

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов магистратуры направления 08.04.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов магистратуры направления 08.04.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2020

УДК 622:744(073)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Л.А. Голдобина*. СПб, 2020. 38 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ, предусмотренных учебным планом, а также для самостоятельного приобретения навыков работы в программном продукте Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

Методические указания содержат: введение, цель и порядок выполнения лабораторных работ по проектированию плоской стальной фермы, пространственного стального каркаса и силосного сооружения.

В примерах выполнения лабораторных работ представлены: выбор и построение расчетных схем строительных конструкций и сооружений; создание типов нагружения; выполнение статических расчетов; анализ полученных результатов; выбор оптимальных сечений элементов строительных конструкций.

Методические указания составлены в соответствии с разработанной на кафедре рабочей программой по дисциплине «Информационные технологии в строительстве» и предназначены для студентов магистратуры направления 08.04.01 «Строительство», направленность (профиль) подготовки «Проектирование строительства и реконструкции зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения».

Научный редактор проф. *А.Г. Протосеня*

Рецензент проф. *А.И. Примакин* (Санкт-Петербургский университет МВД РФ)

ВВЕДЕНИЕ

Autodesk Robot Structural Analysis Professional – программный комплекс, предназначенный для проведения расчетов строительных конструкций зданий и сооружений различного уровня сложности на прочность, устойчивость и динамические воздействия. Этот продукт обеспечивает более рациональный рабочий процесс и взаимодействие с Autodesk Revit Structure, расширяя возможности информационного моделирования (BIM) и позволяя быстрее выполнять всесторонний анализ различных конструкций. Возможность взаимодействия с Autodesk Revit Structure делает информационную модель здания (BIM) еще более информативной. Инженеры имеют возможность выполнять расчеты методом конечных элементов различных типов конструкций значительно быстрее.

Основные возможности: двусторонняя связь с Autodesk Revit Structure; передача результатов расчетов в модель конструкций повышает скоординированность рабочей документации; высокая точность разбиения на конечные элементы; мощный механизм генерации конечно-элементной сетки; поддержка линейных и нелинейных методов расчета конструкций; применение государственных стандартов; поддерживается множество языков, систем единиц, сводов правил и более 60 стандартов проектирования; интегрированные модули для расчета железобетонных и стальных конструкций; в процедурах применяются международные расчетные нормы; сквозной рабочий процесс - от проектирования и расчетов до выпуска чертежей строительных изделий; открытый и гибкий API-интерфейс; поддержание связей с внешними программами, такими как Microsoft Excel и AutoCAD.

В зависимости от типа рассчитываемой конструкции программа предлагает последовательность выполнения необходимых операций, что облегчает и ускоряет процесс анализа.

Типы рассчитываемых конструкций: 2D- и 3D-стержневые элементы; пластины; оболочки; предварительно напряженные пластины; предварительно деформированные пластины; осесимметричные конструкции; разнородные материалы элементов конструкций; объемные твердотельные элементы.

Типы расчетов: статический линейный; динамические (сейсмика); потеря устойчивости; гармонические колебания; нелинейный расчет кратковременной нагрузки; расчет на продавливание; упруго - пластическая деформация; расчет вибрационного воздействия; расчет вантовых элементов; дополнительные диаграммы результатов расчетов.

Программа Robot Structural Analysis (RSA) может быть интересна инженерам-проектировщикам, занимающимся проектированием и расчетом строительных конструкций в гражданском и промышленном строительстве, в горной и энергетической промышленности, промышленном машиностроении, при проектировании морских и береговых сооружений.

1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Основная цель лабораторных занятий - расширение базовых знаний и навыков по работе в Autodesk Robot Structural Analysis Professional при создании и расчете моделей плоской стальной фермы, пространственного стального каркаса и оболочечной конструкции силосного сооружения.

Поставленная цель реализуется посредством выполнения следующих задач:

- расширить и закрепить знания об интерфейсе Autodesk Robot Structural Analysis Professional;
- изучить инструменты и методы моделирования, расчета и анализа плоских и пространственных стальных конструкций;
- изучить инструменты и методы моделирования, расчета и анализа оболочечных конструкций.

