0м

Расчетная погонная нагрузка

на поперечные балки и ригели

$$v=(3501,2+1001,3)4=2200 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели между осями А и Б1/14-15

$$v=(3501,2+1001,3)(3,7+0,3)/2=1100 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели по оси В и между В и В2

$$v=(3501,2+1001,3)(2+0,35)/2=646,25 \text{ кг/м}.$$

Перекрытие встройки на отметке +5,08м

Расчетная погонная нагрузка:

на поперечные балки и ригели

$$v=1001,34=520 \text{ кг/м};$$

$$v=5001,22=1200 \text{ кг/м}$$

на продольные ригели по оси Б/1 и между Б1 и БА

$$v=1001,3(3,85+0,35)/2=273 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(3,775+0,15)/2=255,2 \text{ кг/м};$$

$$v=5001,2(3,85+0,35)/2=1260 \text{ кг/м};$$

на продольные ригели около оси В и между В и В2

$$v=1001,3(0,85+0,35)/2=78 \text{ кг/м};$$

$$v=5001,2(0,8+0,35)/2=345 \text{ кг/м}.$$

Площадка в осях В-Г/1

Покрытие на отметке +5,00м в осях 7-9/В/2-Г/1

Расчетная погонная нагрузка:

на балки и ригели

$$v=1001,32,125/2=138,1 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(2,125+3,75)/2=381,9 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,33,75=487,5 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(3,75+3,825)/2=492,4 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,33,825=497,25 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,33,825/2=248,6 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,33,05/2=198,25 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(3,05+3,015)/2=394,2 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(3,015+2,405)/2=352,3 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(2,405+2,93)/2=346,8 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,32,93/2=190,5 \text{ кг/м}.$$

Покрытие на отметке +5,00м в осях 11-13/В/2-Г/1

Полезная расчетная погонная нагрузка от перекрытия на балки и ригели

$$v=1001,32,125/2=138,1 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(2,125+3,25)/2=349,4 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,32,74/2=178,1 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(2,74+3,25)/2=389,35 \text{ кг/м}$$

$$v=1001,33,25=422,5 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3(3,25+2,9)/2=399,75 \text{ кг/м}$$

$$v=1001,3(2,9+2,85)/2=373,75 \text{ кг/м};$$

$$v=1001,3 \cdot 2,9/2=188,5 \text{ кг/м}.$$

Снеговая нагрузка:

Расчетное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли принято для Казани, расположенной в IV снеговом районе, и составляет: $S=240 \text{ кг/м}^2$.

Нормативное значение веса снегового покрова на уровне земли для снегового района Казани – $240 \times 0,7=168 \text{ кг/м}^2$.

Коэффициент распределения снеговой нагрузки по покрытию при $\alpha = 1$ при 25° .

Коэффициент распределения снеговой нагрузки по покрытию $1 = \cos 1,8$; $2 = 2,4 \sin 1,4$, где – уклон покрытия, град.

Коэффициент распределения снеговой нагрузки по покрытию принят =1.

Снеговая погонная нагрузка на прогоны покрытия:

$$s=2401,45=348 \text{ кг/м};$$

$$s=2401,65=396 \text{ кг/м};$$

$$s=2401,525=366 \text{ кг/м};$$

$$s=2401,8=432 \text{ кг/м};$$

$$s=2401,3=312 \text{ кг/м}.$$

Ветровая нагрузка:

Нормативное значение ветрового давления принято для ветрового района и составляет $w_0=30 \text{ кг/м}^2$.

Коэффициент k , учитывающий изменение ветрового давления по высоте z , принят для типа местности А, $K_{5,0}=0,75$;

$$K_{5,034}=0,752;$$

$$K_{6,515}=0,826;$$

$$K_{10,0}=1,0;$$

$$K_{10,7}=1,0175;$$

$$K_{11,00}=1,025;$$

$$K_{11,016}=1,0254;$$

$$K_{11,27}=1,032;$$

$$K_{11,305}=1,033;$$

$$K_{15,140}=1,1285;$$

$$K_{16,747}=1,169;$$

$$K_{18,435}=1,2109;$$

$$K_{19,21}=1,2303;$$

$$K_{19,40}=1,235.$$

$$K_{13,2}=1,08;$$

$$K_{13,990}=1,0998;$$

Расчетное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_e на высоте z над поверхностью земли определяется по формуле:
 $w_m = w_0 k c_e f$,

где $f=1,4$ – коэффициент надежности по нагрузке, составляет:

$$w_{5,0}=30 \cdot 0,75 \cdot 1,4=31,5 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{5,034}=30 \cdot 0,752 \cdot 1,4=31,6 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{6,5154}=30 \cdot 0,826 \cdot 1,4=34,7 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{10,0}=30 \cdot 1 \cdot 1,4=42 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{11,0}=30 \cdot 1,025 \cdot 1,4=43,05 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{13,99}=30 \cdot 1,0998 \cdot 1,4=46,19 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{15,140}=30 \cdot 1,1285 \cdot 1,4=47,4 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{16,747}=30 \cdot 1,169 \cdot 1,4=49,1 \text{ кг/м}^2;$$

$$w_{19,21}=30 \cdot 1,23 \cdot 1,4=51,66 \text{ кг/м}^2.$$

Температурные климатические воздействия

При расчете температурных климатических воздействий принято:

- здание с искусственным климатом;
- рассматривается стадия эксплуатации;
- конструкции здания защищены от воздействия солнечной радиации.

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента соответственно в теплое t_w и холодное t_c время года определяются по формулам:

$$\Delta t_w = t_w - t_{oc}, \Delta t_c = t_c - t_{ow},$$

где t_w , t_c – нормативные значения средних температур по сечению элемента в теплое и холодное время года;

t_{ow} , t_{oc} – начальные температуры в теплое и холодное время года.

Начальная температура, соответствующая замыканию конструкции или ее части в законченную систему, в теплое t_{0w} и холодное t_{0c} время года **рассчитывается** по формулам:

$$t_{0w} = 0,8t_{VII} + 0,2t_1, t_{0c} = 0,2t_{VII} + 0,8t_1,$$

здесь t_1 , t_{VII} – многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и июле.

Для г. Казани : $t_1 = -15$, $t_{VII} = 20$,

$$t_{0w} = 0,8t_{VII} + 0,2t_1 = 0,8 \cdot 20 + 0,2 \cdot (-15) = 13^\circ\text{C},$$

$$t_{0c} = 0,2t_{VII} + 0,8t_1 = 0,8 \cdot 20 + 0,8 \cdot (-15) = -8^\circ\text{C}.$$

Для здания с искусственным климатом в стадии эксплуатации и **конструкций** здания, защищенных от воздействия солнечной радиации, величина t_w определяется как:

$$t_w = t_{wi} ,$$

где t_{iw} – температура внутреннего воздуха помещений в теплое время года.

Таким образом,

$$t_w = t_{iw} = 24 ,$$

нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в теплое (t_w) время года :

$$\Delta t_w = t_w - t_{0c} = 24 - (-8) = 32 .$$

Расчетное значение перепада температуры:

$$t_w = 1,1 \cdot (32) = 35,2^\circ\text{C}.$$

В отапливаемом здании в зимний период с учетом установленного порядка строительства (приложение 1) нормативный перепад температур составит:

$$\Delta t_w = t_w - t_{0c} = 20 - (-8) = 28 ,$$

где $t_w = 20^\circ\text{C}$ – температура внутреннего воздуха в отапливаемом здании в зимний период.

Расчетное значение перепада температур:

$$t_w = 1,1 \cdot (28) = +30,8^\circ\text{C}.$$

По расчету каркаса терминала для стадии эксплуатации здания с искусственным климатом (кондиционирование с температурой воздуха $+24^\circ\text{C}$) расчетными перепадами температурных воздействий будут в теплое время $+35,2^\circ\text{C}$, в зимнее для отапливаемого здания $+30,8^\circ\text{C}$; при замыкании конструкций температурный перепад $+30,8^\circ\text{C}$ для конструкций в отапливаемых зданиях в зимний период является нагружением температурного воздействия, которое может действовать в комбинации со всеми нагружениями, в т.ч. и со снеговой нагрузкой.

При расчете учтены следующие нагружения:

- нагружение 1 – нагружение нагрузкой от собственного веса несущих и ограждающих конструкций (нагрузка от собственного веса элементов каркаса учитывалась в программном комплексе по заданным типам сечений);

- загрузка 2 – загрузка полезной временной нагрузкой;
- загрузка 3 – загрузка нагрузкой от оборудования;
- загрузка 4 – загрузка снеговой нагрузкой по всему пролету;
- загрузка 5 – загрузка снеговой нагрузкой на $\frac{1}{4}$ пролета возле оси А;
- загрузка 6 – загрузка снеговой нагрузкой на $\frac{1}{4}$ пролета возле оси Б;
- загрузка 7 – загрузка снеговой нагрузкой на $\frac{1}{4}$ пролета возле оси В;
- загрузка 8 – загрузка снеговой нагрузкой на $\frac{1}{4}$ пролета возле оси Г;
- загрузка 9 – загрузка ветровой нагрузкой поперек от оси А к оси Г;
- загрузка 10 – загрузка ветровой нагрузкой поперек от оси Г к оси А;
- загрузка 11 – загрузка ветровой нагрузкой вдоль от оси 18 к оси 1;
- загрузка 12 – загрузка ветровой нагрузкой вдоль от оси 1 к оси 18;
- загрузка 13 – загрузка температурным воздействием.

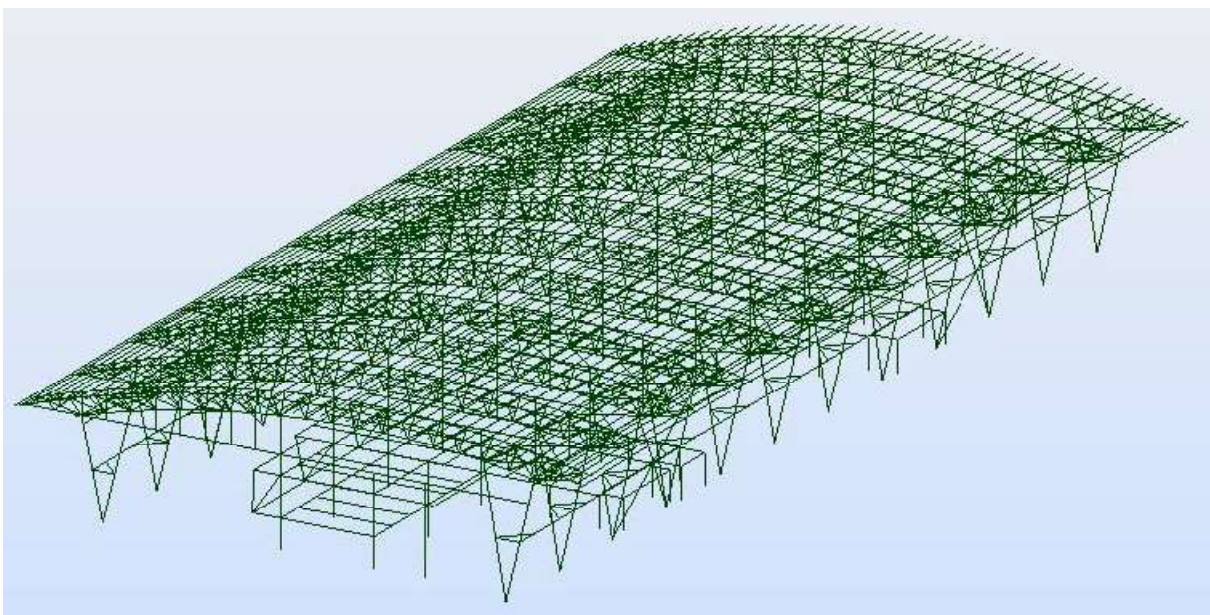


Рис. 3.1. Схема несущего каркаса

3.2. Результаты расчета

Рассмотрим одну из центральных рам.

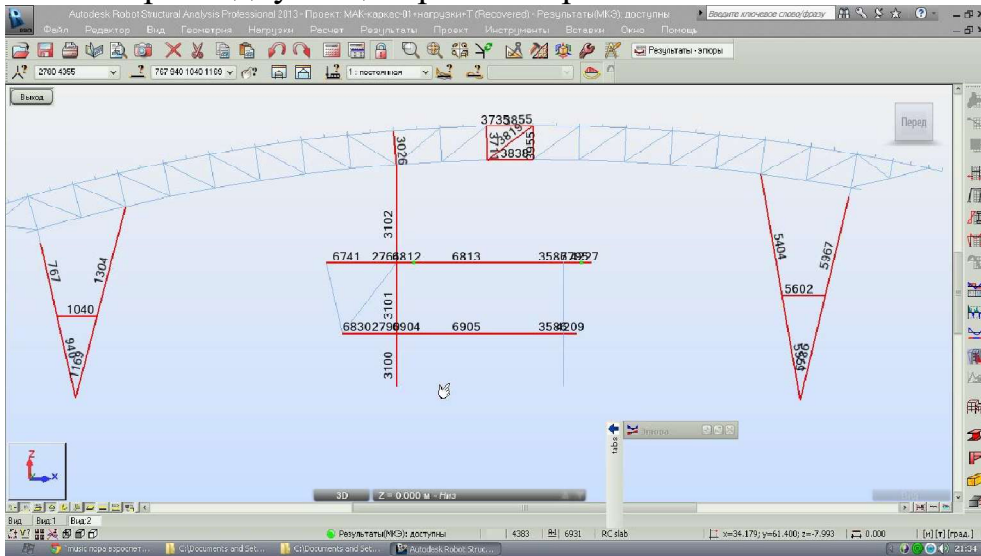
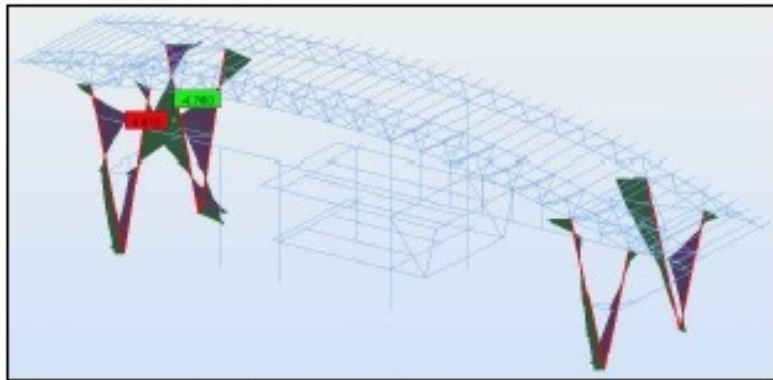
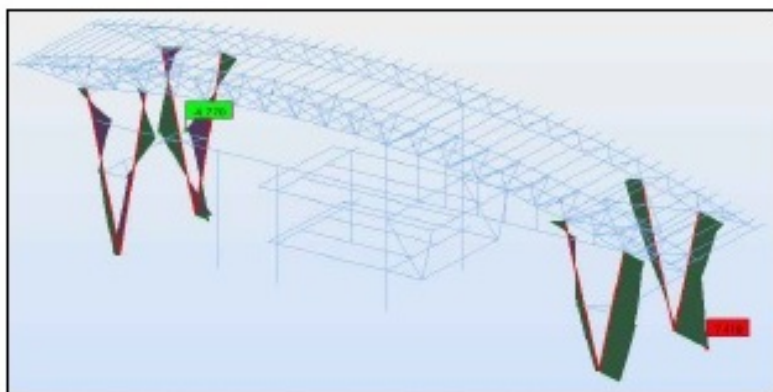


Рис. 3.2. Расчетная схема рамы

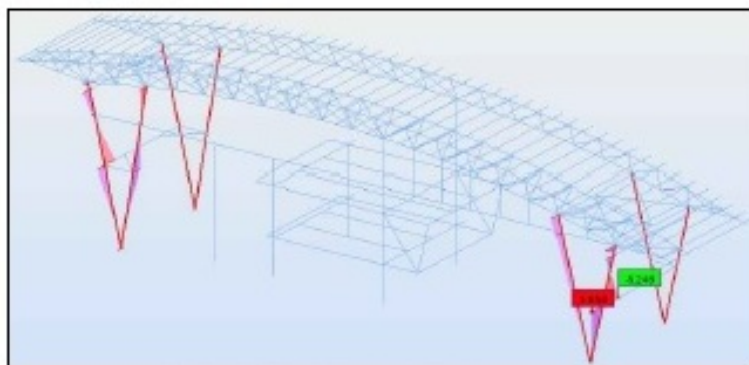


M_v для С.В. и Ветер

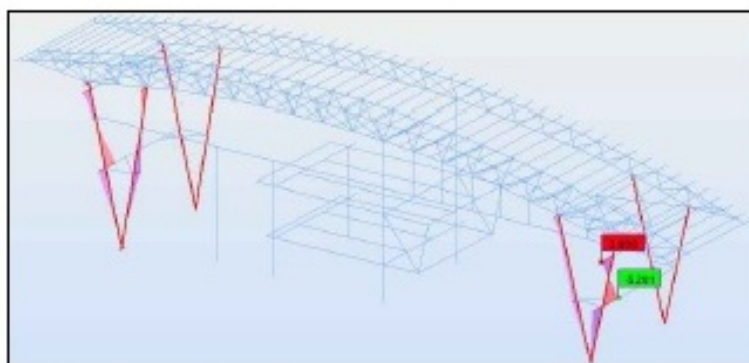


M_v для С.В. + Ветер + Температура

Рис. 3.3 Эпюры усилий в элементах каркаса

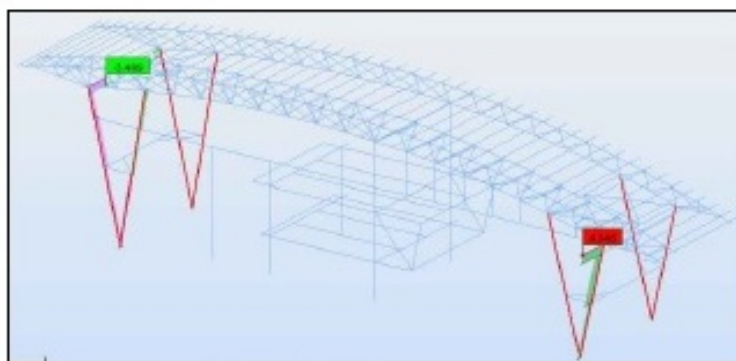


M_z для С.В. и Ветер

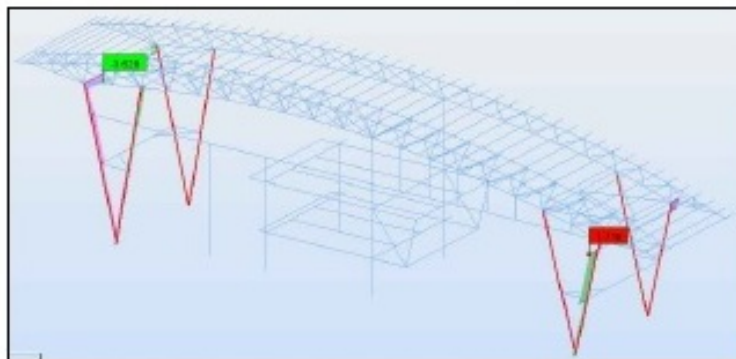


M_z для С.В. + Ветер + Температура

Рис. 3.4. Эпюры усилий в элементах каркаса

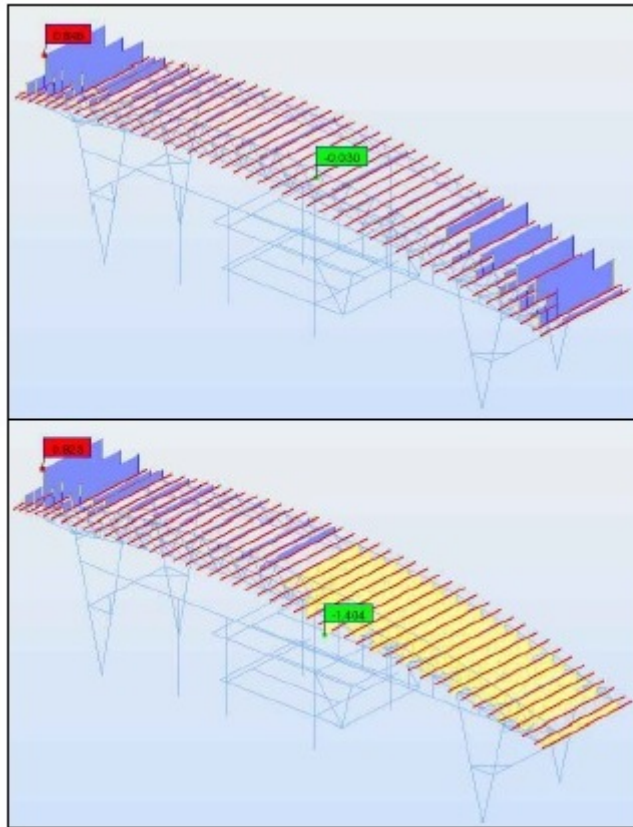


F_v для С.В. и Ветер



F_v для С.В. + Ветер + Температура

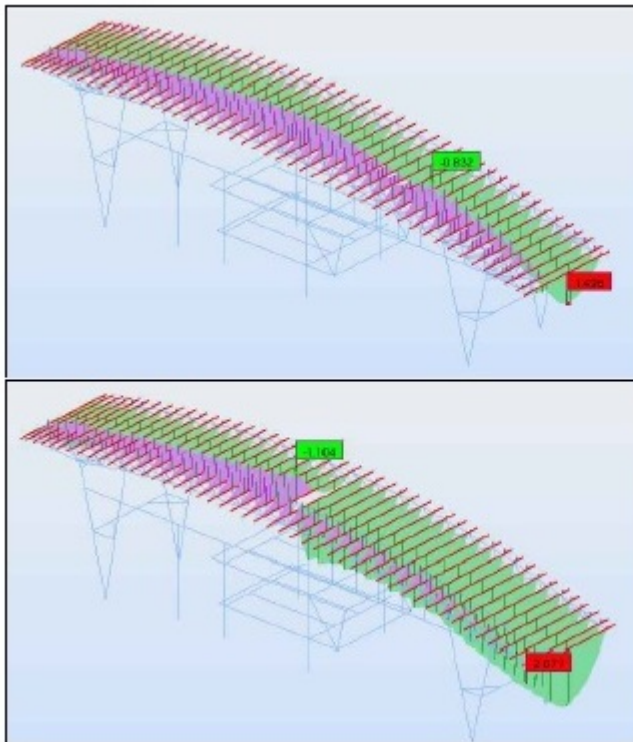
Рис. 3.5. Эпюры усилий в элементах каркаса



F_x для С.В. и Ветер

F_x для С.В. + Ветер
+ Температура

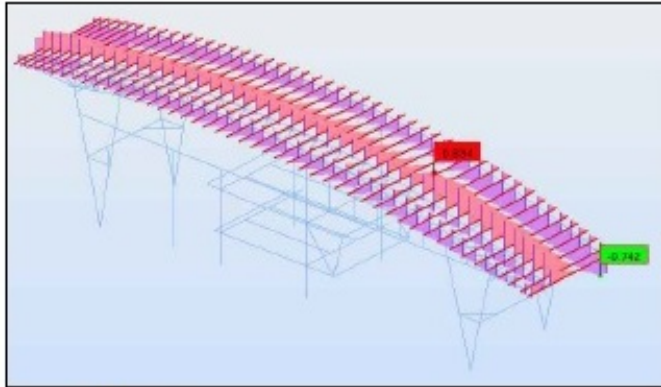
Рис. 3.6. Эпюры усилий в элементах каркаса



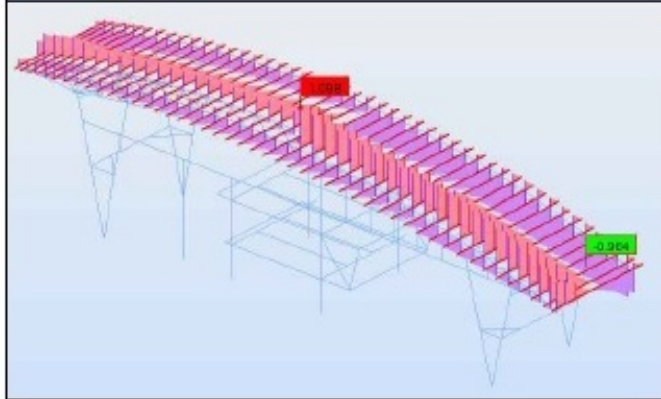
M_y для С.В. и Ветер

M_y для С.В. + Ветер
+ Температура

Рис. 3.7. Эпюры усилий в элементах каркаса

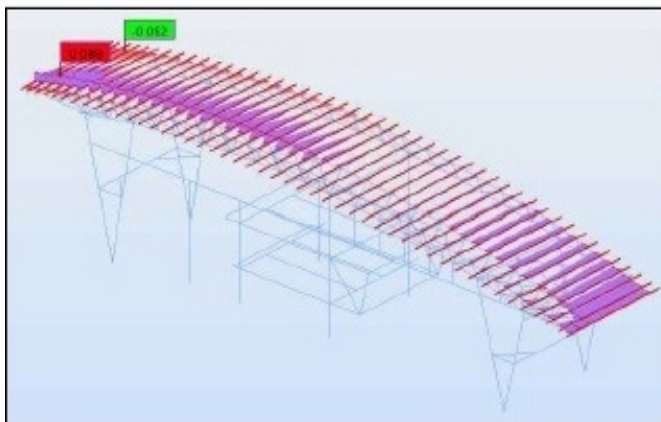


F_z для С.В. и Ветер

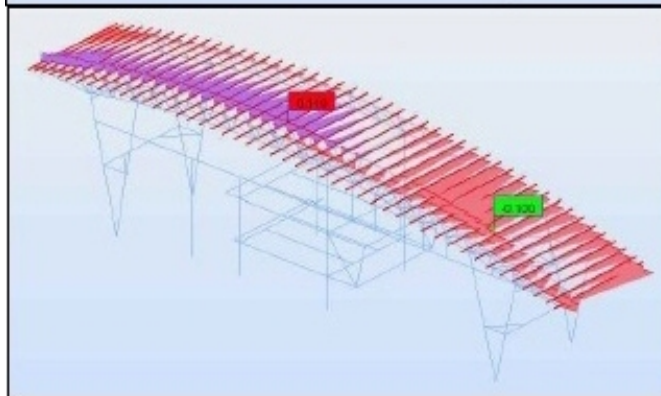


F_z для С.В. + Ветер
+ Температура

Рис. 3.8. Эпюры усилий в элементах каркаса



M_z для С.В. и Ветер



M_z для С.В. + Ветер
+ Температура

Рис. 3.9. Эпюры усилий в элементах каркаса

Как показывают результаты расчета, наибольшее влияние температурные воздействия оказывают в каркасе терминала на прогоны и колонны. В табл. 3.2 приведены усилия в колоннах и прогонах с оценкой вклада от температуры. На рис. 3.3, 3.4 и 3.5 показаны эпюры усилий без учета температуры и с учетом ее. На рис.3.6, 3.7, 3.8 и 3.9 приведены соответственно эпюры внутренних усилий F_x , F_z , M_y , M_z для прогонов. Напряжения в прогонах и колоннах показаны на рис.3.10, 3.11, 3.13.