Методические указания содержат цель, последовательность выполнения трех лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой по дисциплине «Информационные технологии в строительстве»:

1. Создание аналитической модели плоской стальной фермы в Autodesk Robot Structural Analysis Professional, выполнение статического расчета с анализом результатов расчета, подбором сечений стержней и проектированием узлов;

2. Создание аналитической модели пространственного стального каркаса в Autodesk Robot Structural Analysis Professional, выполнение статического расчета с анализом результатов расчета, подбором сечений стержней и проектированием узлов;

3. Создание аналитической модели силосного сооружения в Autodesk Robot Structural Analysis Professional, выполнение статического расчета с анализом результатов расчета, подбором сечений стержней и проектированием узлов.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ СТАЛЬНОЙ ФЕРМЫ»

2.1 Цель лабораторной работы

Выполнить проектирование плоской стальной фермы по индивидуальному заданию.

2.2 Порядок выполнения лабораторной работы:

- создать аналитическую модель плоской стальной фермы по индивидуальному заданию;

- выполнить нагружение стальной фермы в соответствии с индивидуальным заданием;

- выполнить статический расчет стальной фермы с анализом результатов расчета;

- подобрать оптимальные сечения стержней шарнирно-стержневой конструкции;

- выполнить проектирование узлов ферменной конструкции.

2.3 Пример выполнения лабораторной работы

2.3.1 Построение расчетной схемы фермы

Для расчёта стальной фермы методом конечных элементов в программном комплексе Robot Structural Analysis Professional (RSA) необходимо создать расчётную (аналитическую) модель, геометрические характеристики которой и приложенные к ней нагрузки, полностью соответствуют исходным данным индивидуального задания.

Для этого необходимо запустить программу RSA. Стартовый диалог программы предлагает выбрать необходимое приложение. Из списка задач следует выбрать приложение *Проектирование плоской фермы* (рисунок 1).

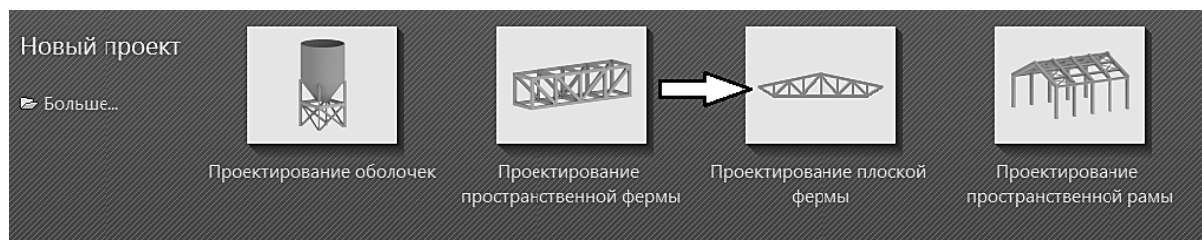


Рис 1. Запуск программы: приложение *Проектирование плоской фермы*

Интерфейс программы состоит из следующих элементов (рисунок 2): стандартное меню; окно просмотра и построения модели, в котором осуществляется построение, просмотр, оценка и корректировка аналитической модели; инструментальные панели, которые содержат инструменты построения и редактирования модели; окно инспектора объектов, в котором отображается список объектов, созданных в процессе работы; окно свойств с информацией об объекте, выбранном в настоящий момент; кнопки управления видимостью, при включении или отключении которых в окне просмотра отображается или скрывается соответствующая информация: номера узлов, номера стержней, информация по плитным элементам, опоры, поперечные сечения и т.д.; переключатель режима работы, позволяющий перейти на определенный этап работы: построение узлов, стержней, опор, нагрузок и т.п.