Видимо, максимальное влияние температура оказывает на колонны: F_y – 60,54%, M_x – (–57,94%); прогоны: F_y – 40%, M_y – 78,94%.

Представляют интерес результаты сравнительного расчета несущего каркаса терминала в ПК «Лира» и ПК «Robot», которые приведены в табл. 3.3.

Влияние температуры на каркас аэропорта меньше, чем на пирамиду, но оно также существенное, поэтому его следует учитывать.

4. РАСЧЕТ НЕСУЩЕГО КАРКАСА ТЕРМИНАЛА АЭРОПОРТА НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ

Прогрессирующее разрушение – это последовательное разрушение несущих строительных конструкций здания (сооружения), обусловленное начальным локальным повреждением отдельных несущих конструктивных элементов и приводящее к обрушению всего здания или его значительной части. Главное здесь – спрогнозировать начальное повреждение конструкций. В прогрессирующем разрушении важна причина, из-за которой вышла из строя какая-либо конструкция, т.к. это влияет на динамику процесса, как начала разрушения, так и в целом. Не менее важно, насколько элементы каркаса способны воспринимать перераспределение нагрузок вследствие изменения расчетной схемы. Именно поэтому основное требование расчетов на прогрессирующее обрушение – это то, что какое бы воздействие ни разрушило один или несколько несущих элементов, здание не должно разрушиться лавинообразно.

Целесообразно это рассмотреть на примере уже рассчитанного выше каркаса терминала, общий вид которого показан на рис. 4.1, а расчетные схемы – на рис. 4.2. Вторая расчетная схема соответствует каркасу терминала с одной удаленной колонной средней рамы (рис. 4.3).



Рис. 4.1. а) Общий вид колонн со стороны парковки



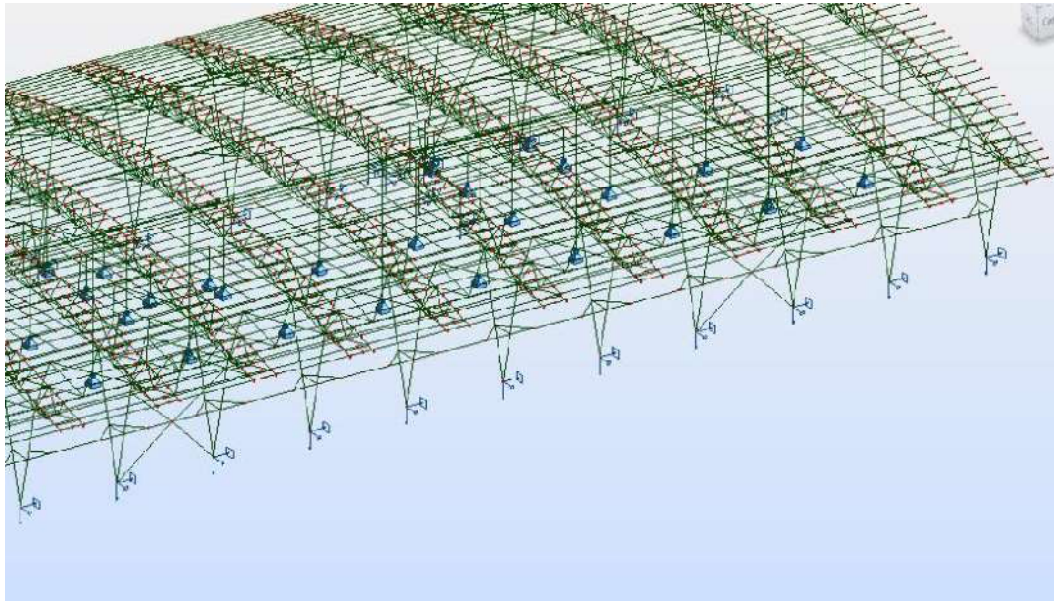
Рис. 4.1. б) Вид колонн изнутри

В качестве подстропильной фермы, на которую будет опираться ферма рамы в зоне удаленной колонны, используем связевые фермы по неразрезной схеме, идущие по обеим стойкам V-образной колонны (рис. 5.3 б).

Результаты расчета показали, что некоторые стержни этих ферм потребуют усиления (рис. 4.4). Поэтому предложенные на рис. 4.5 схемы усиления носят предварительные возможные решения.

На этом примере мы хотели показать, что даже в действующих объектах можно предусмотреть мероприятия, которые обеспечат жизнеспособность здания в чрезвычайных ситуациях.

а)



б)

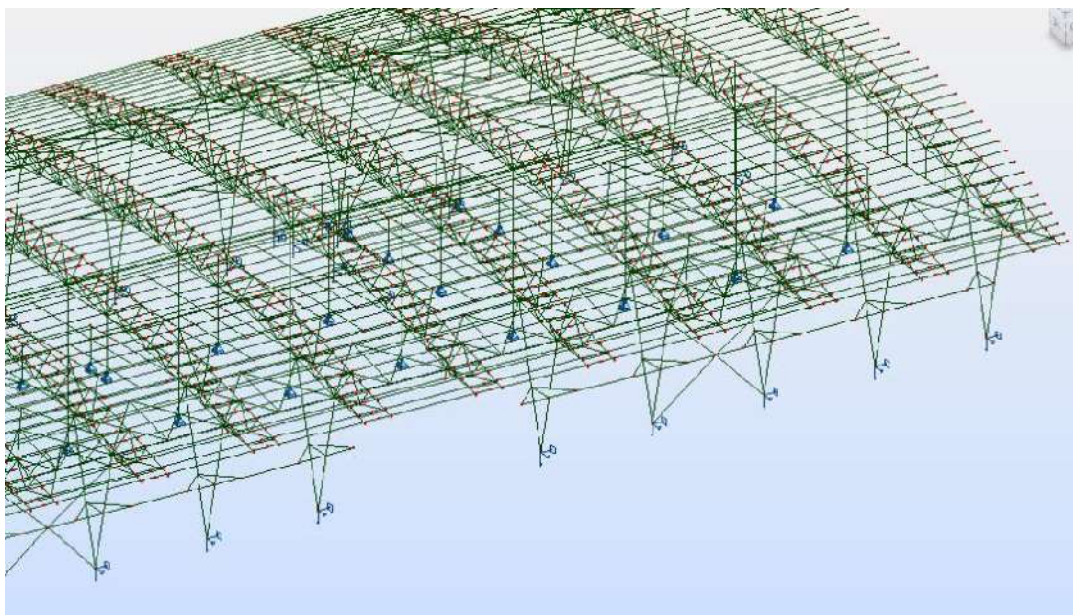
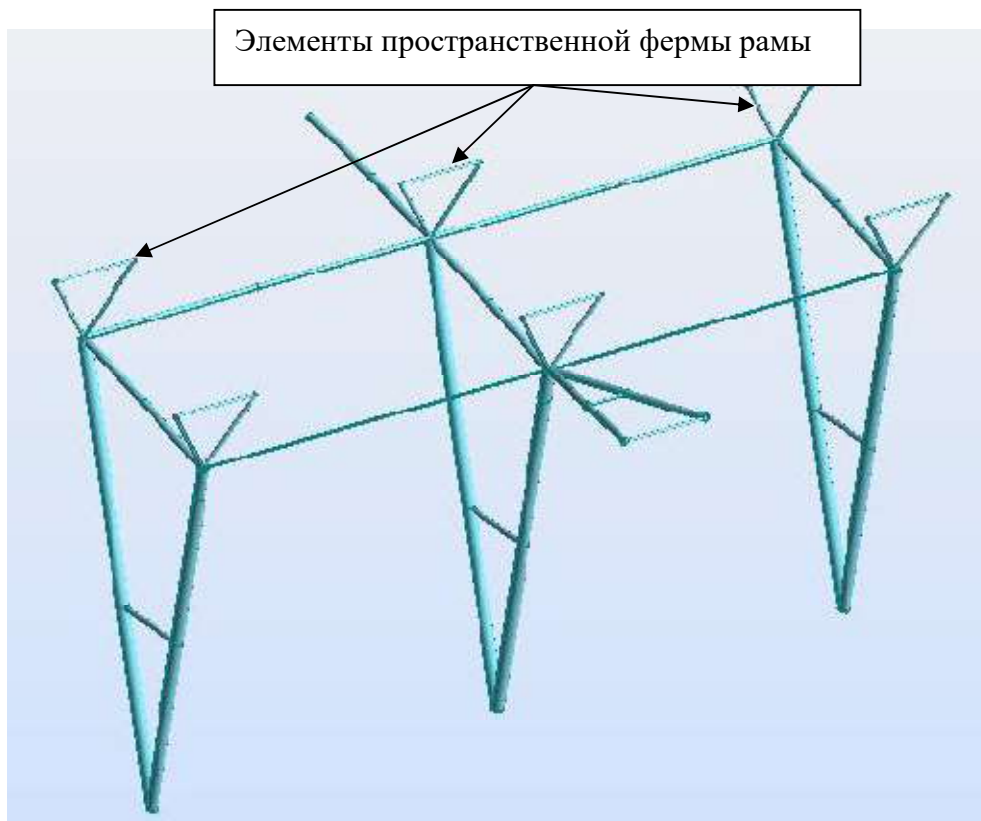


Рис. 4.2. Расчетные схемы каркаса: а) до и б) после удаления средней колонны

а)



б)

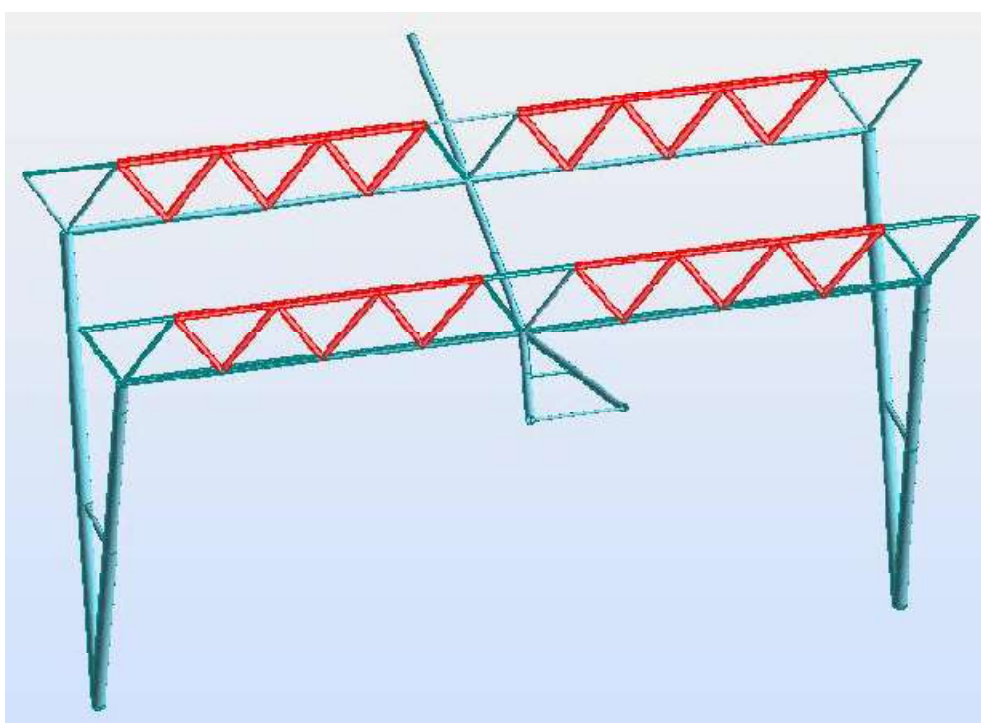


Рис. 4.3. Фрагмент каркаса а) до и б) после удаления колонны с использованием поперечных связевых ферм в качестве подстропильных

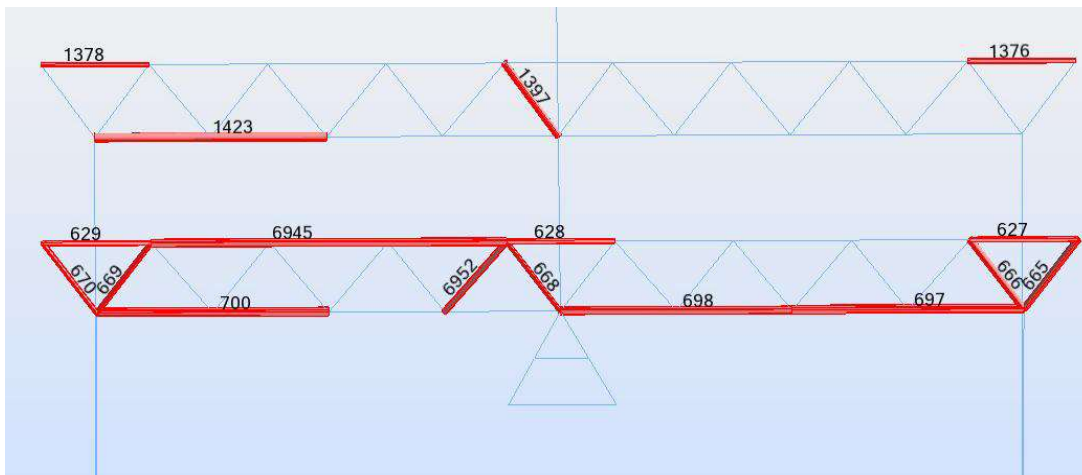
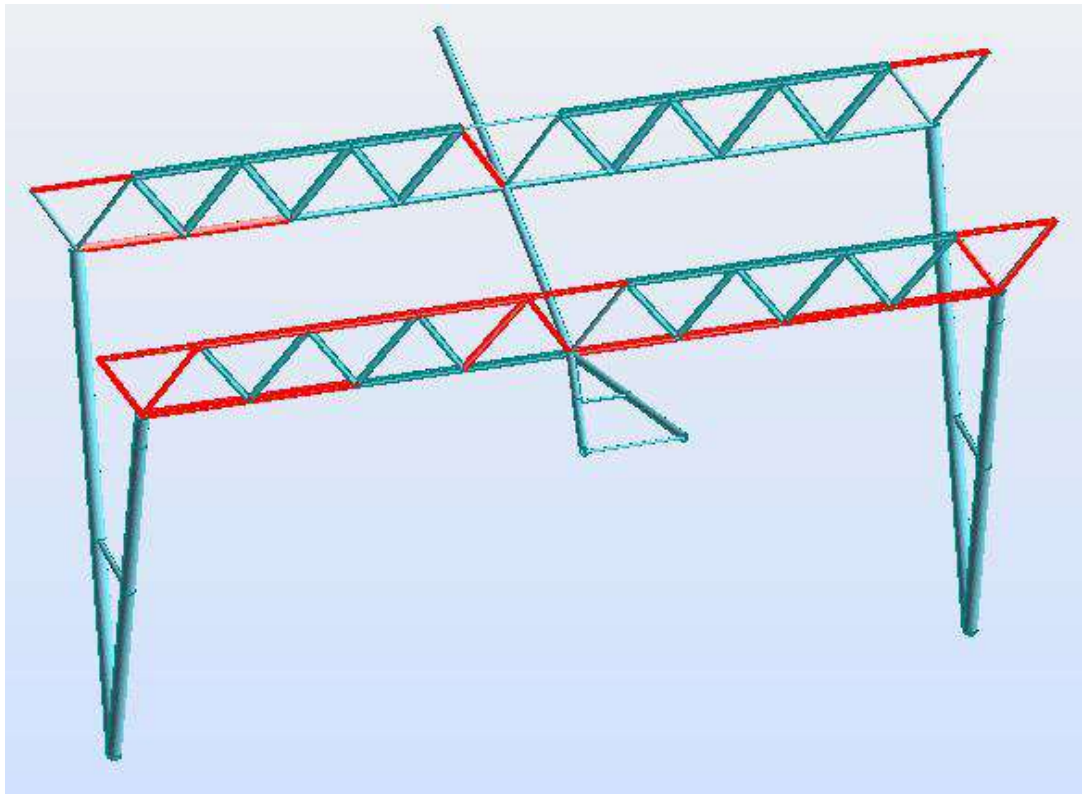
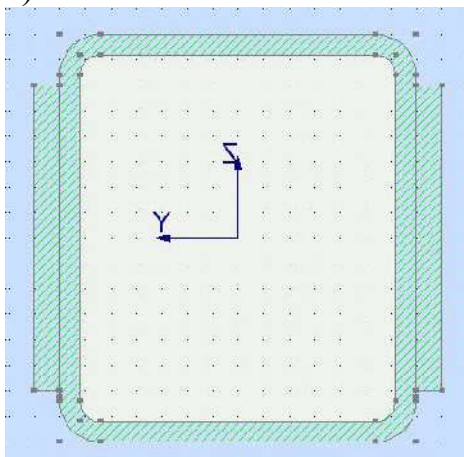


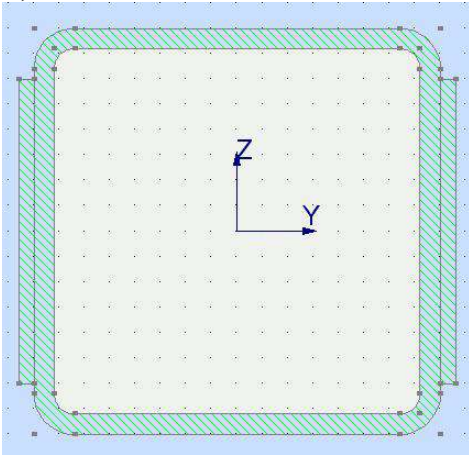
Рис. 4.4. Стержни подстропильной фермы, требующие усиления

а)



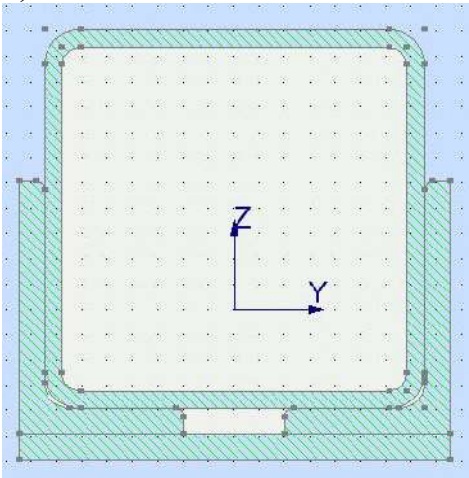
160x140x8+2[120x10] – для стержня 6952

б)



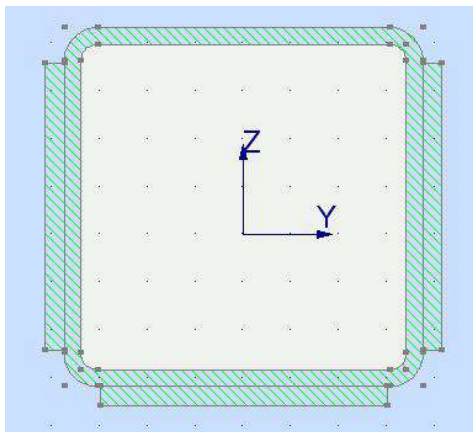
$160 \times 160 \times 8 + 2[120 \times 6]$ – для стержня 6945

в)

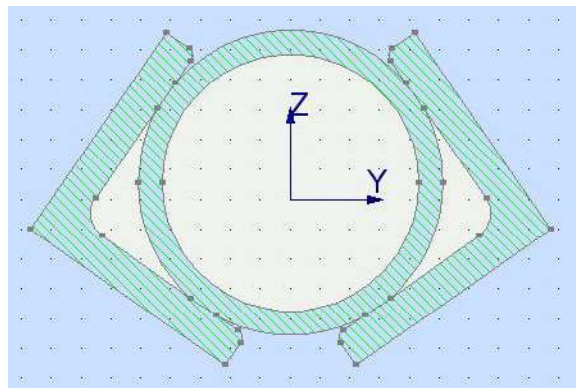


$150 \times 150 \times 7 + 2[L100 \times 65 \times 10] + [170 \times 10]$ –
для стержней 697, 700

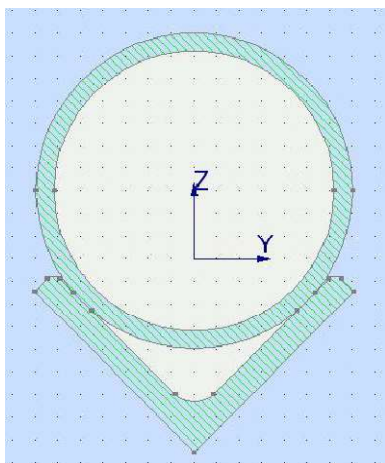
Рис. 4.5. Варианты усиления стержней



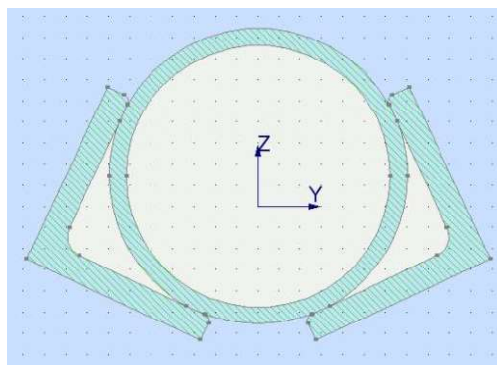
$150 \times 150 \times 7 + 3[120 \times 10]$
– для стержня 698



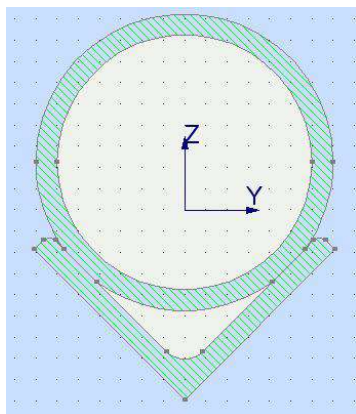
$102 \times 8 + 2[80 \times 12]$
– для стержней 627, 628, 629, 1376



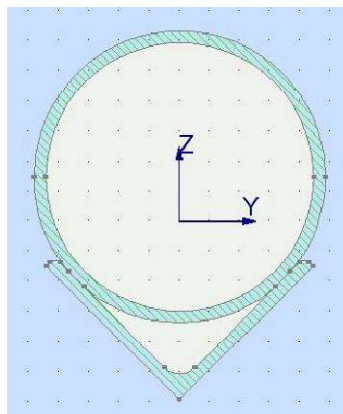
140x8+L100x12
– для стержней 665, 666



140x8+2[90x12]
– для стержней 669, 670



140x10+L100x10
– для стержня 1397



194x8+L125x8
– для стержня 1423

Рис. 4.5 (Продолжение). Варианты усиления стержней

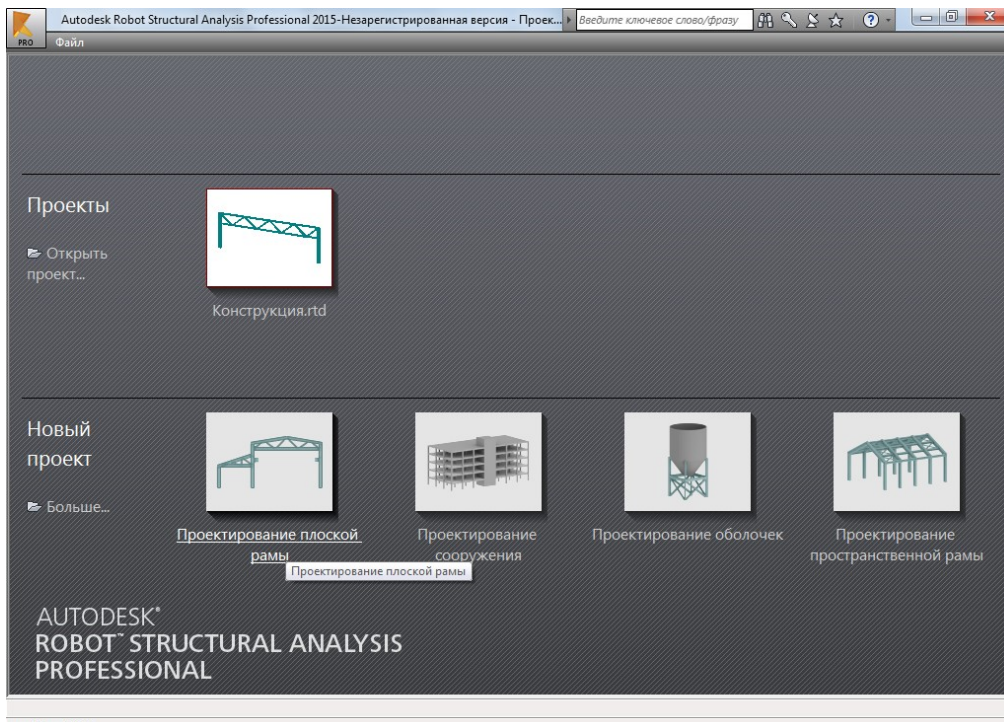
5. Пример пошагового расчета рамы на ПК «Robot»

В разделах 2, 3 и 4 рассмотрены задачи, целью которых являлось показать возможность решения в т.ч. специальных вопросов по влиянию сварочных и температурных напряжений в ПК «Robot».

Однако для начинающих пользователей ПК «Robot» необходимо дать более подробную последовательность расчета для самостоятельного освоения этого, в настоящее время самого перспективного программного продукта для создания всех этапов проектирования: эскизного; архитектурно-планировочного; расчетного, включая фундаменты; сети; чертежи; техническую документацию.

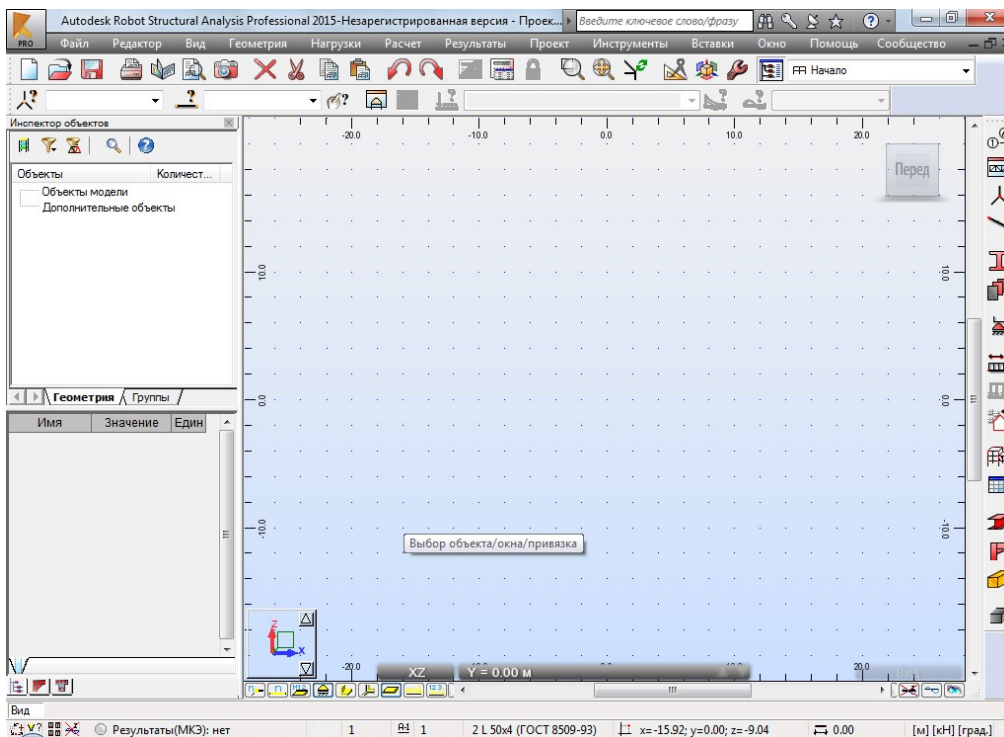
Ниже приведен пример расчета рамы высотой 5 м и пролетом 12 м для г. Казани.

1. Открываем программу *Robot*. Создаем новый проект. Выбираем *Проектирование пространственной рамы*.

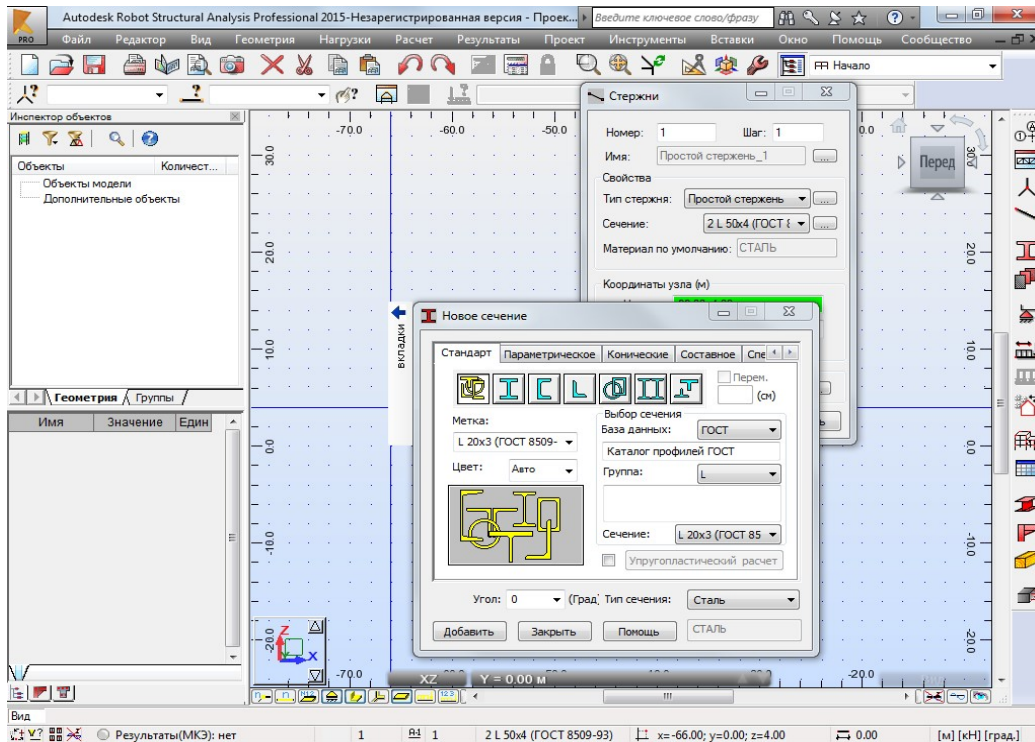


new-frame?d.rtd

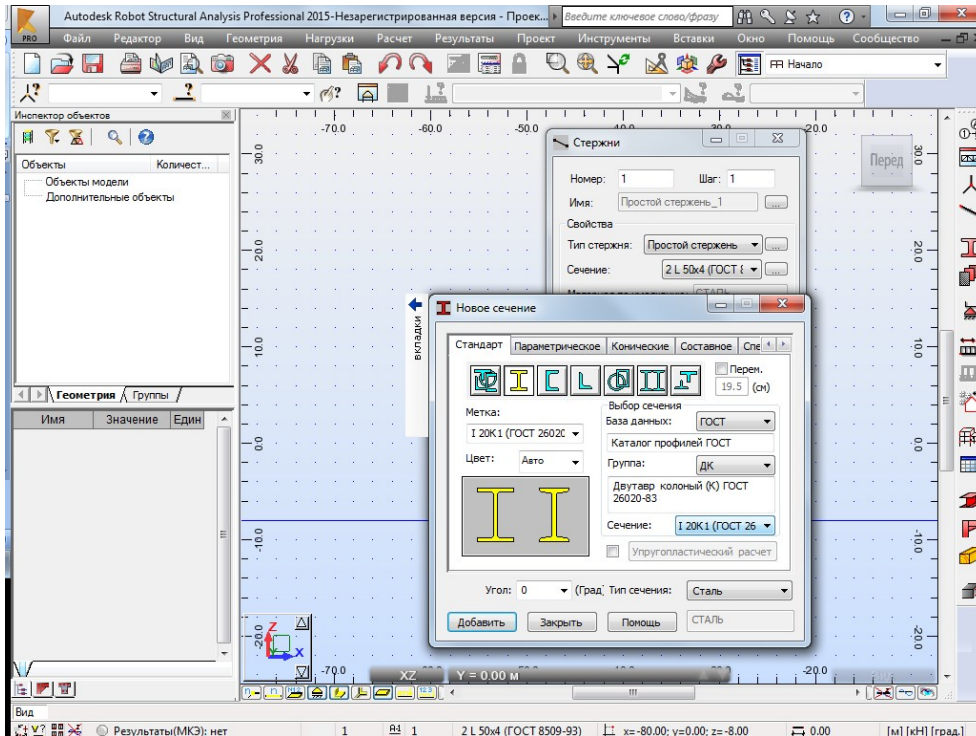
2. Открываем окно *Robot*.



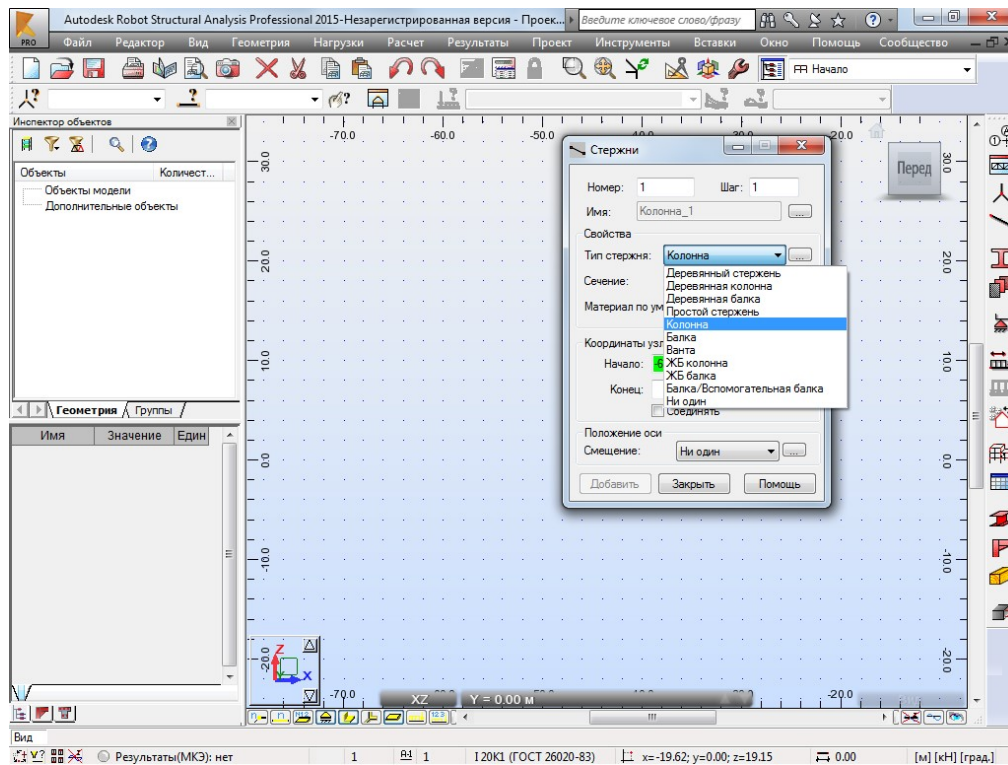
3. На панели инструментов справа выбираем команду *Стержни*. Заходим в *Сечение*. И выбираем нужное нам сечение.



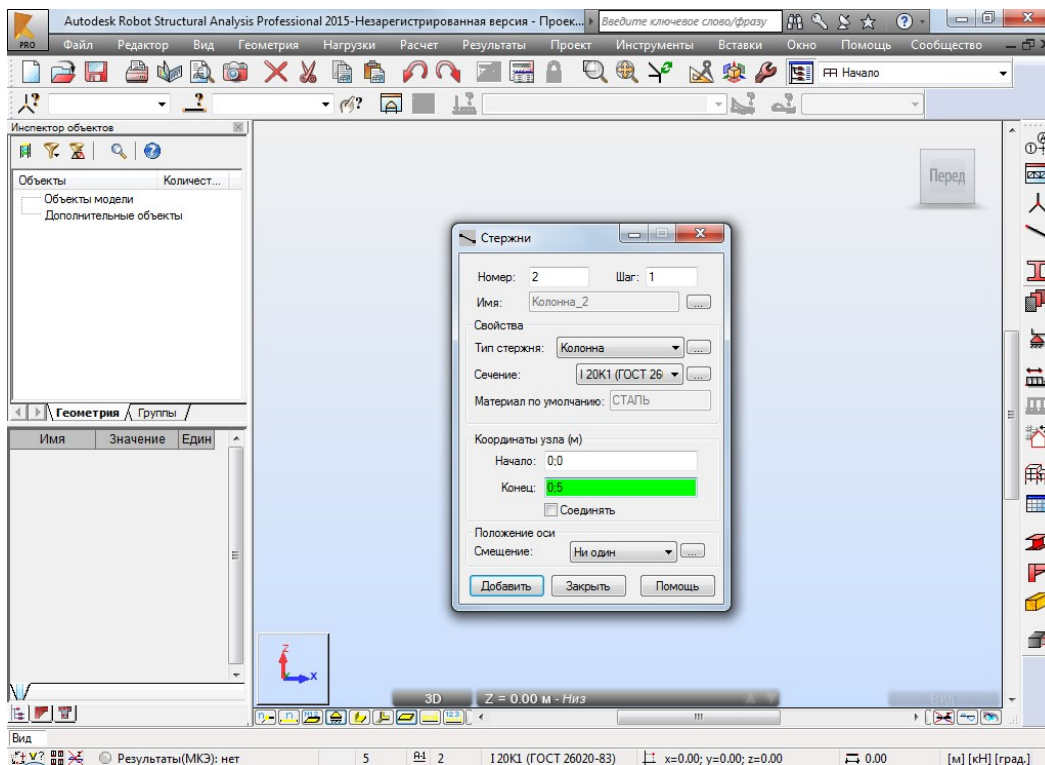
4. В нашем случае во вкладке *Стандарт* выбираем *I*-*бисимметричную форму*, *Группа ДК* – двутавр колонный (К) ГОСТ 26020-83. Нажимаем кнопку *Закреть*.



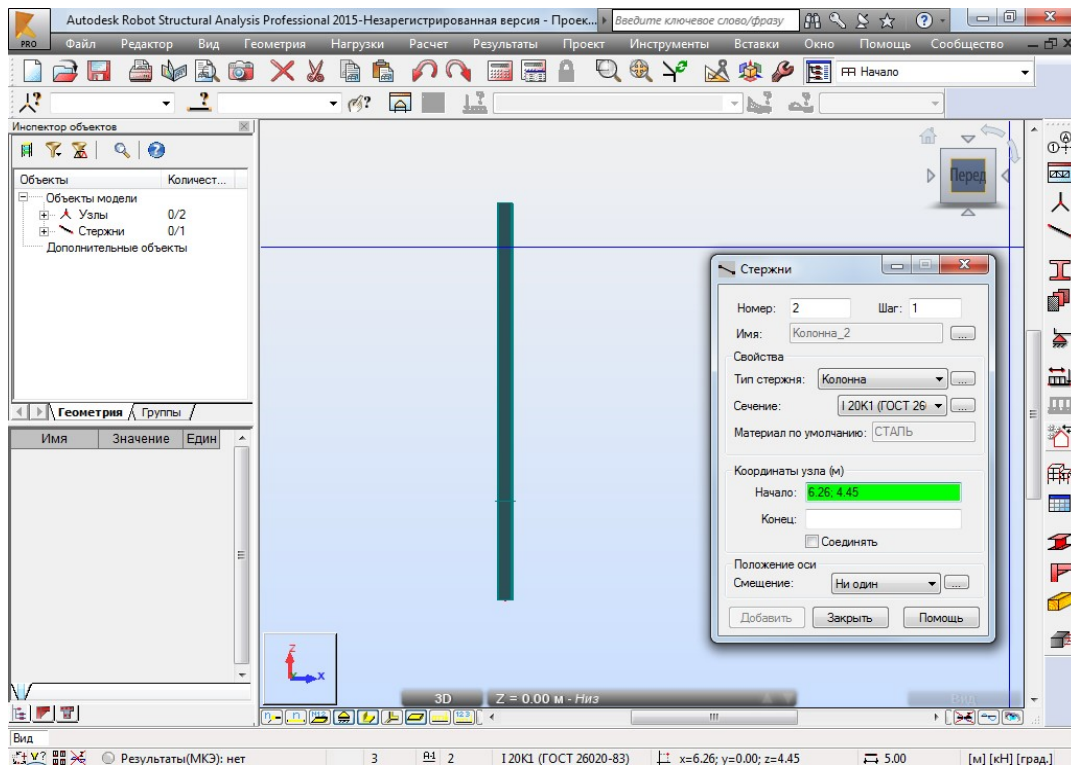
5. В окне *Стержни* в списке *Тип стержня* выбираем *Колонна*.



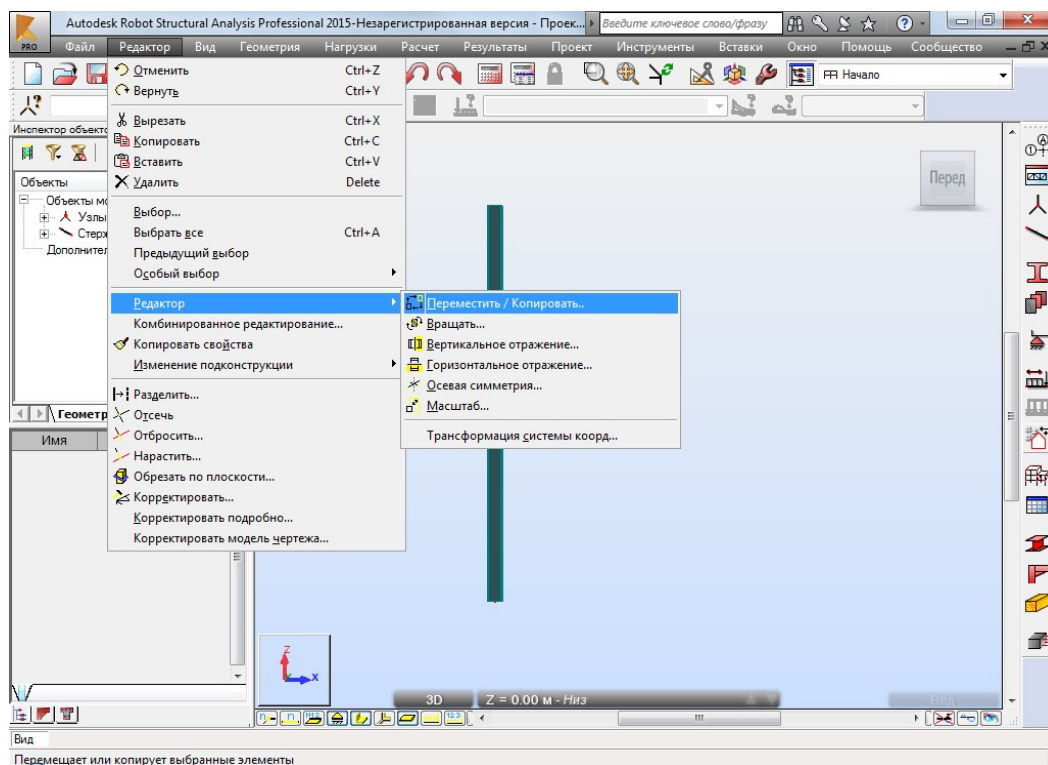
6. Далее вводим *Координаты узла* в метрах: *Начало* – 0:0:0, *Конец* – 0:0:5. Также координаты могут быть заданы с помощью курсора.



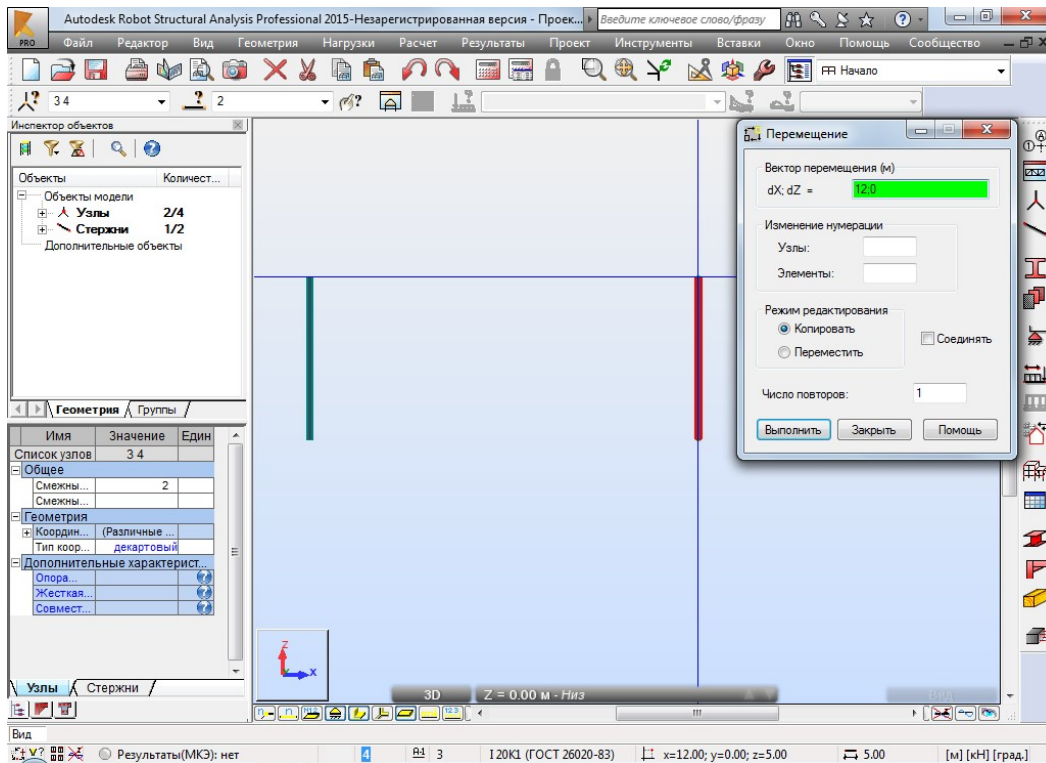
7. В нижней части рабочего пространства выбираем вид *3D*. В правом верхнем углу выбираем вид *Спереди*.