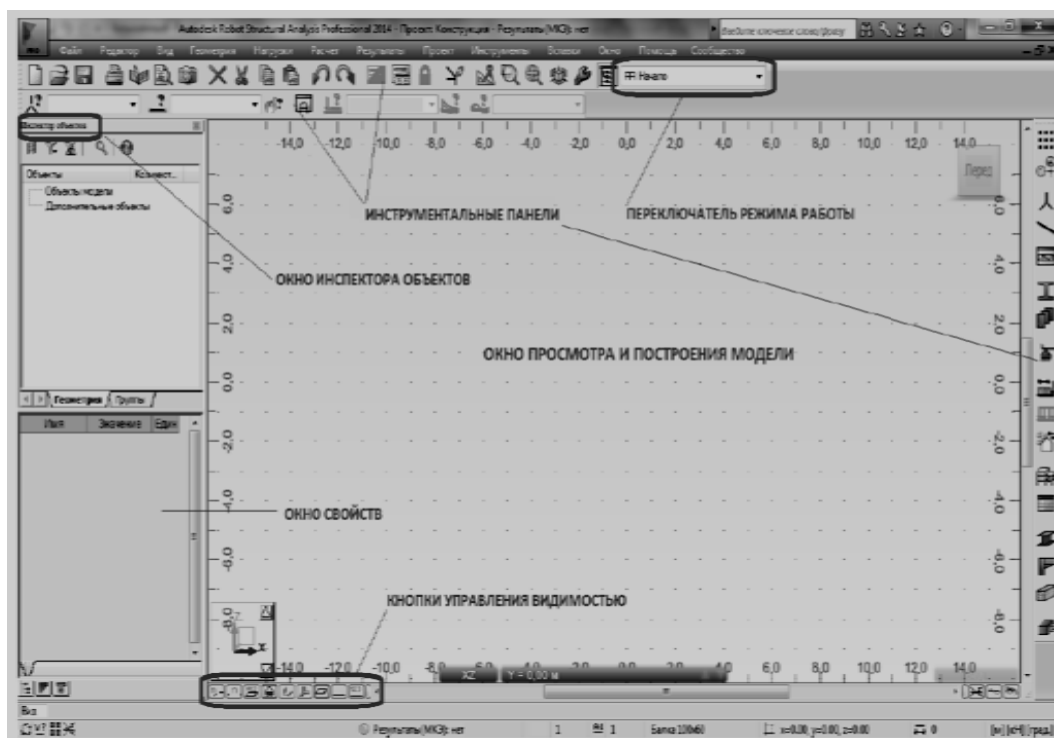


Рис. 2. Интерфейс программы

Пользователь может по своему усмотрению настроить общий вид интерфейса программы через меню *Инструменты* → *Настройка*.

Обычно диалоговые окна открываются, сворачиваются и закрываются путем нажатия на соответствующие кнопки в верхнем правом углу окна. Но есть одно исключение. В RSA существует система автоматического открывания сразу нескольких диалоговых окон, необходимых на определенном этапе работы. Например, если пользователь переходит к этапу работы со стержнями, то можно выбрать данный этап из выпадающего списка. Сразу открывается три диалоговых окна: окно просмотра, диалоговое окно для стержней и таблица стержней. Эти окна закрыть нельзя. Их можно сворачивать или разворачивать на весь экран. Поэтому обращайте внимание на наименование опции в выпадающем списке. Для возврата к исходному окну просмотра следует выбрать пункт «Геометрия».

Для управления параметрами текущего файла следует открыть пункт *Меню* → *Инструменты* → *Рабочие настройки*.

Учитывая характер предстоящей работы, нас будут интересовать базы данных стальных профилей, нормы проектирования стальных конструкций, а также нормы для расчетных сочетаний нагрузжений.

Убедитесь в том, что подключена база данных ГОСТ (GOST), которая будет использоваться в работе. При необходимости можно подключить базы данных профилей других стран и организовать порядок представления баз. Данный порядок будет поддерживаться при выборе профилей и их подборе в блоке проектирования стальных элементов.

В разделе *Нормы проектирования* проверьте подключение текущих норм — СП 16.13330-2017. При необходимости проектирования по другим нормам (например, европейским) выберите нужные нормы из списка. Или, если необходимых норм в списке не оказалось, щелкните на кнопке *Больше норм* и подключите их.

В разделе *Нагрузки* проверьте подключение норм по сочетаниям, снеговым /ветровым нагрузкам, сейсмическому воздействию.

В рассматриваемом примере необходимо выполнить расчет плоской стальной фермы, схема которой представлена на рисунке 3.

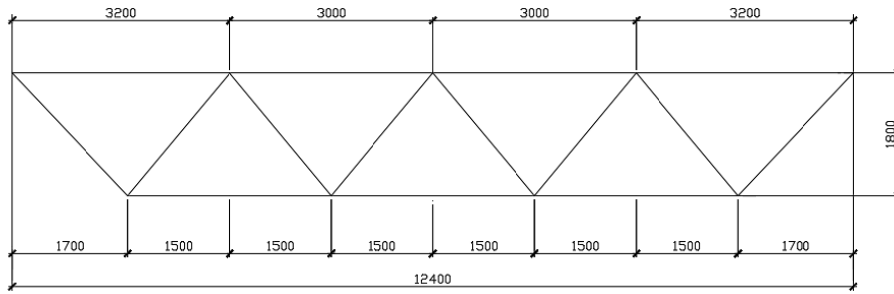



Рис. 3. Схема фермы

Для создания расчетной схемы фермы необходимо выйти в режим создания стержневых элементов:  (Правая инструментальная панель или Вкладка *Геометрия* основного Меню). После чего необходимо создать «Новое сечение» (сечение задается на основании результатов предварительного «ручного» расчета, исходя из значения усилия в стержне, или на основании исходных данных индивидуального задания). В примере нижний и верхний пояса фермы выполнены из полого стержня квадратного сечения с размерами $\square\square 160 \times 160 \times 8$ (мм) из стали С255 (рисунок 4).

Затем по сетке или по координатам необходимо построить половину нижнего пояса, опорный раскос и половину верхнего пояса. Опорному раскосу следует задать другие геометрические характеристики: $\square\square 100 \times 100 \times 4$ (мм), сталь С255 (рисунок 5).

Для того, чтобы построить остальные раскосы, необходимо воспользоваться инструментом *Разделить*: Меню \rightarrow Редактор \rightarrow Разделить, позволяющим выполнять генерацию узлов с делением стержня или без деления. Решение по делению стержня узлами принимается в каждом конкретном случае, исходя из конструктивной схемы балки (стержня, пояса).

После построения половины фермы, вторую половину можно получить путем команды *Вертикальное отражение*: Меню \rightarrow Редактор \rightarrow Вертикальное отражение (рисунок 6).