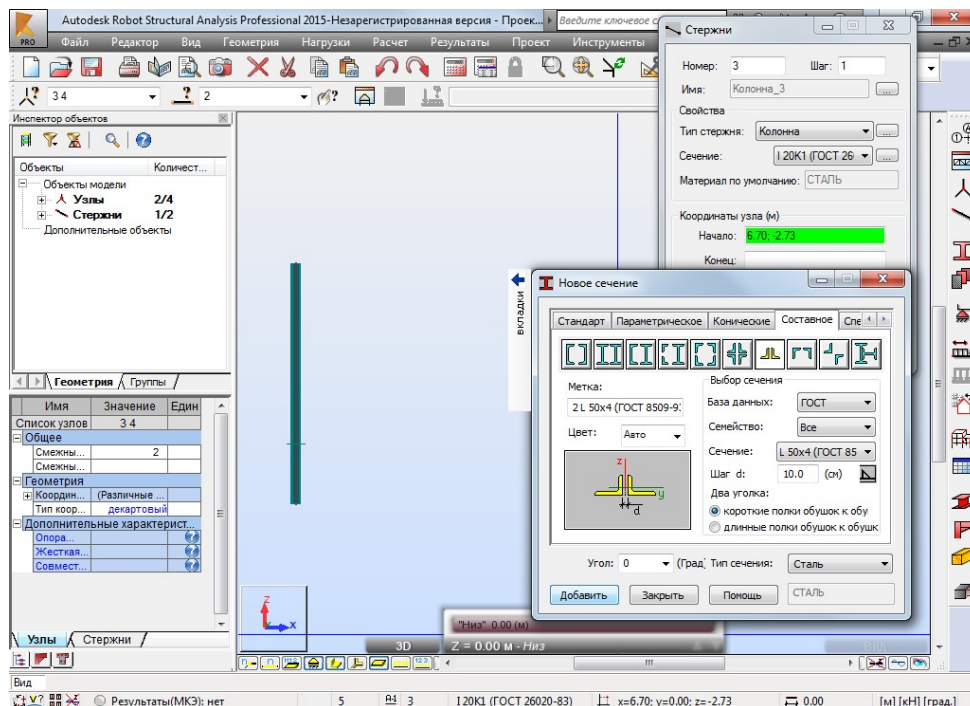
8. В пункте меню *Редактор* выбираем команду *Редактор*, далее из списка выбираем пункт *Переместить/Копировать* для создания второй колонны.



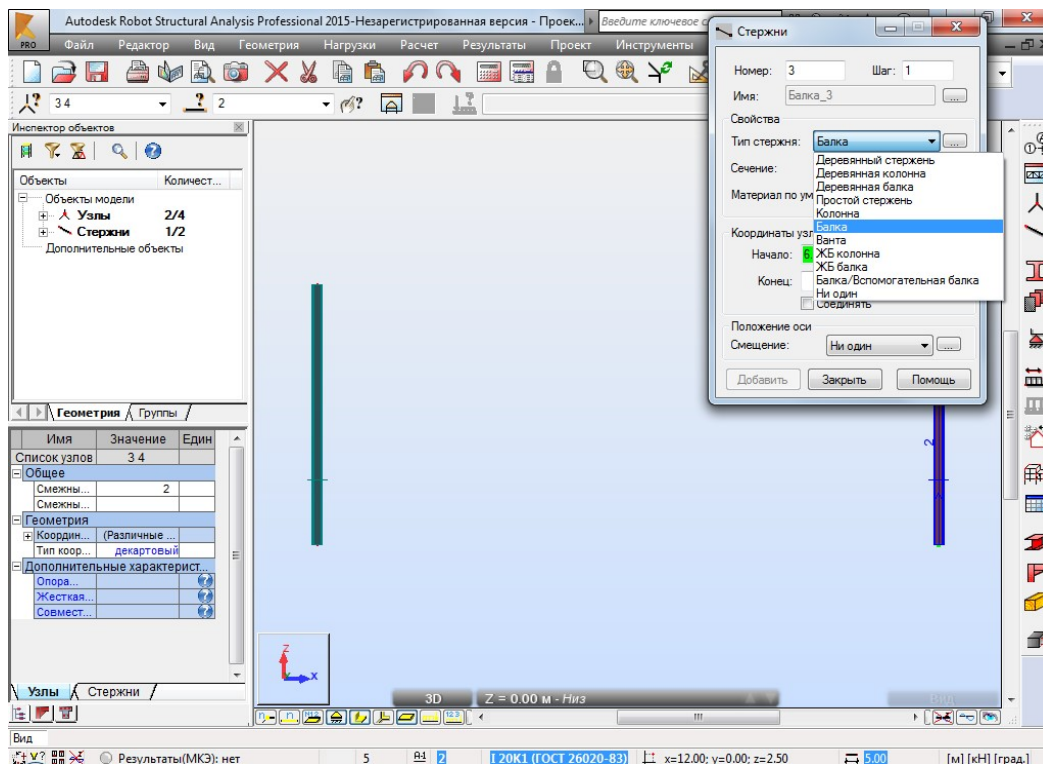
9. Выбираем колонну Стержень 1 с помощью курсора или *Инспектора объектов*. В окне *Перемещение* вводим вручную или указываем с помощью курсора координаты *Вектора перемещений* в метрах. Нажимаем кнопку *Выполнить*.



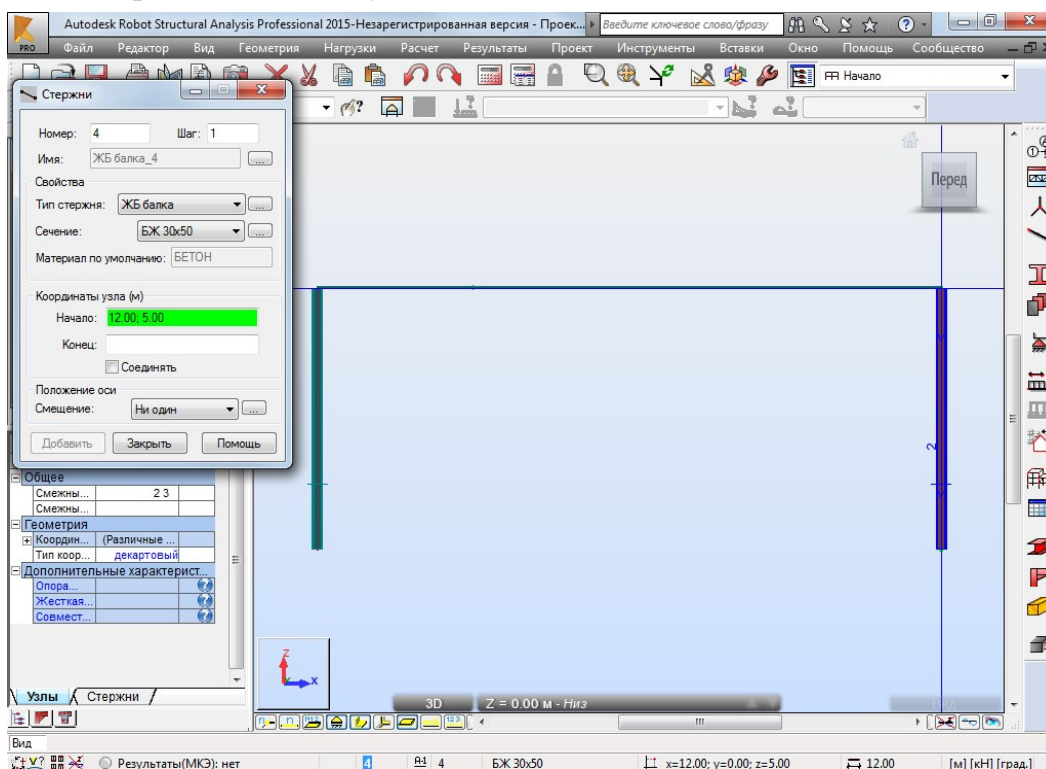
10. Создание балки. На панели инструментов справа выбираем команду *Стержни*. Заходим в *Сечение*. Во вкладке *Составное* выбираем форму *Два уголка обухом к обуху*. В списке сечение выбираем уголок 50x4 (ГОСТ 8509-93). Нажимаем кнопку *Добавить*.



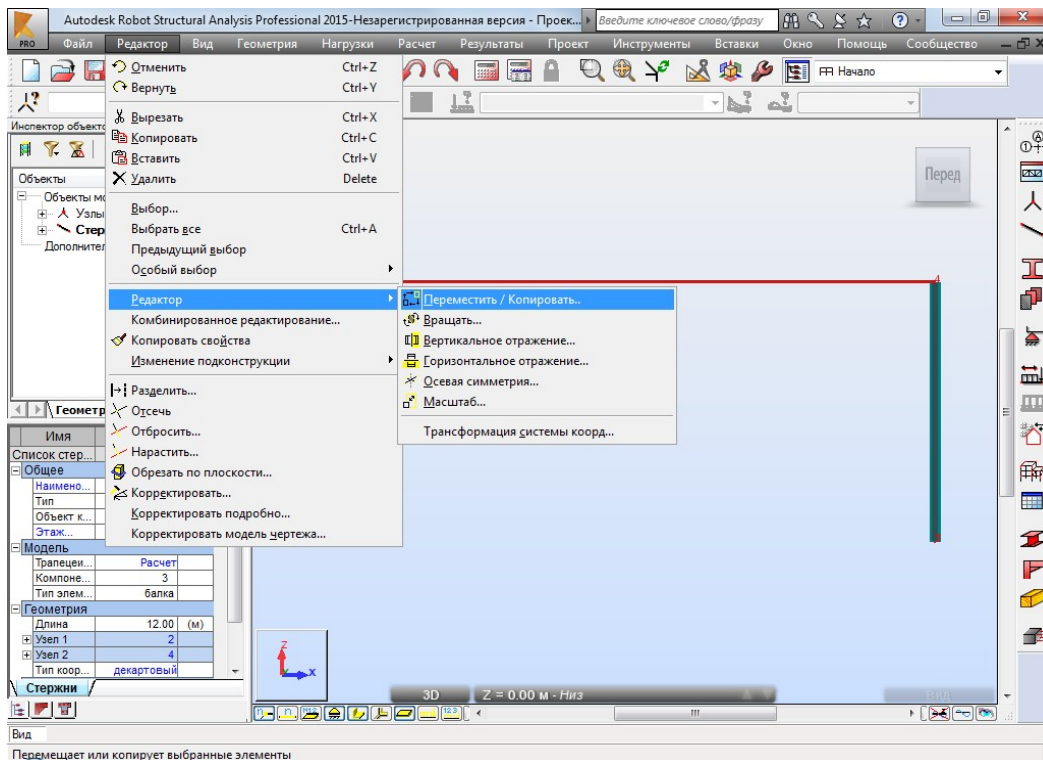
11. В окне *Стержни* в списке *Тип стержня* выбираем *Балка*.



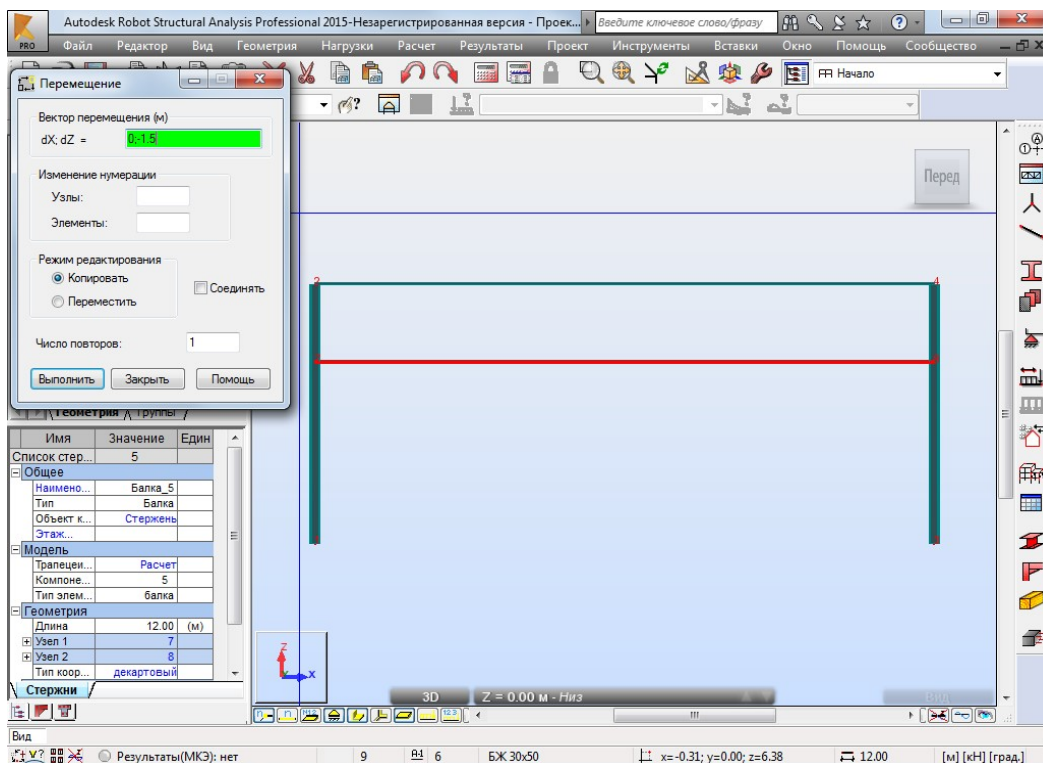
12. С помощью курсора соединяем верхние точки построенных колонн. Закрываем вкладку.



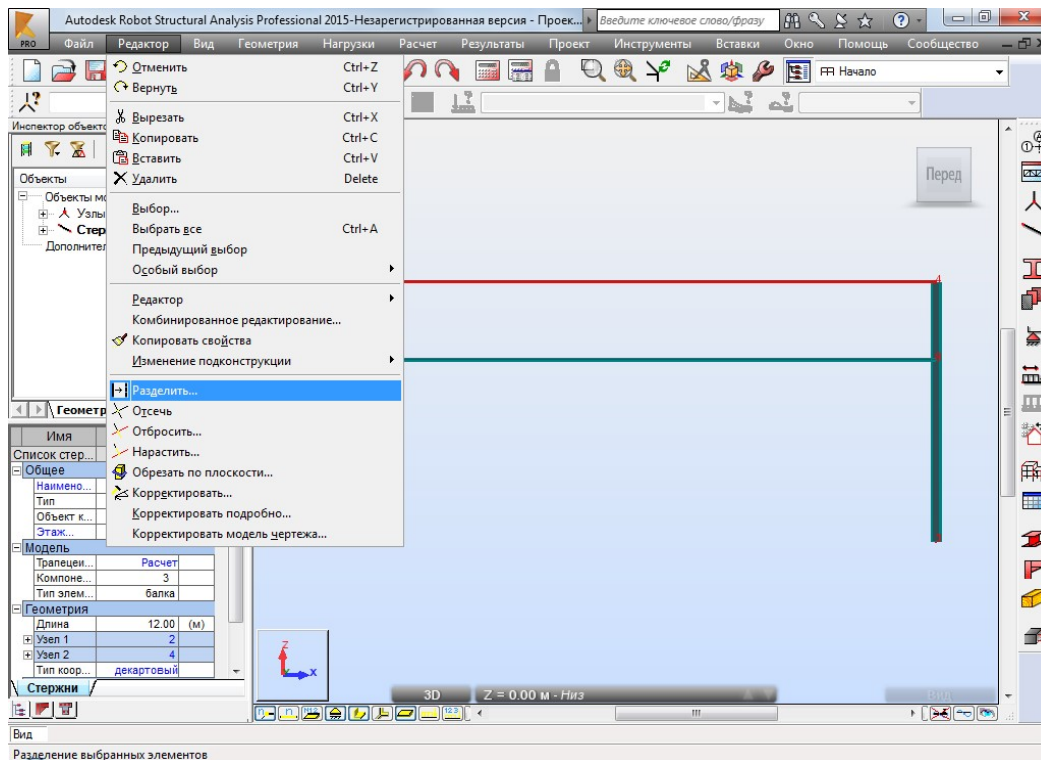
13. Выбираем балку *Стержень 3* с помощью курсора или *Инспектора объектов*. В пункте меню *Редактор* выбираем команду *Редактор*, далее – *Переместить/Копировать*.



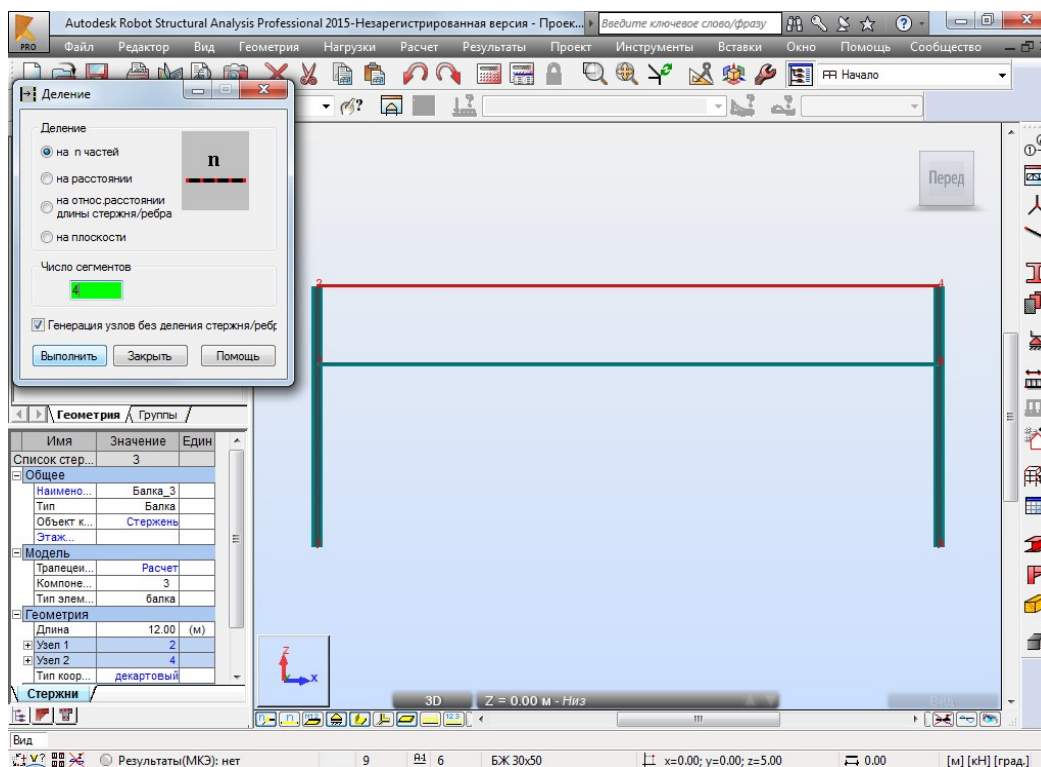
14. В окне *Перемещение* вводим вручную или указываем с помощью курсора координаты *Вектора перемещений* в метрах. Нажимаем кнопку *Выполнить*.



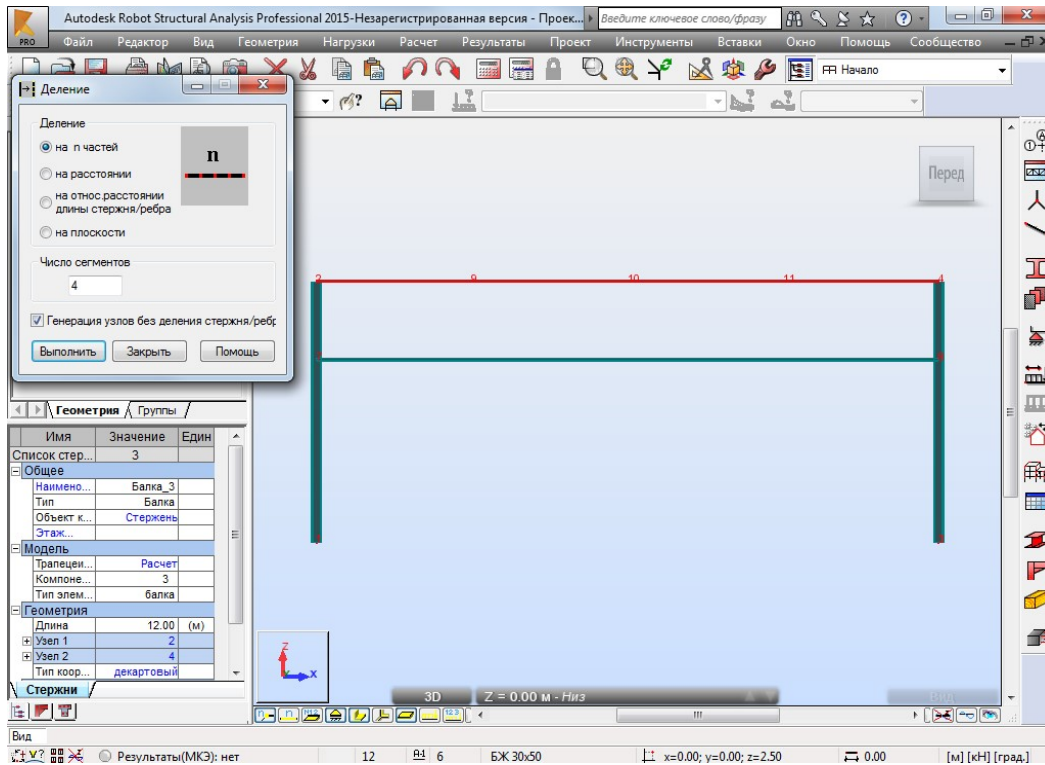
15. Выбираем верхнюю балку Стержень 4. В пункте меню *Редактор* выбираем команду *Разделить*.



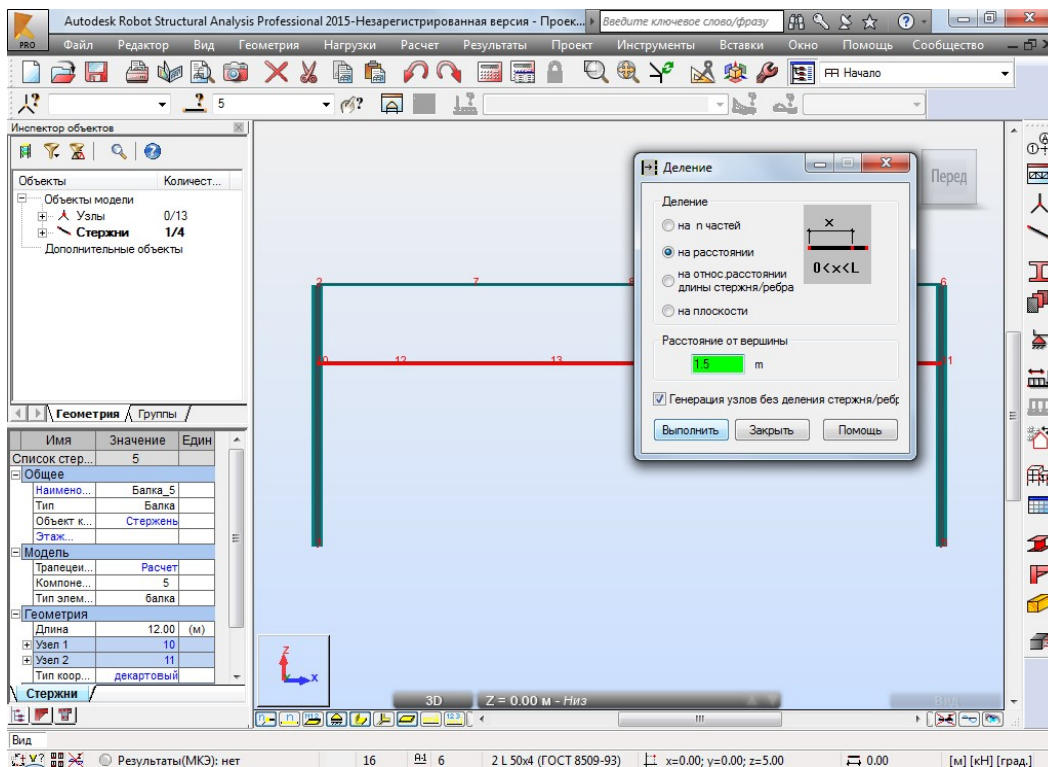
16. В окне *Деление* выбираем деление на n частей. Число сегментов – 4. Нажимаем кнопку *Выполнить*.



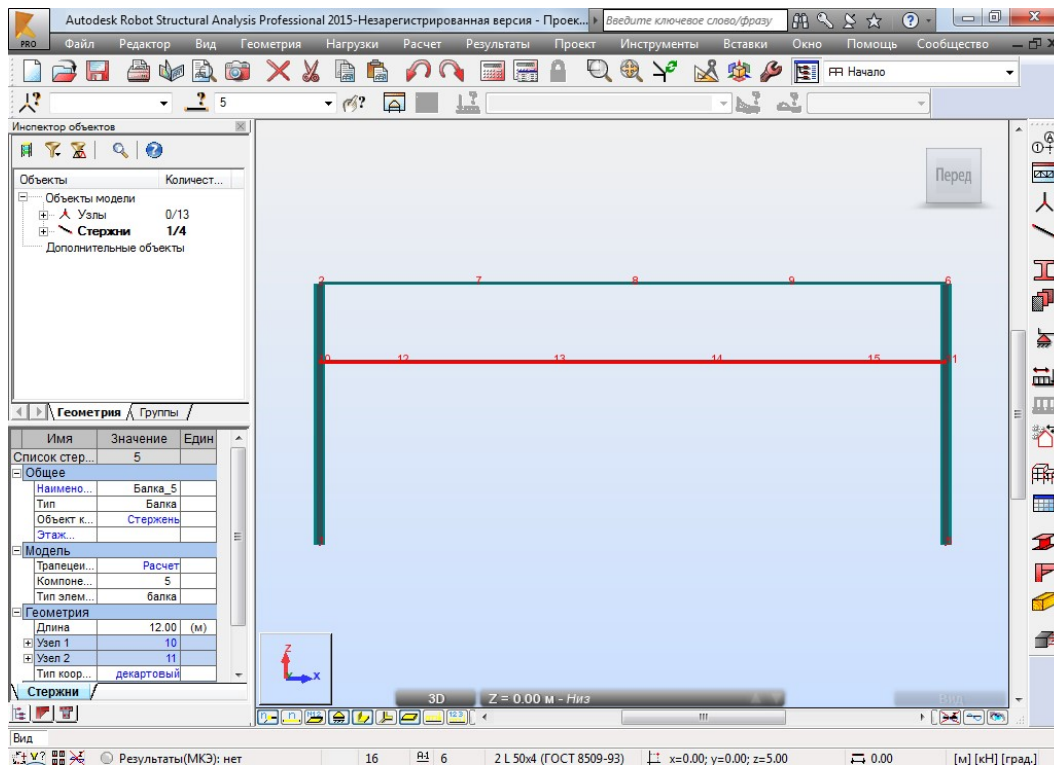
17. Получаем стержень, поделенный на части, но являющийся одним целым.