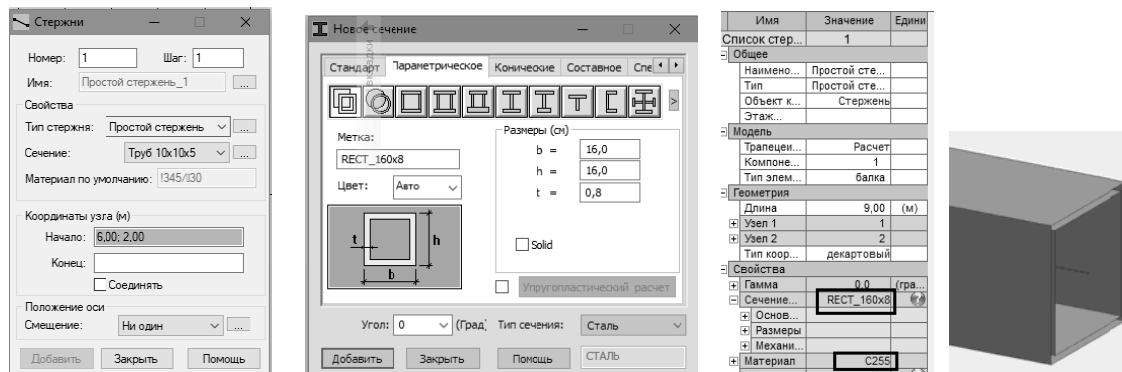


Рис. 4. Задание профиля стержня

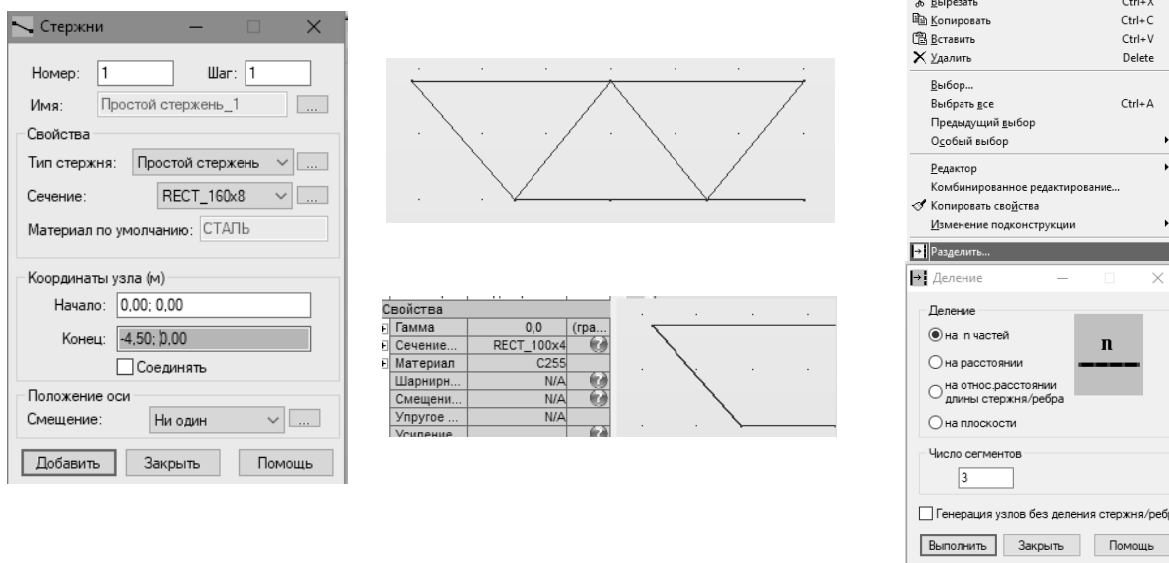


Рис. 5. Построение расчетной схемы фермы

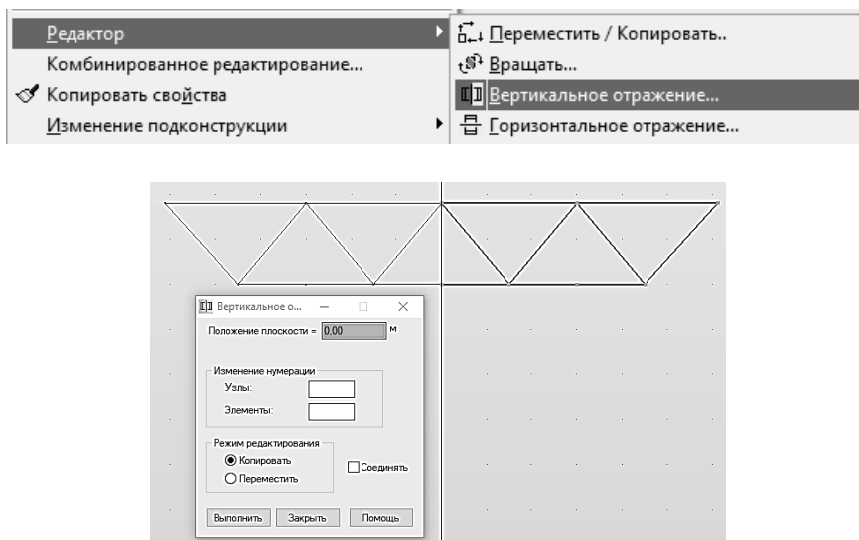



Рис. 6. Завершение построения расчетной схемы фермы

Формирование расчетной схемы завершается назначением опор. Для обеспечения равновесия фермы в местах ее опирания на несущие конструкции (балка, стропильная ферма, колонны) были назначены следующие типы связей: «шарнирно-подвижная опора» (или «стержень»), которая накладывает ограничения на линейные перемещения по вертикали, и «шарнирно-неподвижная» - с ограничением линейных перемещений по горизонтали и вертикали.

Для этого необходимо запустить Диалоговое окно по созданию опор , которое находится на Правой инструментальной панели или во Вкладке *Геометрия* на панели *Меню*. В Диалоговом окне *Опора* можно выбрать имеющийся или создать необходимый тип опор для фермы, после чего выбрать опорный узел (рисунок 7).

2.3.2 Задание нагрузок

Важным моментом в подготовке конструкций к расчёту является назначение нагрузок. Необходимо учитывать, что RSA самостоятельно рассчитывает собственный вес конструкции, поэтому при назначении нагрузок, которые прикладываются к узлам фермы, следует учитывать нагрузку постоянную (например, от кровли, в том числе от элементов покрытия), временную длительную (эксплуатационную, в частности от оборудования) и кратковременную (снег, ветер).

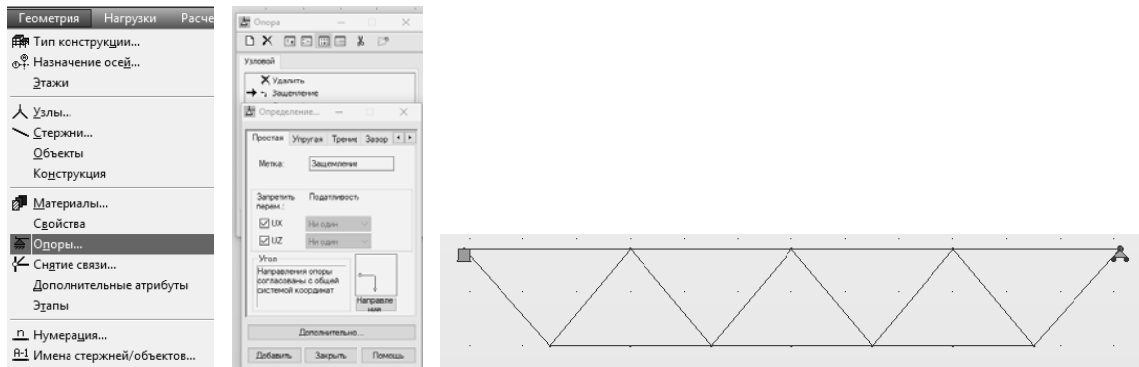







Рис. 7. Создание опор

В программе RSA существует следующий порядок назначения нагрузок:

- запустить Диалоговое окно *Варианты нагружений*  (Правая инструментальная панель или Вкладка *Нагрузки* на стандартной панели *Меню*);
- задать постоянные и временные нагрузки с соответствующими коэффициентами надёжности по нагрузке (рисунок 9);

- поочередно приложить нагрузки к узлам фермы , выбрав Вкладку *Узел* в Диалоговом окне *Назначение нагрузки*: Правая инструментальная панель → *Назначение нагрузки*  или *Меню* → *Нагрузки* → *Назначение нагрузки* (рисунок 9), соответствующие исходным данным индивидуального задания; для визуализации нагрузок и их значений используйте кнопки управления видимостью ; назначенные нагрузки можно увидеть и, кроме того, отредактировать в таблице нагрузок: *Меню* → *Нагрузки* → *Таблица нагрузок*;

- создать необходимые ручные сочетания нагрузок: *Меню* → *Нагрузки* → *Ручные сочетания нагрузок* → *Сочетания* и выполнить статический расчет .