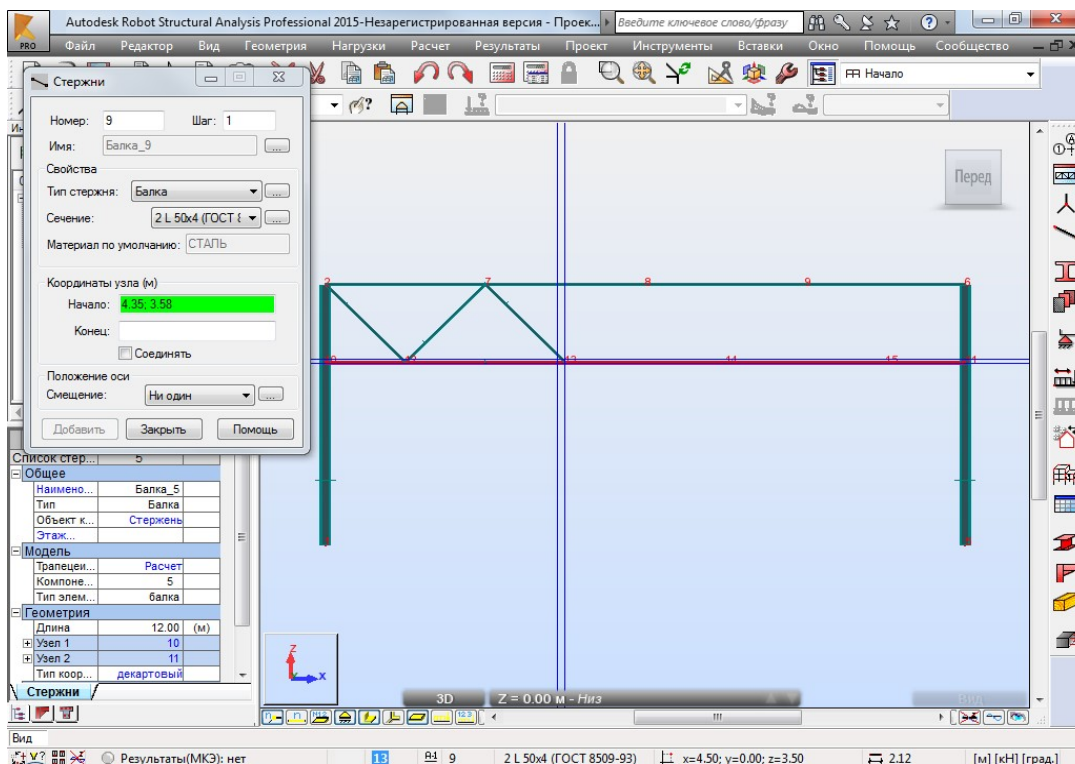
18. Выбираем нижнюю балку Стержень 4 и по аналогии с пунктами 15, 16 делим его на расстояниях 1,5 м, 4,5 м, 7,5 м и 10,5 м от левого узла.



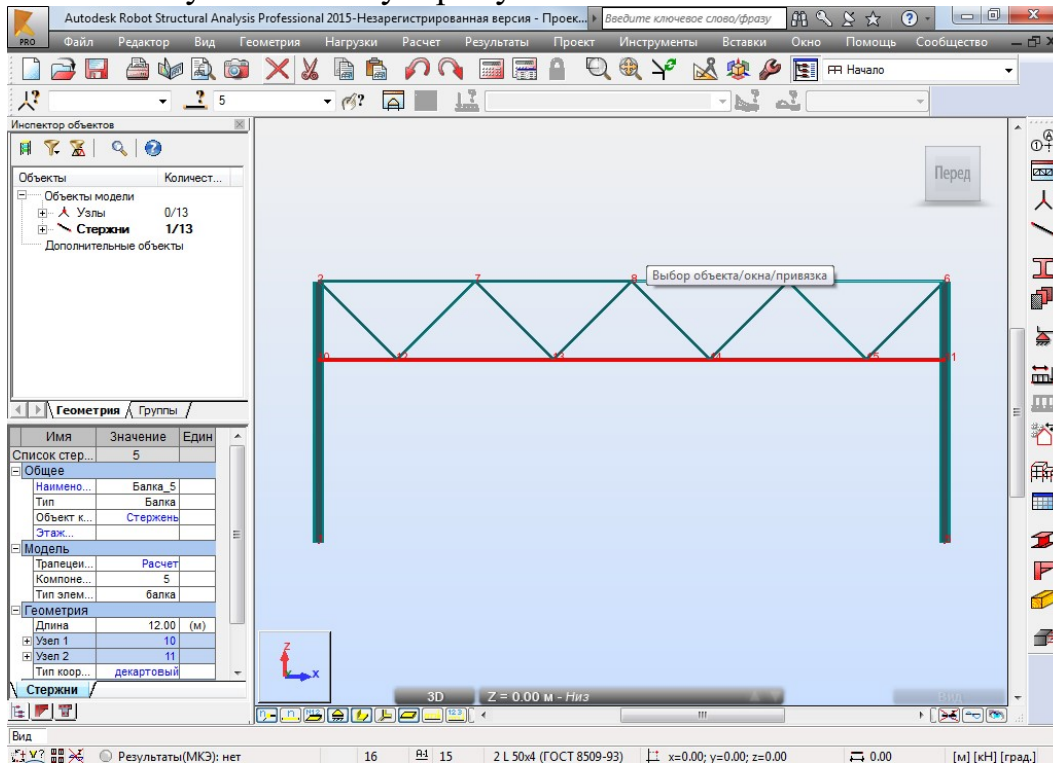
19. Получаем нижний стержень с узлами.



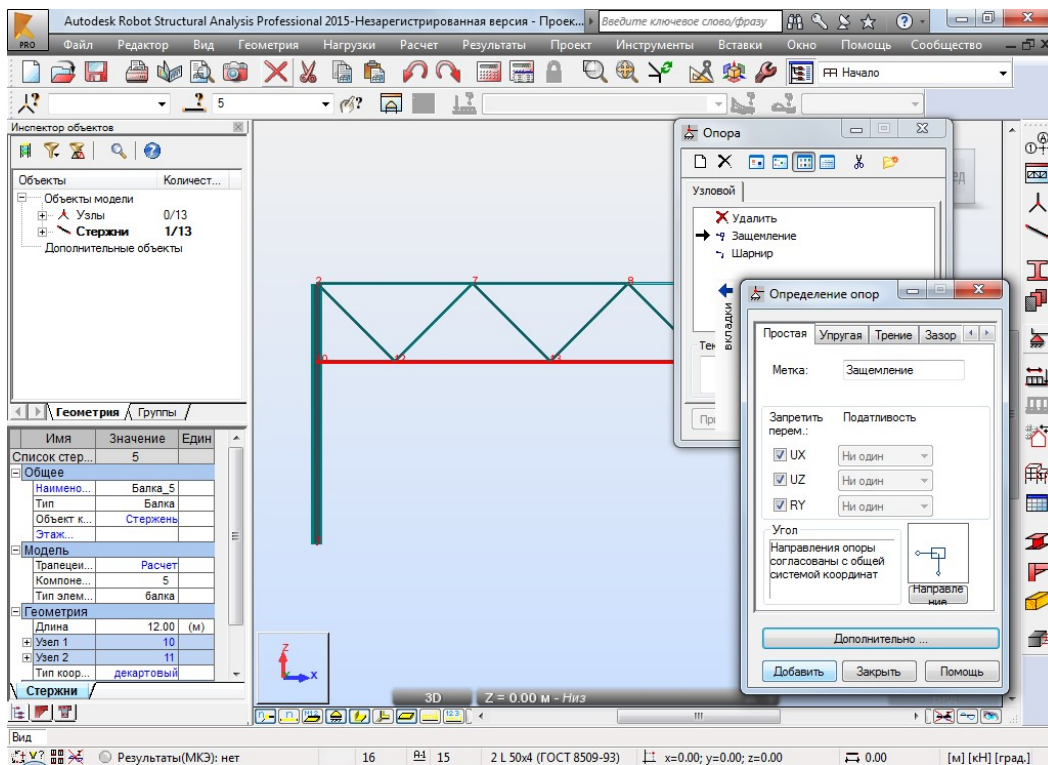
20. На панели инструментов справа выбираем команду *Стержни*. Заходим в *Сечение*. Во вкладке *Составное* выбираем форму *Два уголка обухом к обуху*. В списке *Сечение* выбираем уголок 50x4 (ГОСТ 8509-93). *Тип стержня* выбираем – *Простой стержень*. Далее, последовательно соединяя узлы верхней и нижней балок, создаем решетку фермы.



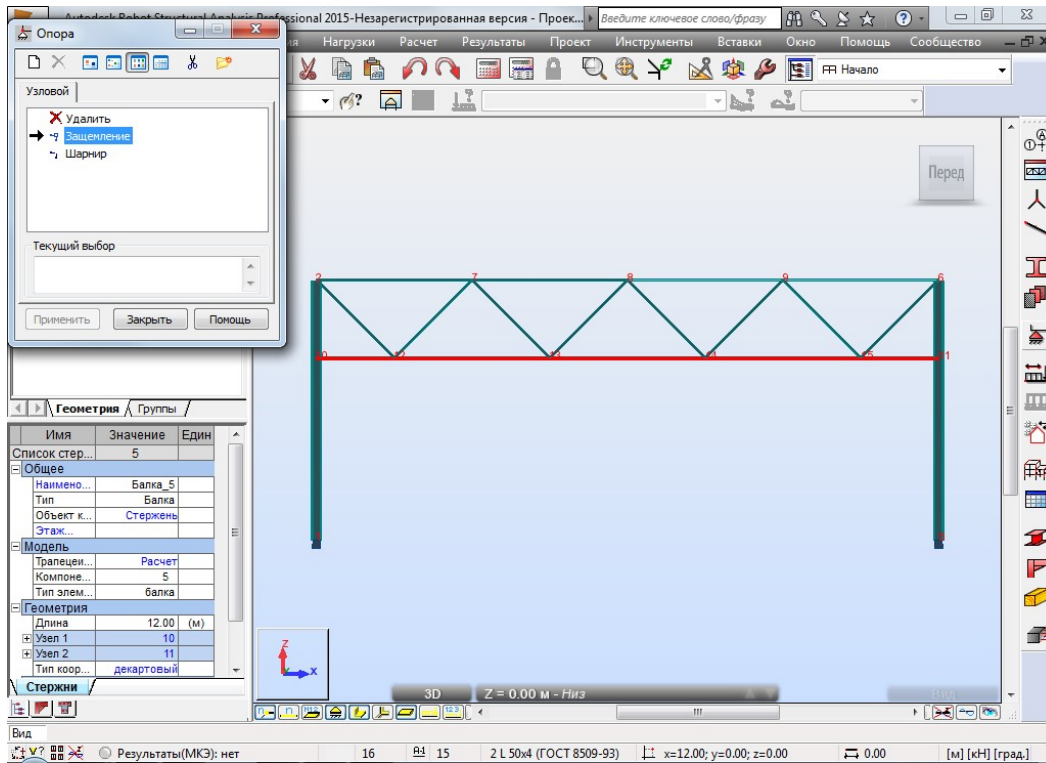
21. Получаем плоскую раму.



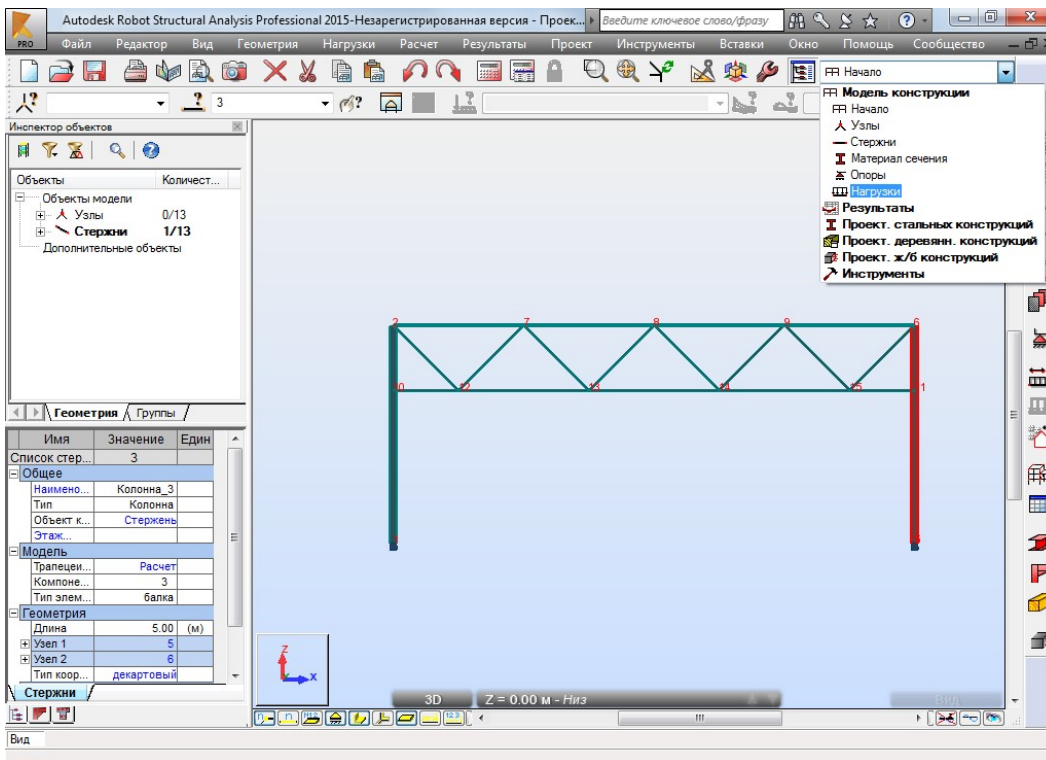
22. На панели инструментов справа выбираем команду *Опоры*. Выбираем жесткое *Защемление*, для этого запрещаем все перемещения и повороты.



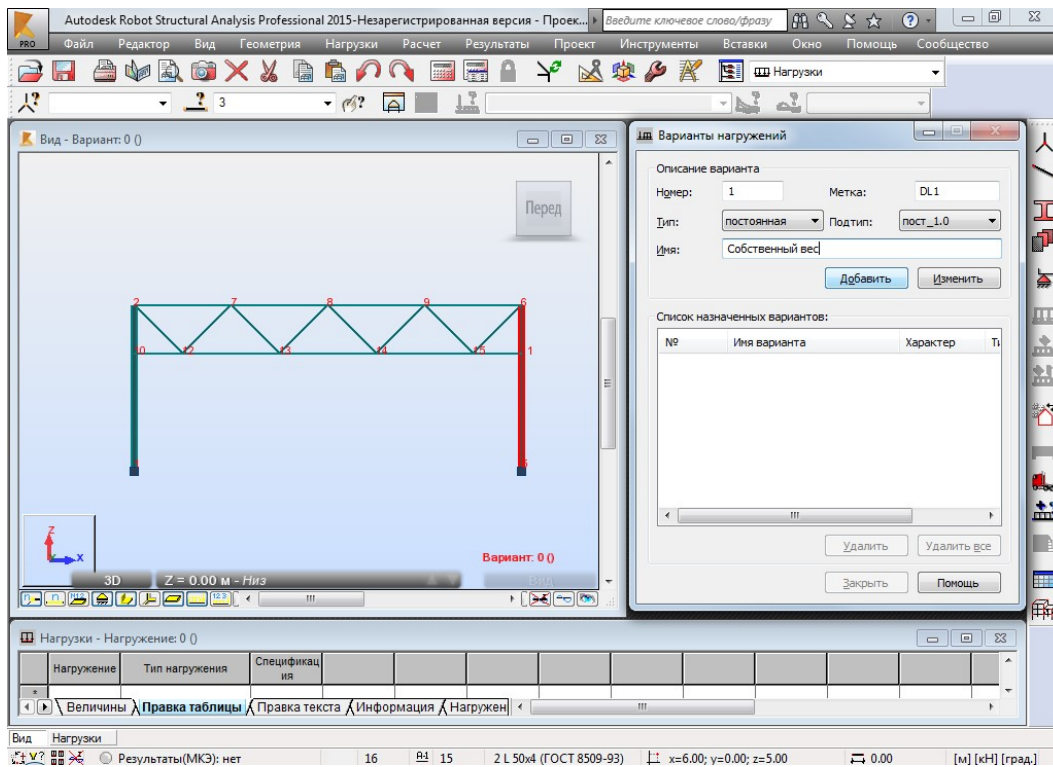
23. Назначаем опоры нижним основаниям колонн.



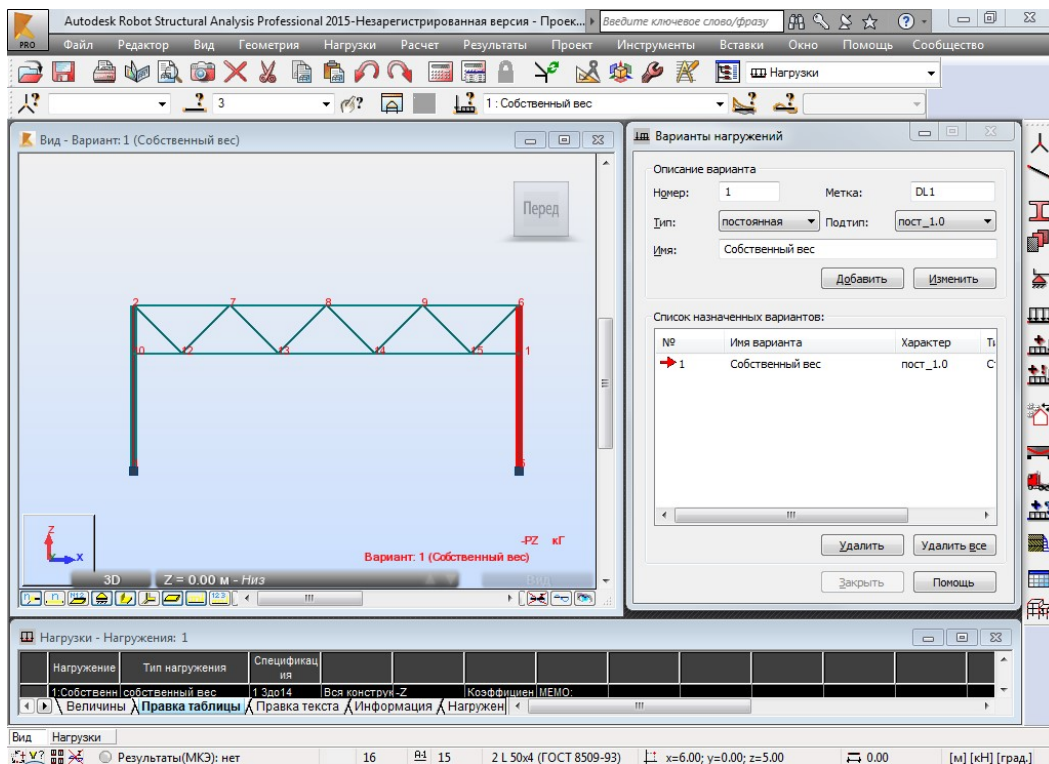
24. Далее переходим в раздел *Нагрузки*.



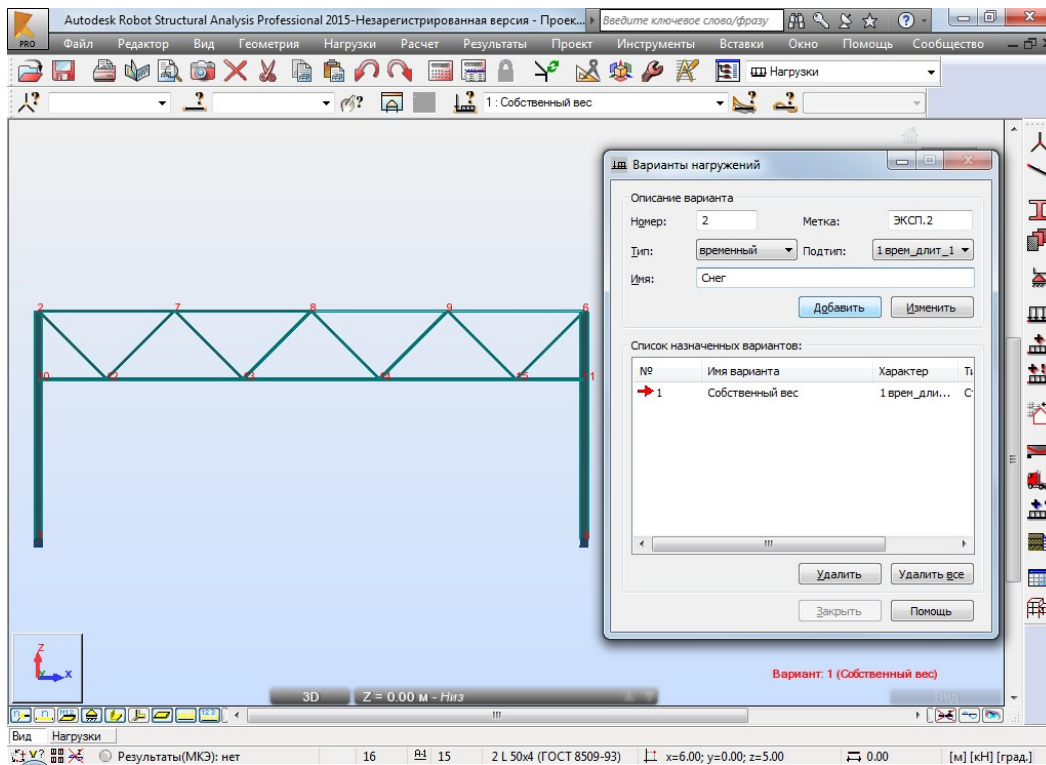
25. Первая нагрузка – это собственный вес. Для этого выбираем *Тип нагрузки – постоянная* и нажимаем кнопку *Добавить*.



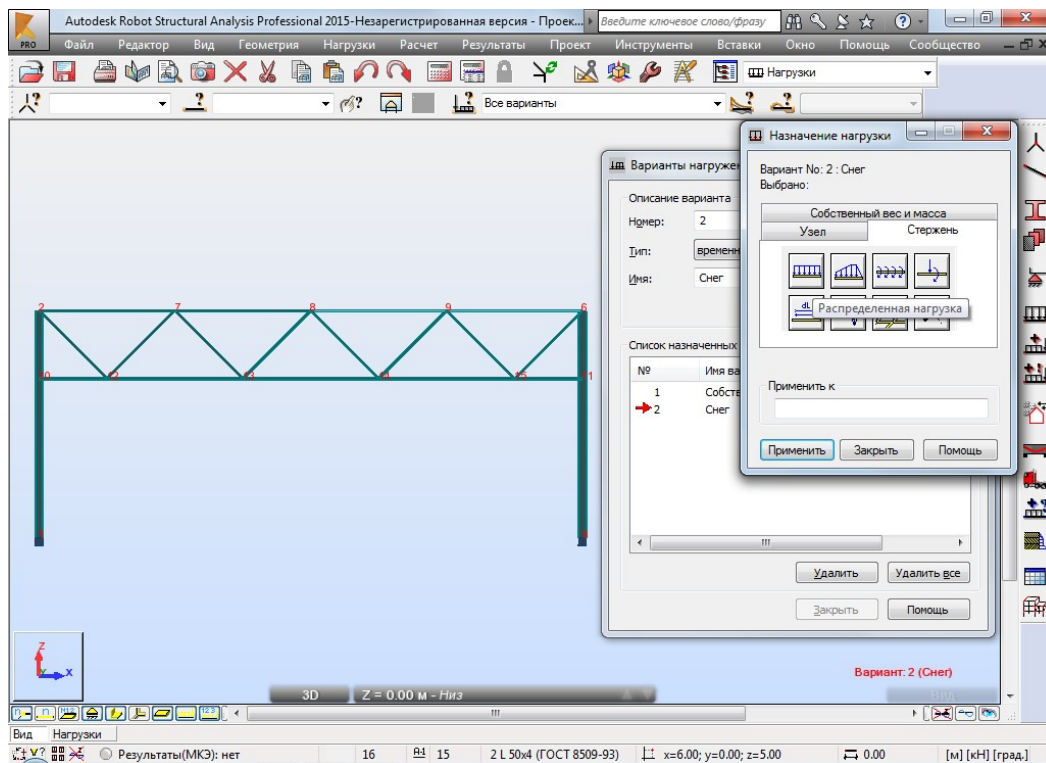
26. Собственный вес задан, это видно в таблице нагрузок.