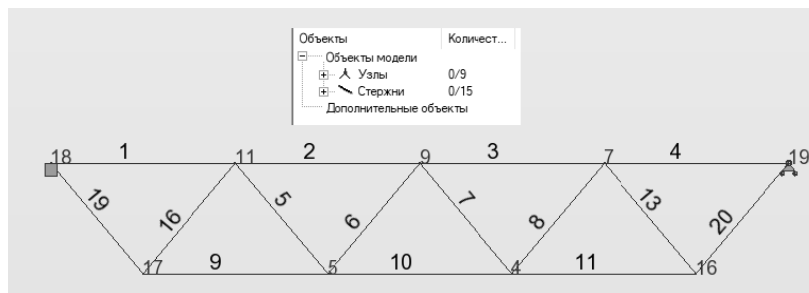


Рис. 8. Аналитическая модель фермы

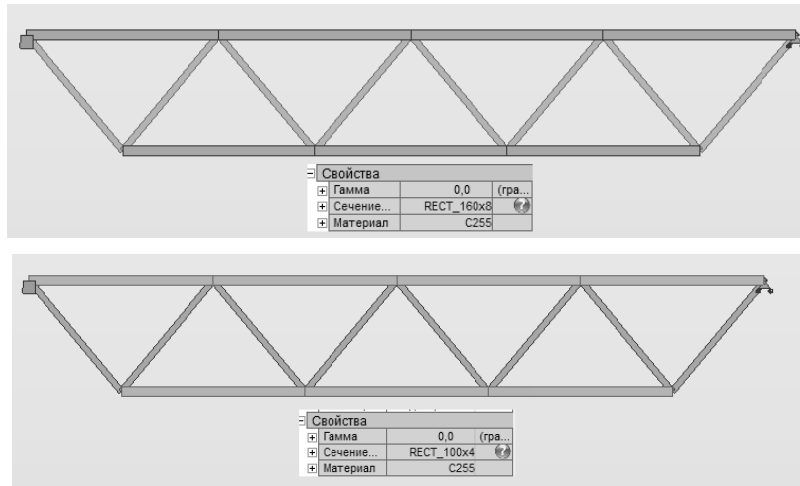
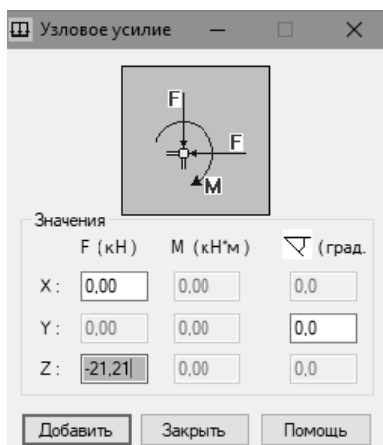
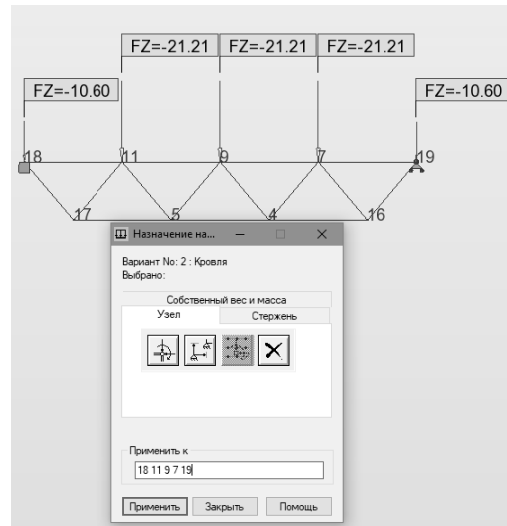
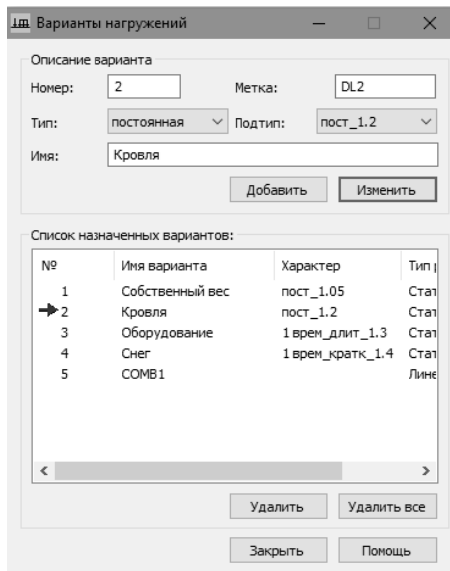