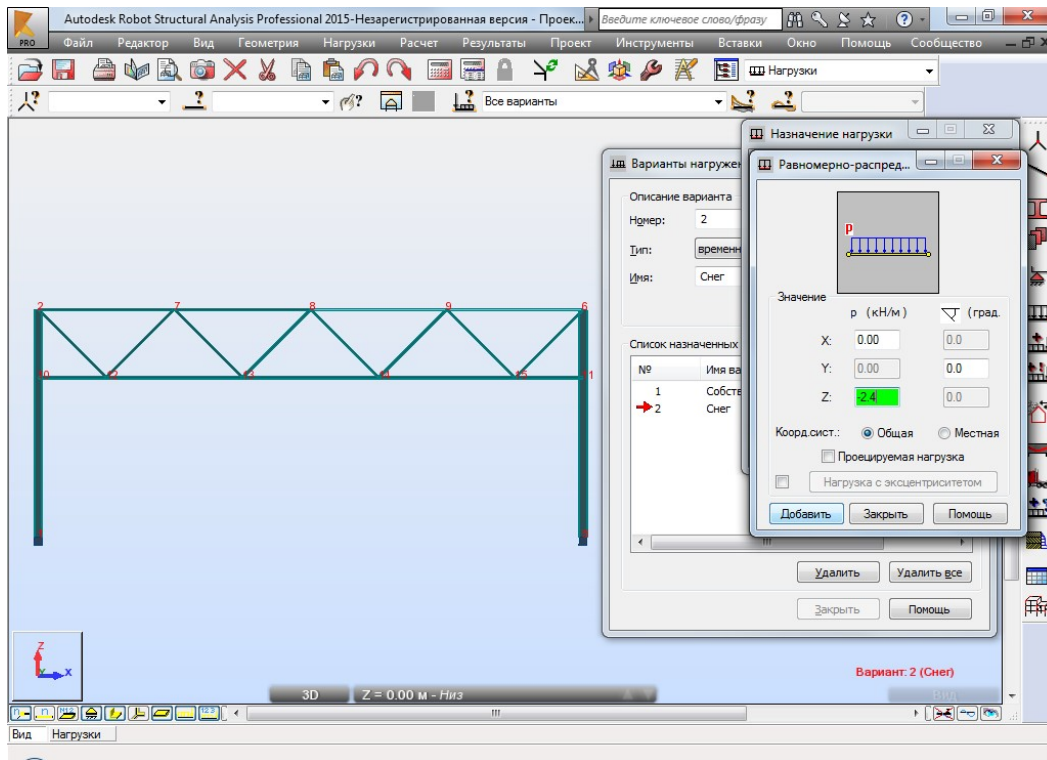
27. Следующая нагрузка – снеговая. Выбираем Номер – 2, Тип – временный, Имя – снег. Нажимаем кнопку *Добавить*.



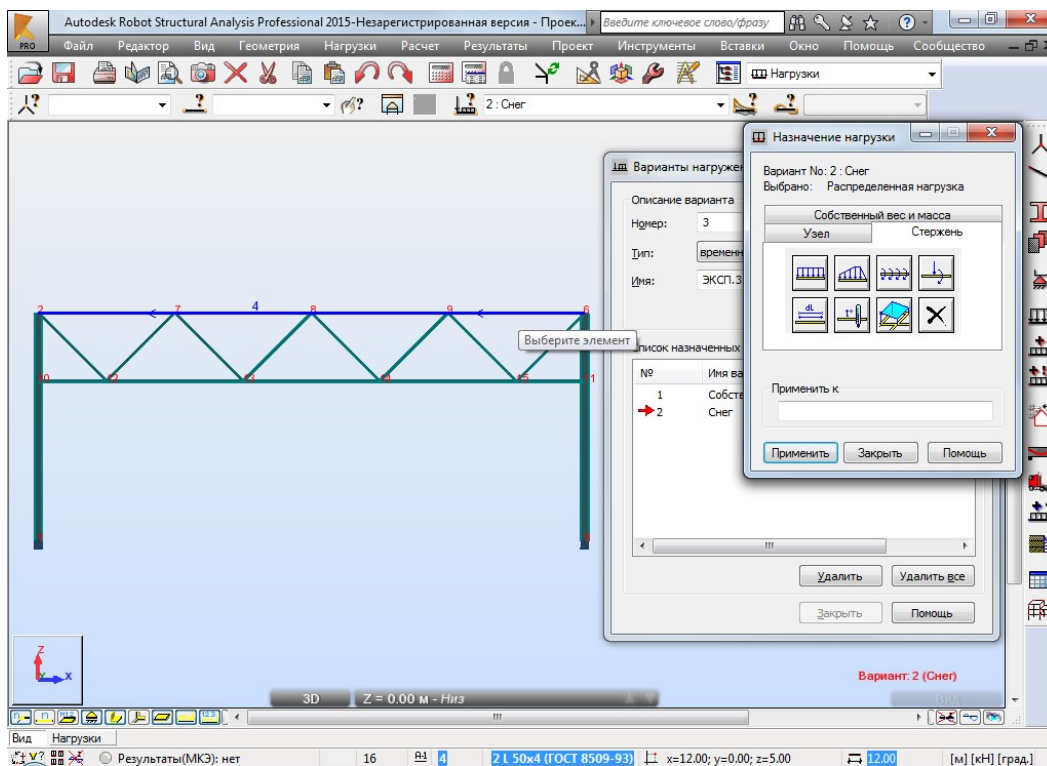
28. Назначаем величину снеговой нагрузки. В пункте меню *Нагрузки* выбираем пункт *Назначение нагрузки*. Во вкладке *Стержень* выбираем *Распределенную нагрузку*.



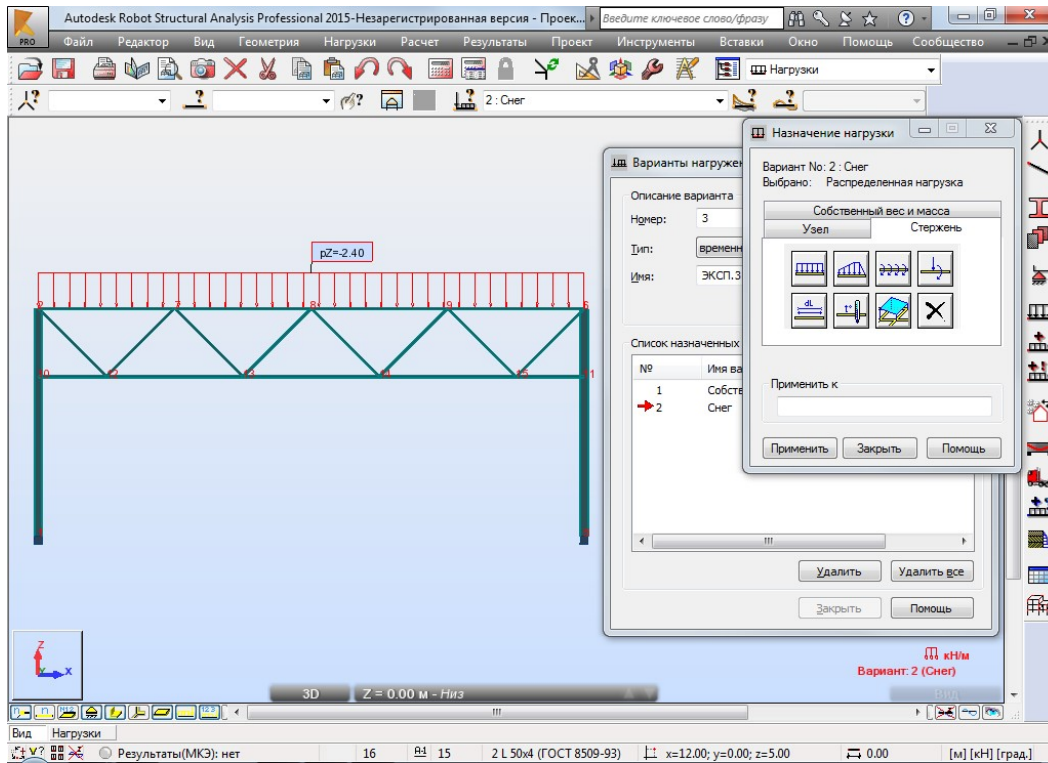
29. В раскрывшемся окне задаем нормативное значение нагрузки – 2.4 кН/м в направлении оси Z. Нажимаем кнопку *Добавить*.



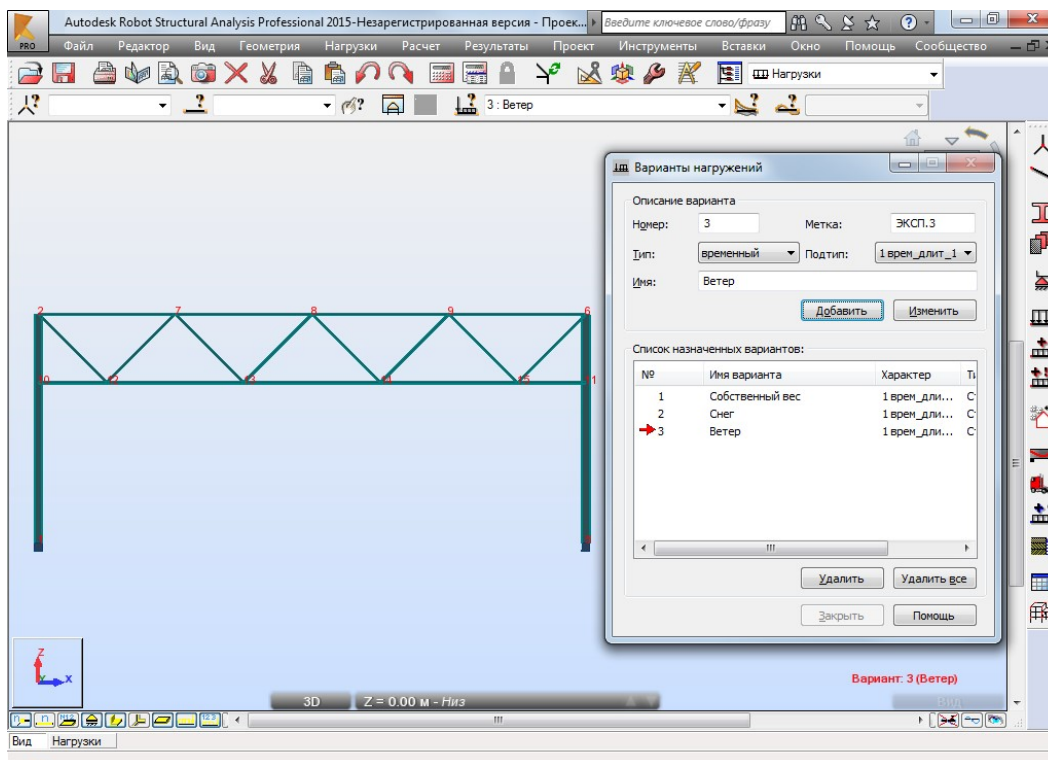
30. Выделяем верхнюю балку, и в окне *Назначение нагрузки* нажимаем *Применить*.



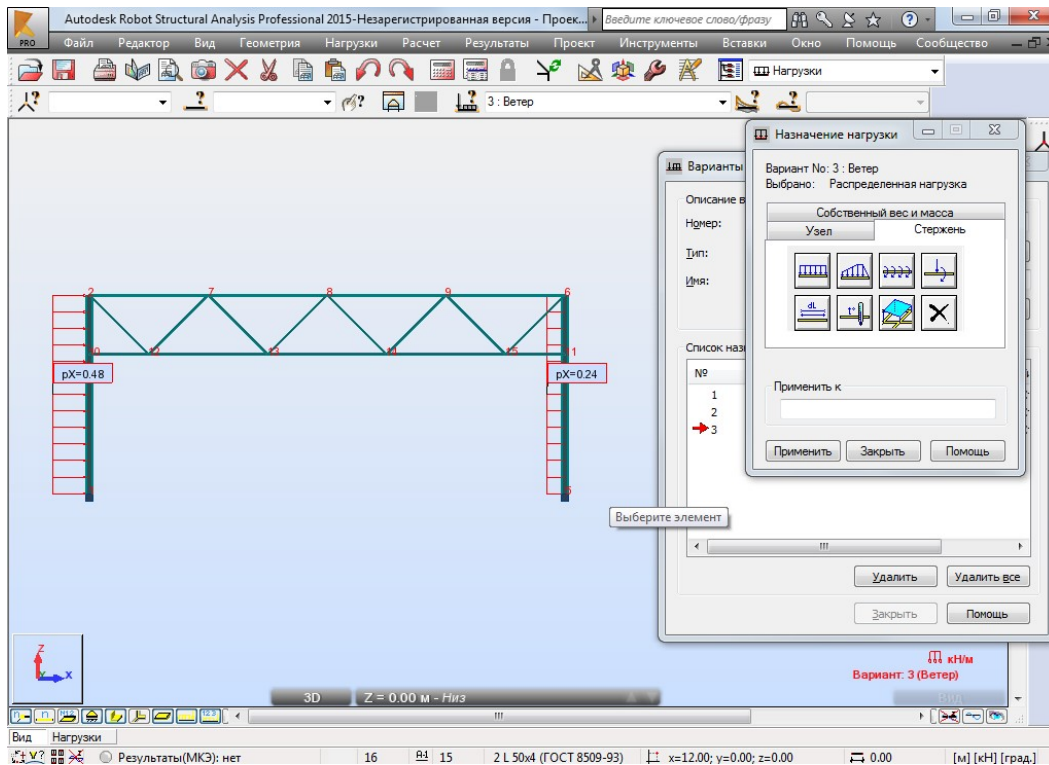
31. В таблице нагрузок и на схеме появляется снеговая нагрузка.



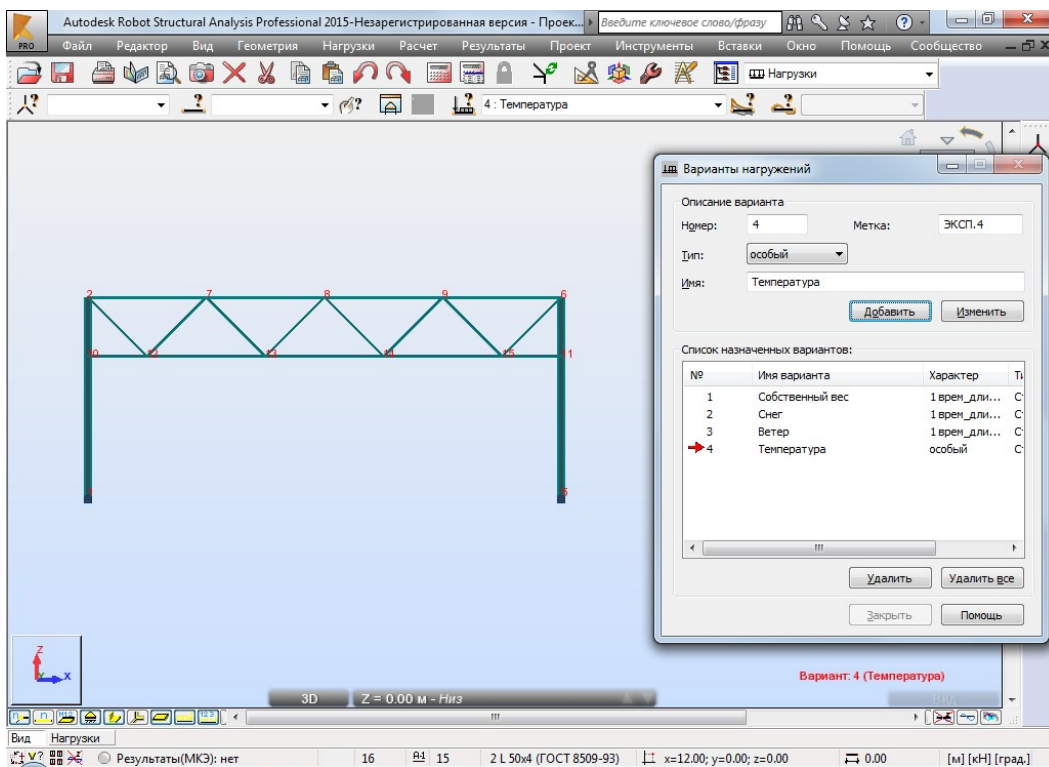
32. Создаем загрузение Ветер по аналогии с загрузением Снег.



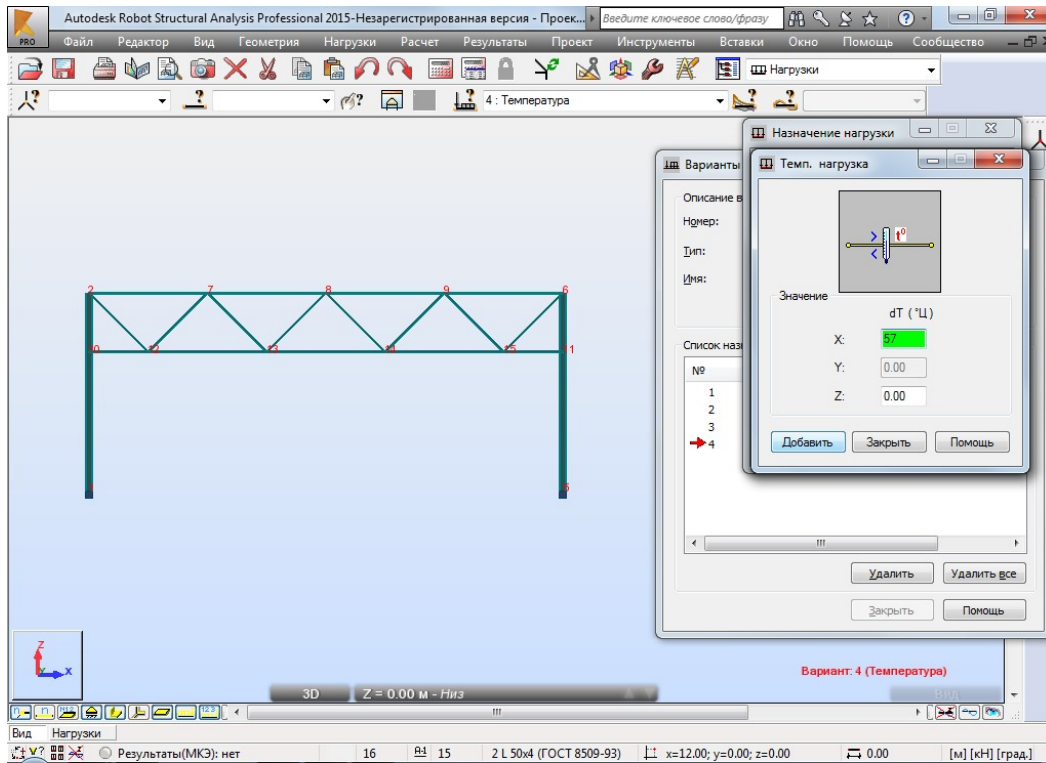
33. По аналогии с пунктами 29–31 задаем распределенную нагрузку в направлении оси Y на левую колонну – 0.48 кН/м, на правую колонну – 0.24 кН/м.



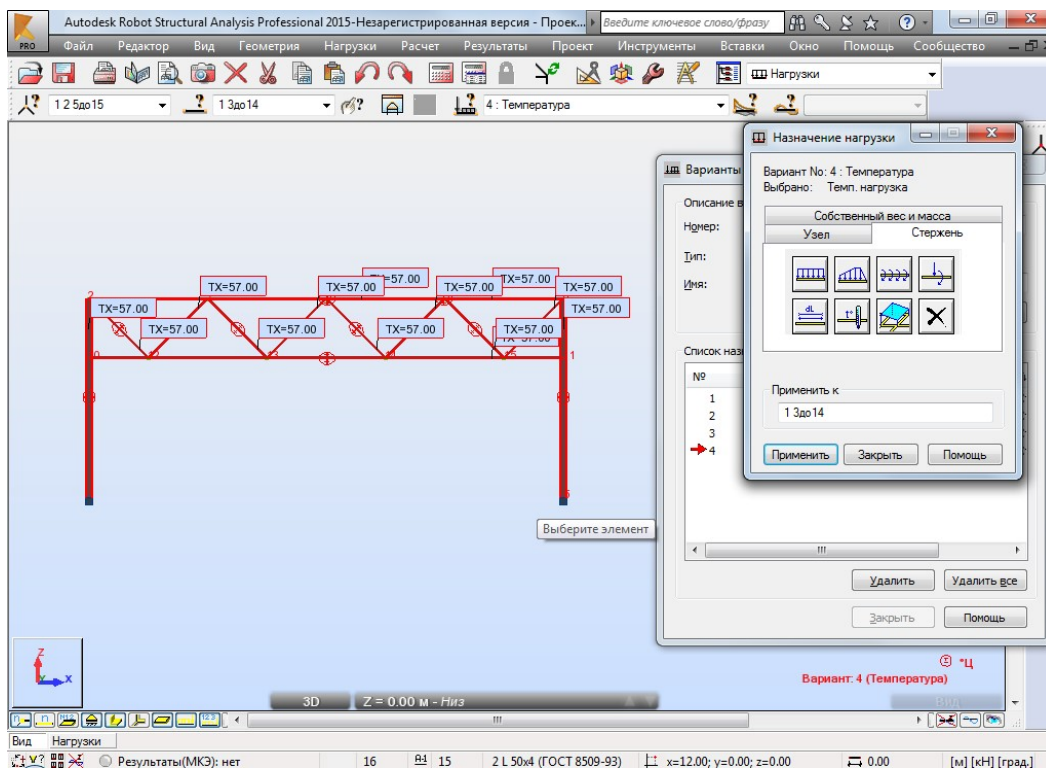
34. Создаем нагружение Температура.



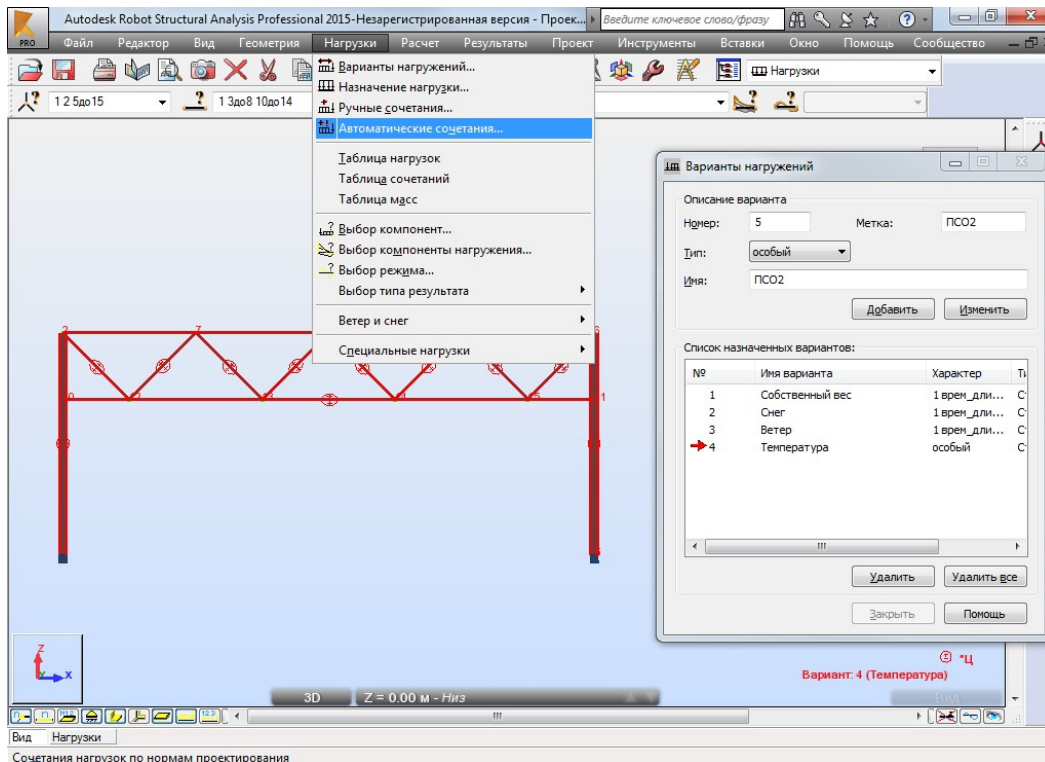
35. Назначаем на все конструкции Температурную нагрузку.



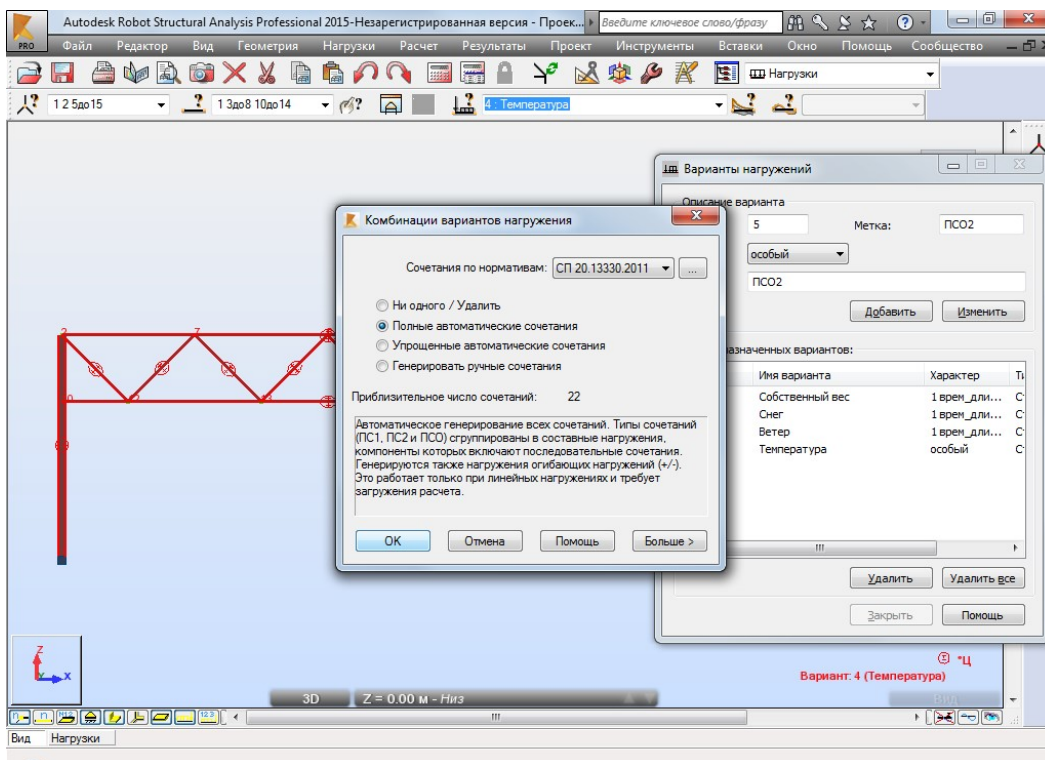
36. Температурная нагрузка приложена.



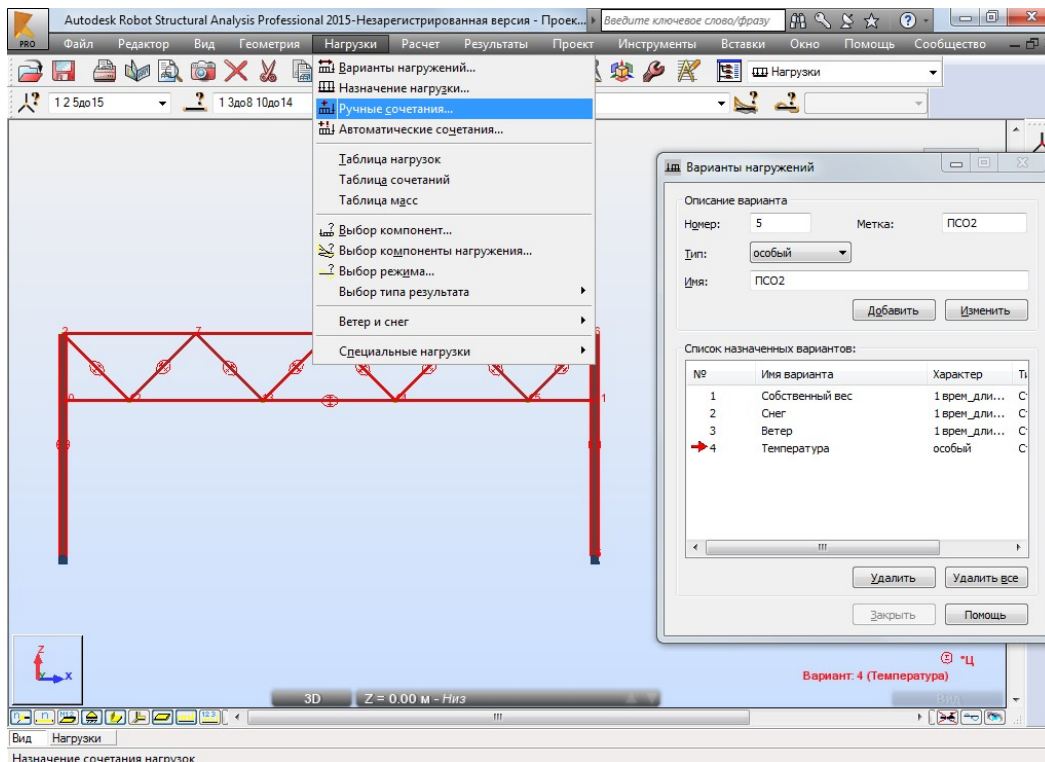
37. Создадим автоматические загрузения. В пункте меню *Нагрузки* выбираем *Автоматические сочетания*.



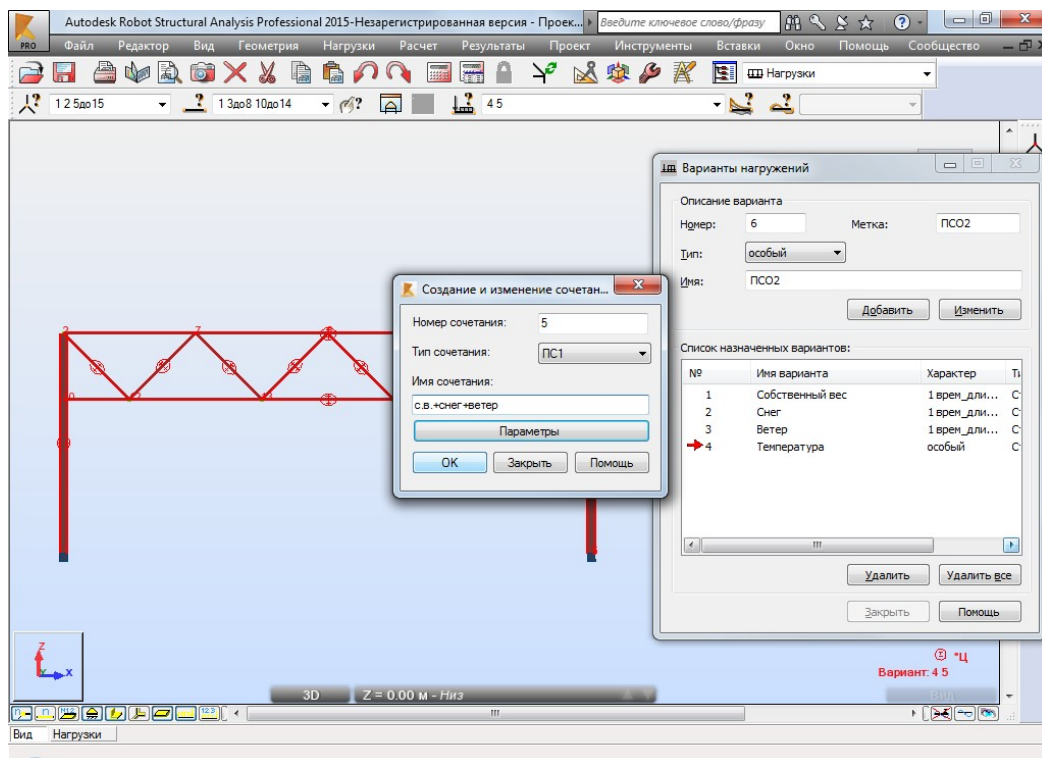
38. Для этого выбираем нужный вариант и нажимаем *Ок*.



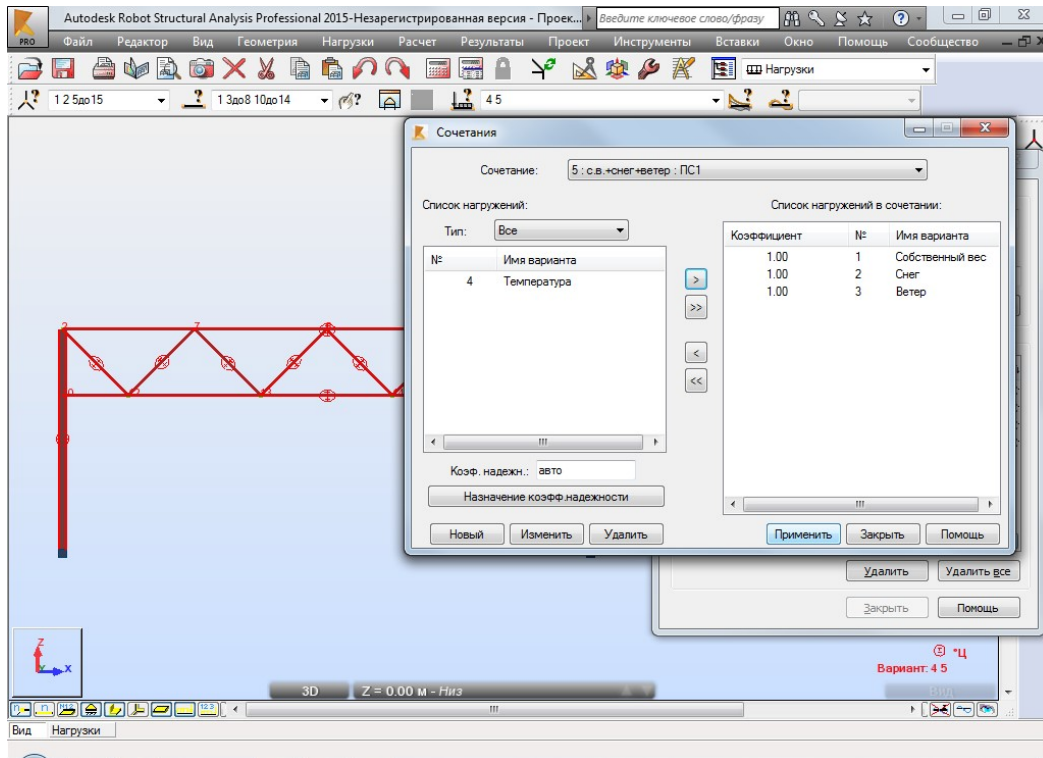
39. Можно создать Ручные сочетания. В пункте меню *Нагрузки* выбираем *Ручные сочетания*.



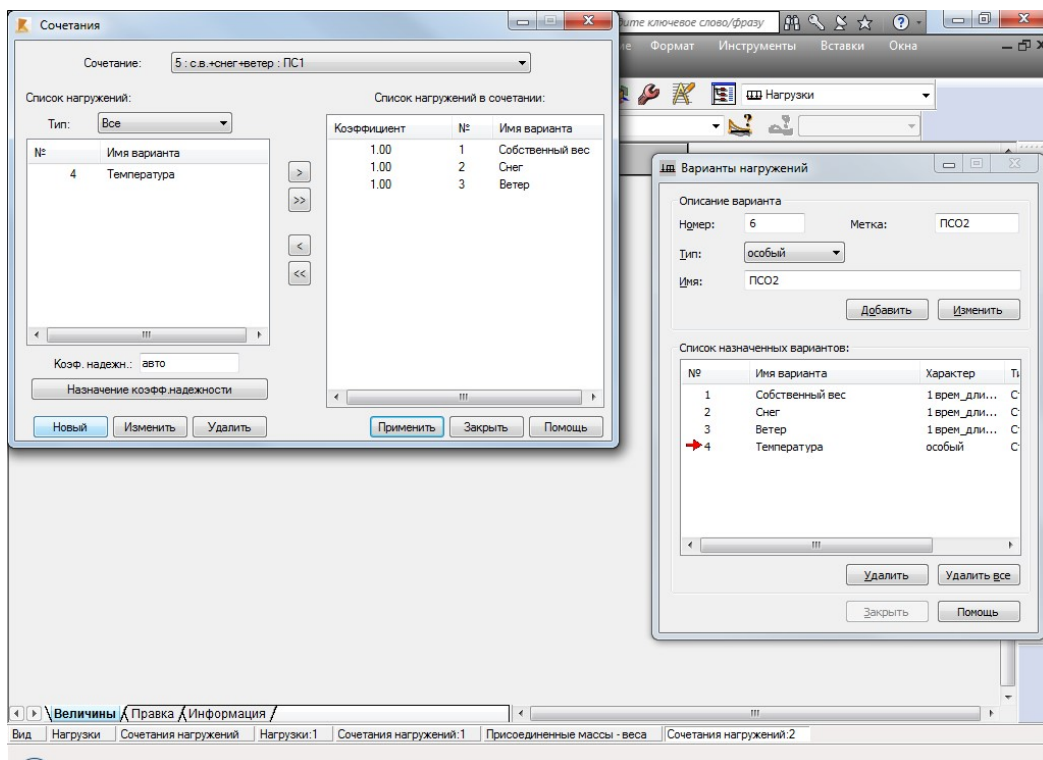
40. Задаем *Имя сочетания*. Первое создаем **собственное**: вес+снег+ветер.



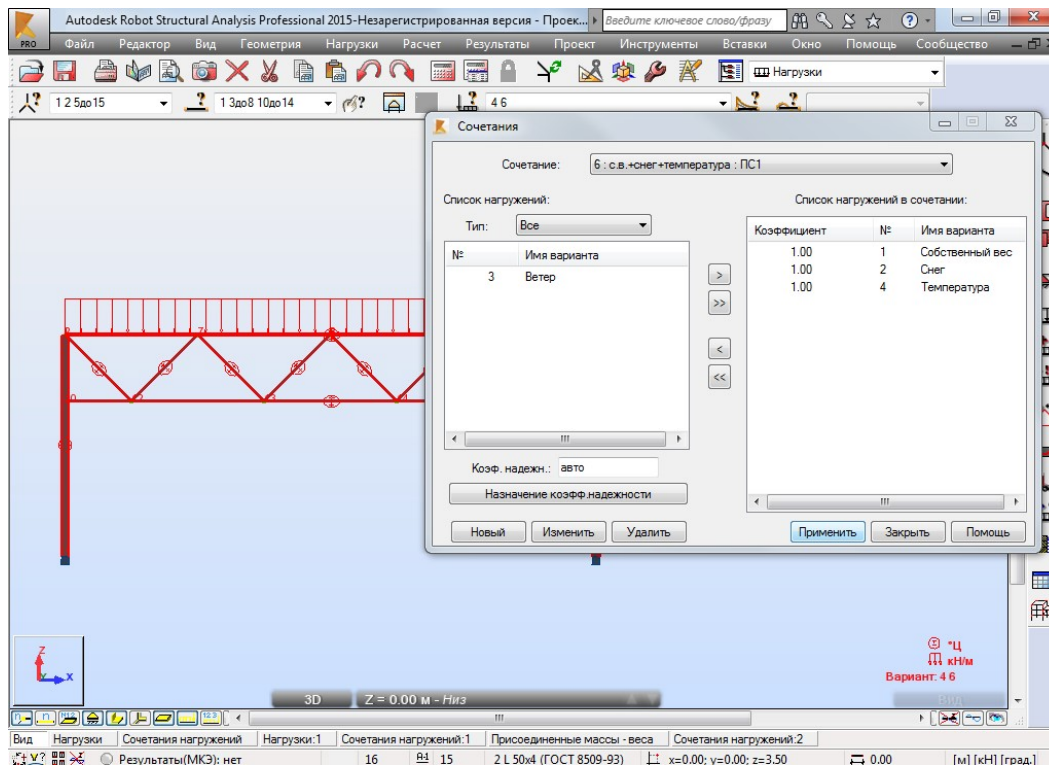
41. Добавляем нагрузки в *Список нагружений в сочетании* и нажимаем *Применить*.



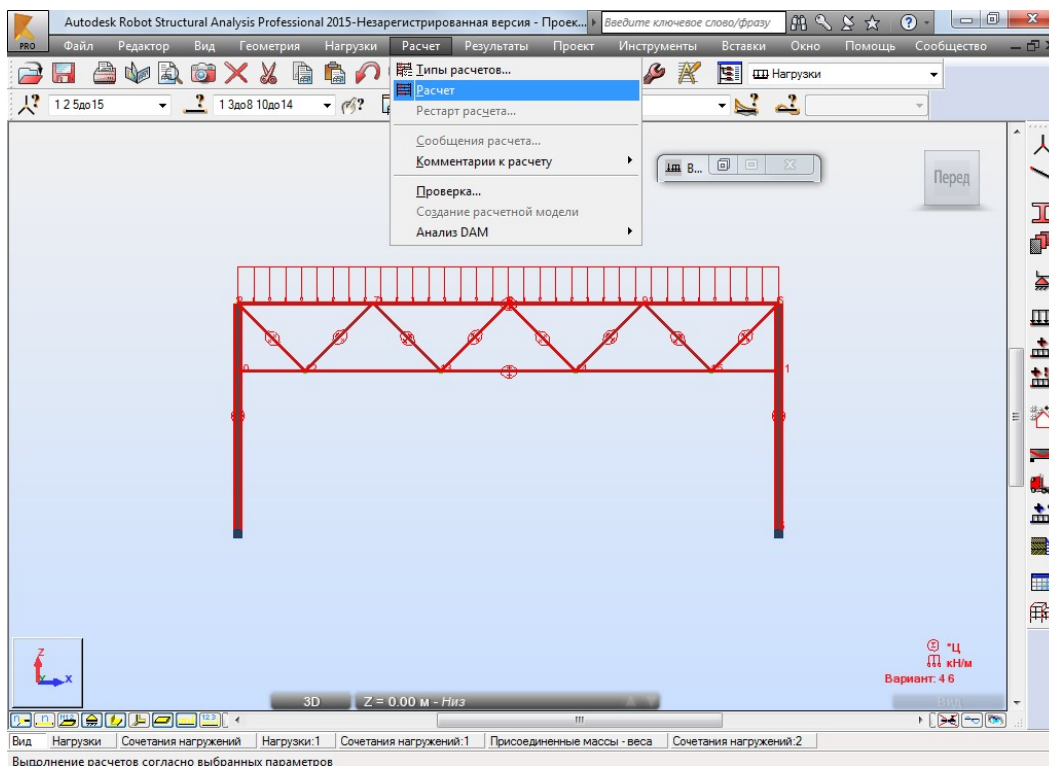
42. Создаем еще одно сочетание – собственный вес + снег + температура, для этого нажимаем на *Новый*.



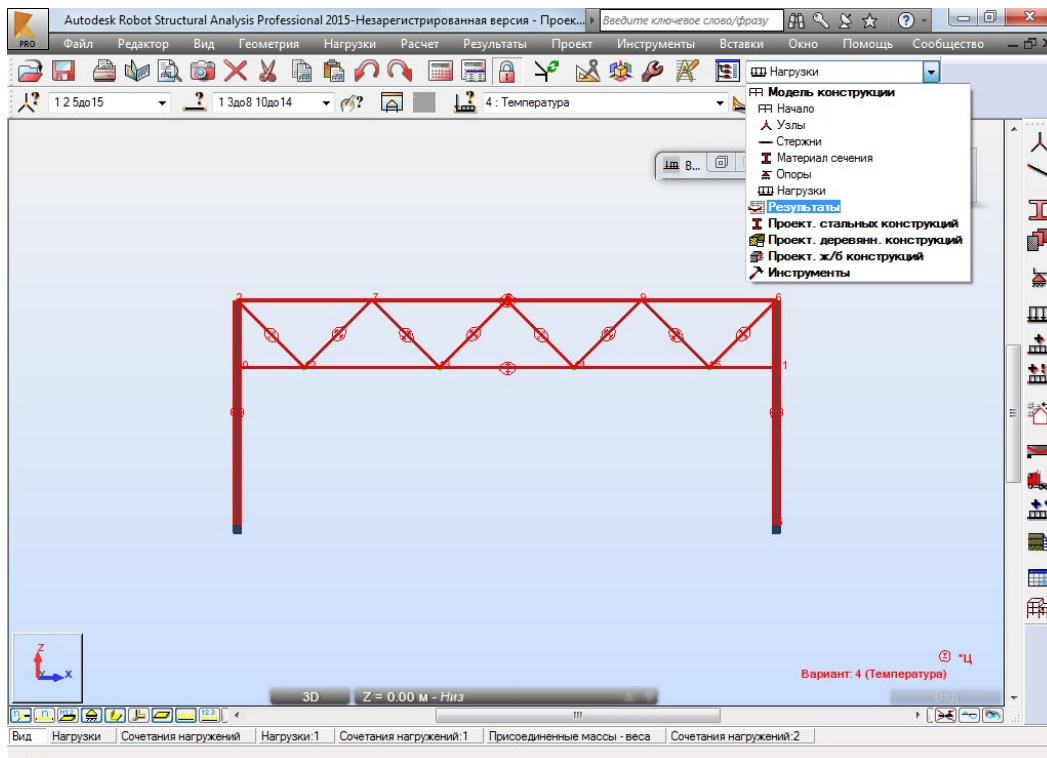
43. Добавляем загрузки.



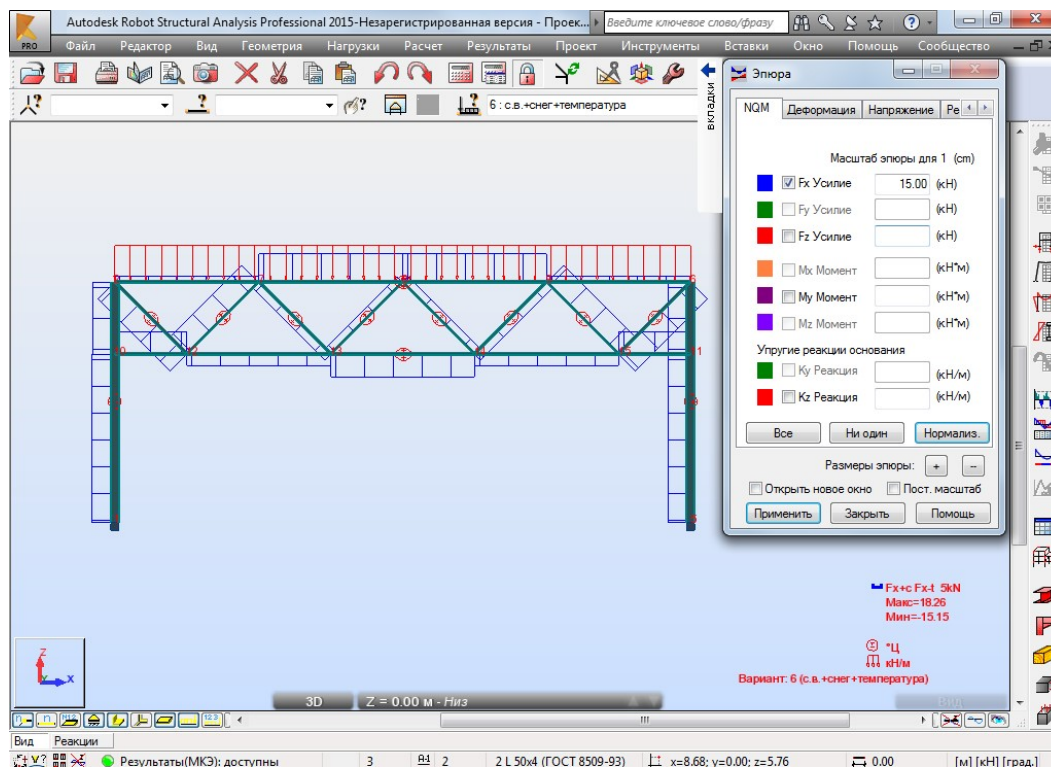
44. Отправляем на расчет. В пункте меню *Расчет* выбираем команду *Расчет*.



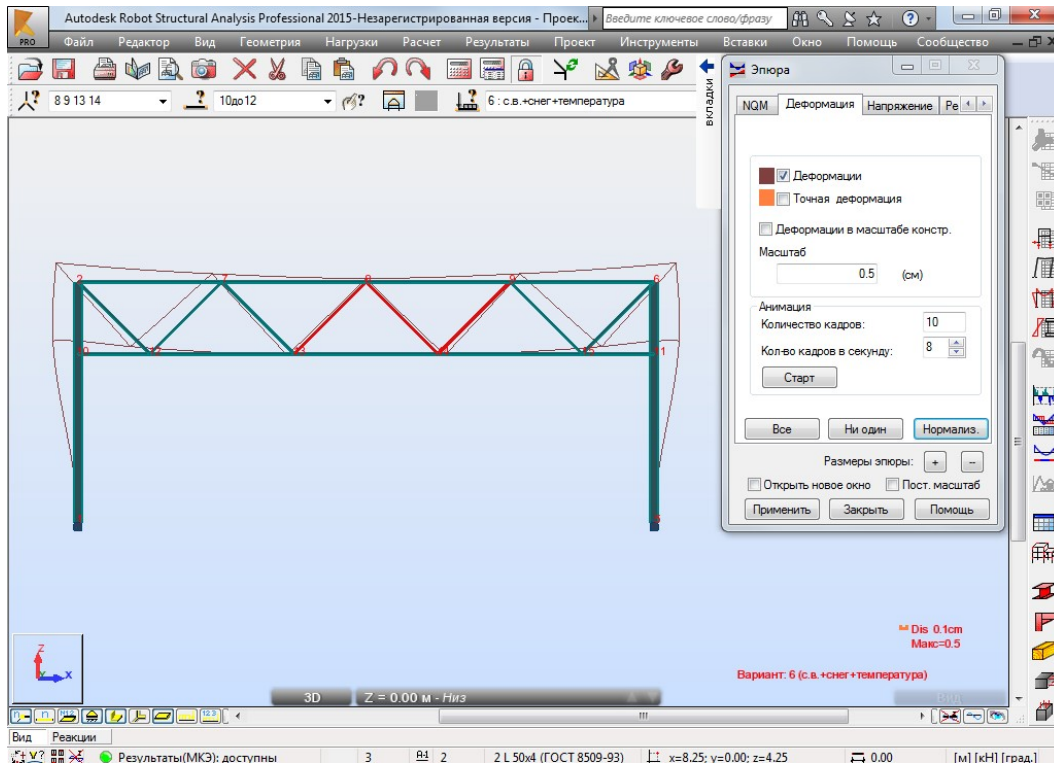
45. Далее переходим во вкладку *Результаты*.



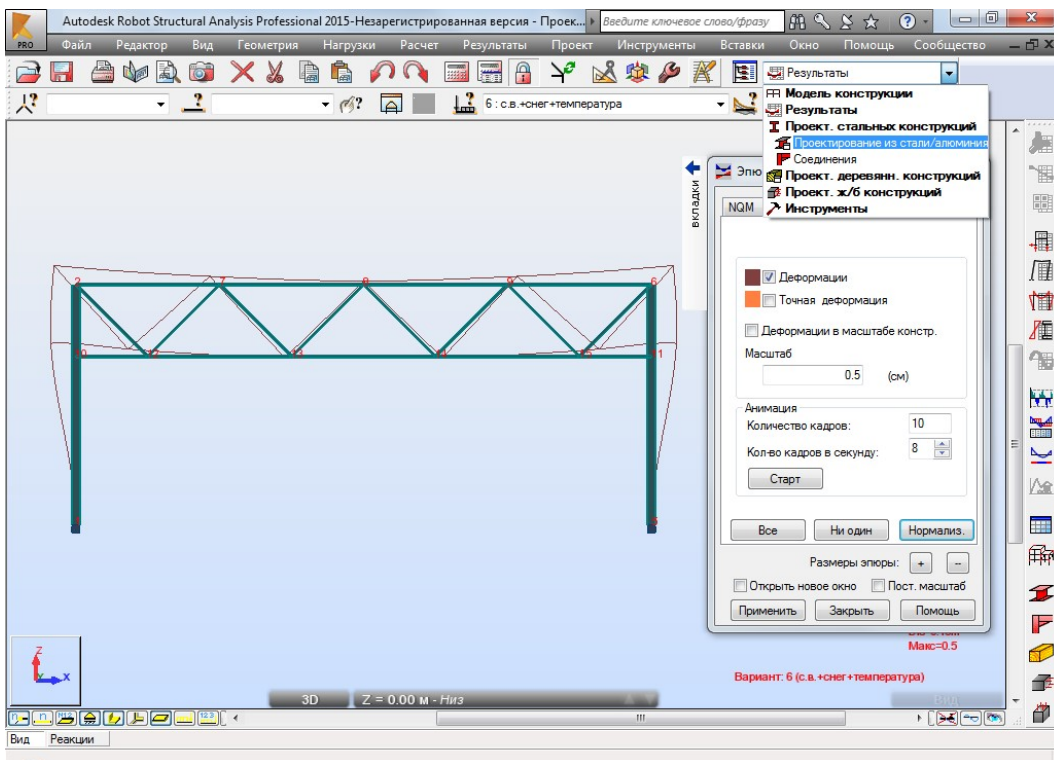
46. Ставим галочку в окне *Эпюра* напротив той эпюры, которую хотим посмотреть, и нажимаем *Применить*. Так же можно поменять нагрузки и посмотреть эпюры от всех нагрузок (включая сочетания).



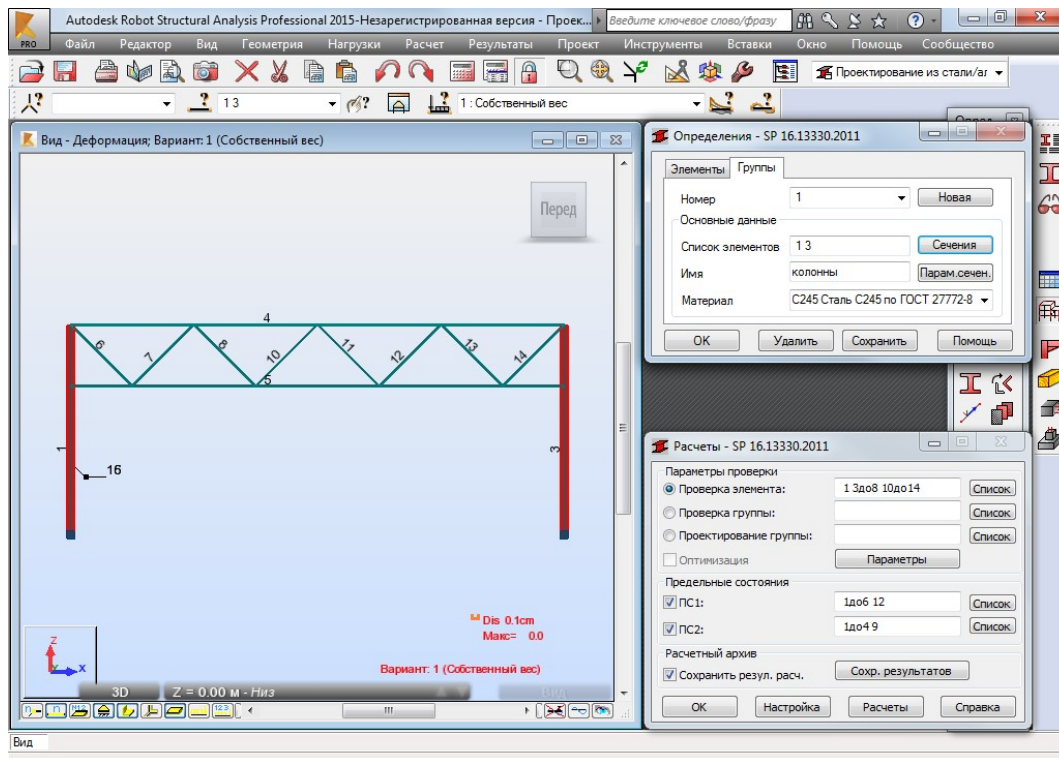
47. Можно посмотреть деформации. Для этого во вкладке *Деформация* ставим соответствующую галочку и нажимаем *Применить*.



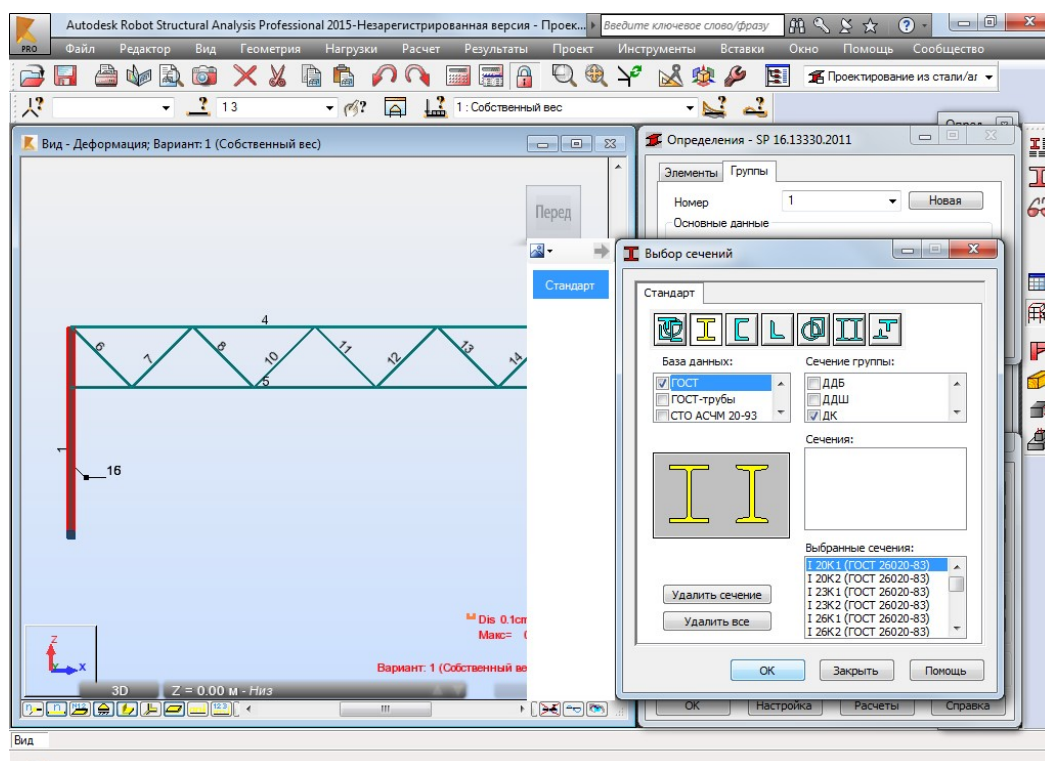
48. Переходим на вкладку Проектирование из стали/алюминия.



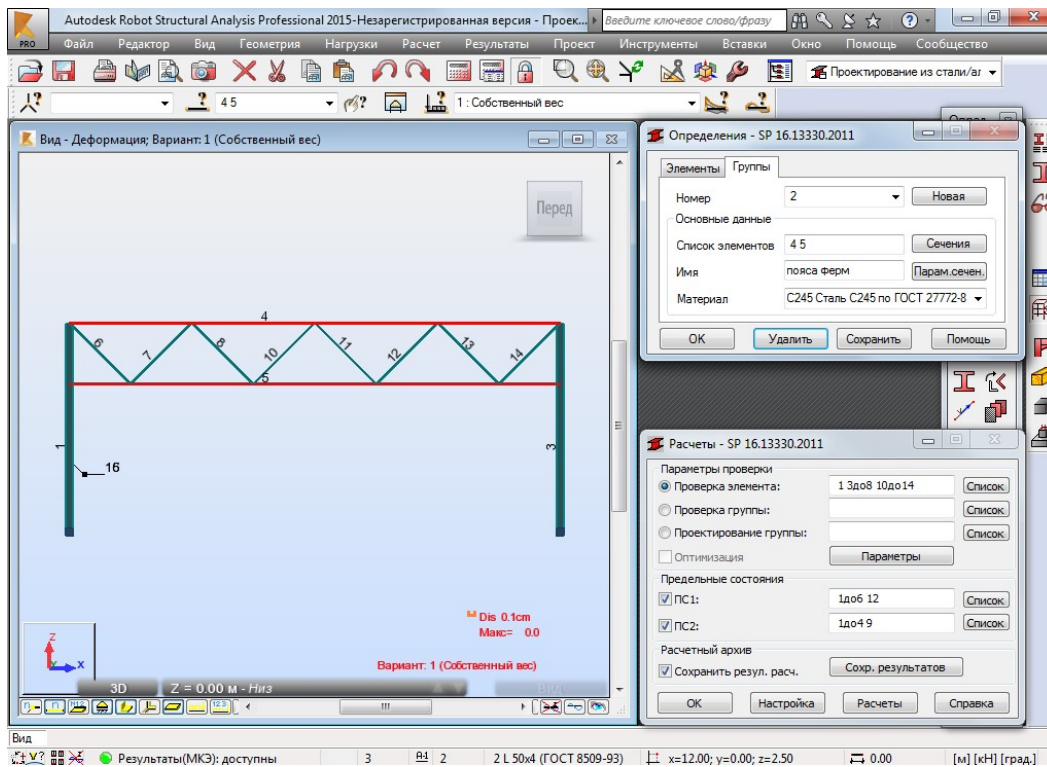
49. Создаем группы элементов. Для этого нажимаем на *Новая*. В список элементов включаем необходимые элементы (в нашем случае – колонны). Задаем *Имя*. Выбираем *Материал*.



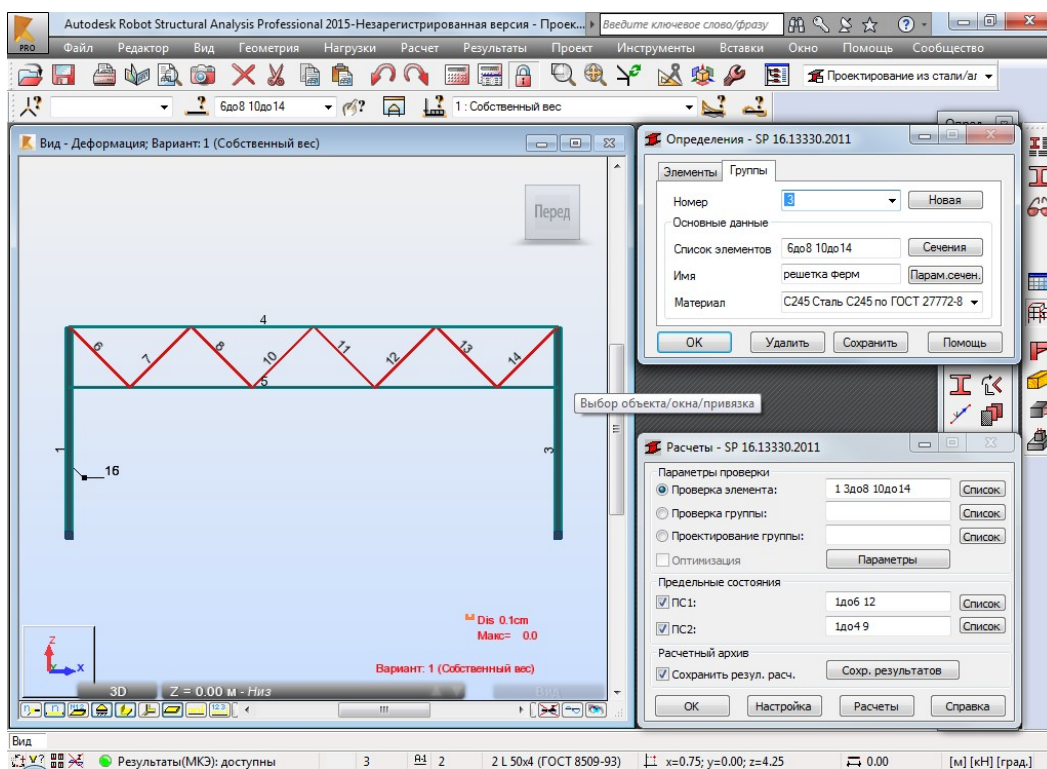
50. Нажимаем на Сечения. Выбираем необходимые сечения (в нашем случае колонны двутавровые, выбираем двутавры).



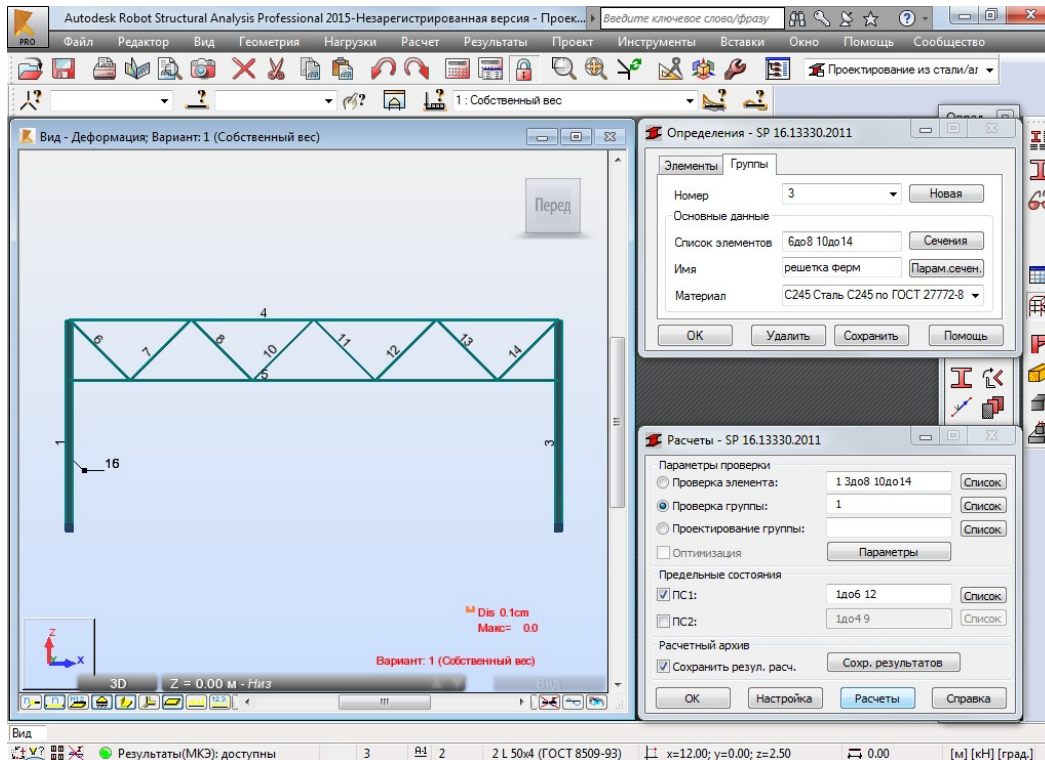
51. Во вторую группу включим пояса ферм.



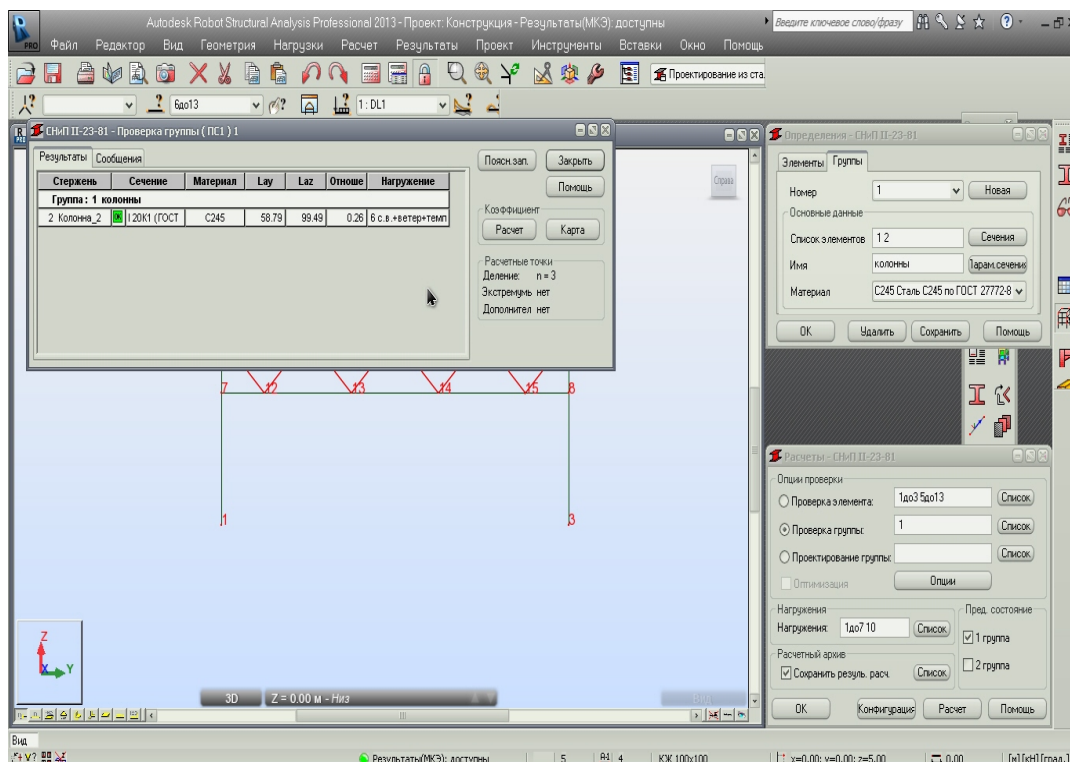
52. В третью добавляем решетку фермы.



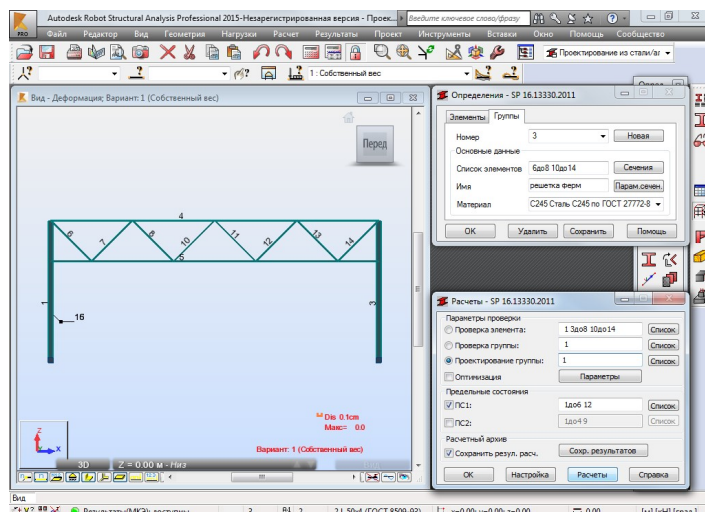
53. Проверим колонны. Для этого выбираем *Проверка группы*, пишем группу 1 и нажимаем *Расчет*.



54. Выводится табличка, где можно посмотреть, какая нагрузка неблагоприятная, и видим, что колонна проходит.



55. Можно так же подобрать оптимальное сечение. Для этого выбираем *Проектирование группы*, вводим номер группы и нажимаем *Расчет*.



56. Выводится наиболее оптимальное сечение.

6. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 20.13330.2016. «Нагрузки и воздействия».
2. СП 16.13330.2017. «Стальные конструкции».
3. Справочник проектировщика. Металлические конструкции.– М., 1998.
4. Сварочные работы в строительстве. Оботуров В.И.– М., 2013.
5. Ибрагимов А.М., Парлашкевич В.С. Сварка строительных металлических конструкций.– М., 2012.
6. Металлические конструкции. /Под редакцией Кудишина Ю.И.– М., 2007.
7. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Специальный курс.– М., 1982.
8. http://svartek.ru/articles_view.php?id_articles=339
9. <http://penzaelektrod.ru/articles/art3.htm>
10. <http://www.defjoint.ru/svarka-metallor/suschnost-protssessa-svarki.html>
11. <http://b2b.imperija.com/index.php?id=1270566433>
12. <http://shtorm-its.ru/osnovyi-metallurgicheskikh-protssessov-pri-svarke>
13. <http://www.personal.mgn.ru/possvarka/6-03.html>
14. <http://ru.convdocs.org/docs/index-42067.html>
15. <http://elsvarkin.ru/texnologiya/vidy-defektov-svarnyx-soedinenij-obrazovyvavshiesya-pri-svarke/>
16. <http://obsledovanie-zdaniya.ru/ultrazvukovaya-defektoskopiya-kontrol-kachestva-svarnih-shvov-soedineniy.php>
17. http://oitsp.ru/welding_article/vidy-defektov-svarnyh-soedineniy
18. <http://globalscience.ru/news/otdelrab/3403-kontrol-kachestva-svarnyh-shvov-osnovnye-metody.html>
19. http://metallichekiy-portal.ru/articles/svarka/polyavtomat/defekti_v_shvax_i_ix_preduprejdienie
20. <http://metal-construct.ru/soedinenija-konstrukcij9.html>
21. [http://portal.tsuab.ru/materials/Met-2011-09\(500-555\)/527.pdf](http://portal.tsuab.ru/materials/Met-2011-09(500-555)/527.pdf)

Шмелев Г.Н., Гимранов Л.Р., Фахрутдинов А.Э.

**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ
В ПК ANSYS-WORKBENCH И ROBOT»**

Учебно-методическое пособие

для студентов, обучающихся по направлению
08.03.01 «Строительство», по курсу
«Компьютерные методы проектирования и
расчета зданий»