Рис. 8. Аналитическая модель фермы (продолжение)



Нагружение	Тип нагружения	Спецификация
1:Собственный вес	собственный вес	5до8 13 16 19до22 -Z
2:Кровля	сила в узле	7 9 11 FZ=-21,21
2:Кровля	сила в узле	18 19 FZ=-10,60
3:Оборудование	сила в узле	7 9 11 FZ=-12,39
3:Оборудование	сила в узле	18 19 FZ=-6,19
4:Снег	сила в узле	18 19 FZ=-35,15
4:Снег	сила в узле	7 9 11 FZ=-70,31

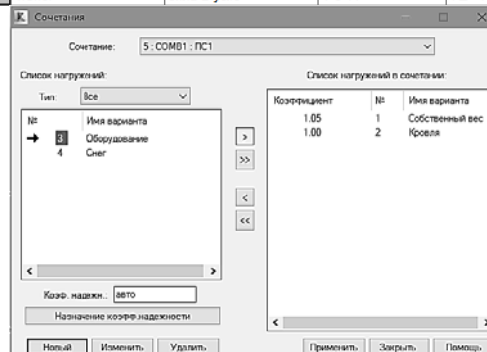


Рис. 9. Назначение нагрузки

2.3.3 Анализ результатов статического расчета фермы

Результатами статического расчета фермы МКЭ являются следующие полученные значения: реакции связей, усилия и напряжения в стержнях и узлах фермы, деформации (перемещения). Полученные результаты позволяют определиться с наиболее «опасными» стержнями, с точки зрения их надежности.

На карте стержней над каждым стержнем появляется информация об усилии, действующем в нем (знак «-» растяжение; знак «+» - сжатие). Очевидно, что нижний пояс фермы растянут, а сжимающее усилие распространяется от опоры через опорный раскос на верхний пояс.

Выполнив анализ карты стержней, можно сказать, что наиболее нагруженные стержни верхнего пояса и опорные раскосы. Выполнив анализ результатов «ручного» и «машинного» расчетов, а также оптимизацию сечений стержней, можно окончательно определиться с выбором типоразмеров сечений шарнирно-стержневой конструкции, которые будут использованы в дальнейшем при разработке проектной документации и изготовлении конструкции фермы.

Ниже представлена визуализация результатов расчета: опорные реакции; значения усилий в стержнях подстропильной фермы в RSA; эпюры продольных усилий, возникающих в стержнях; перемещения узлов и деформации стержней (рисунок 10 - 12).

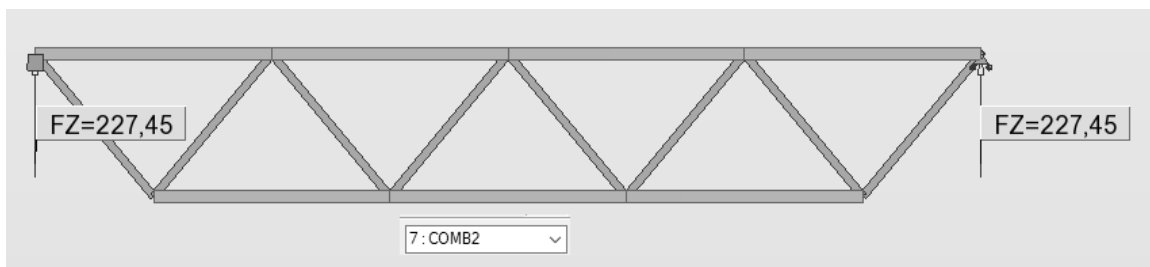


Рис. 10. Опорные реакции фермы

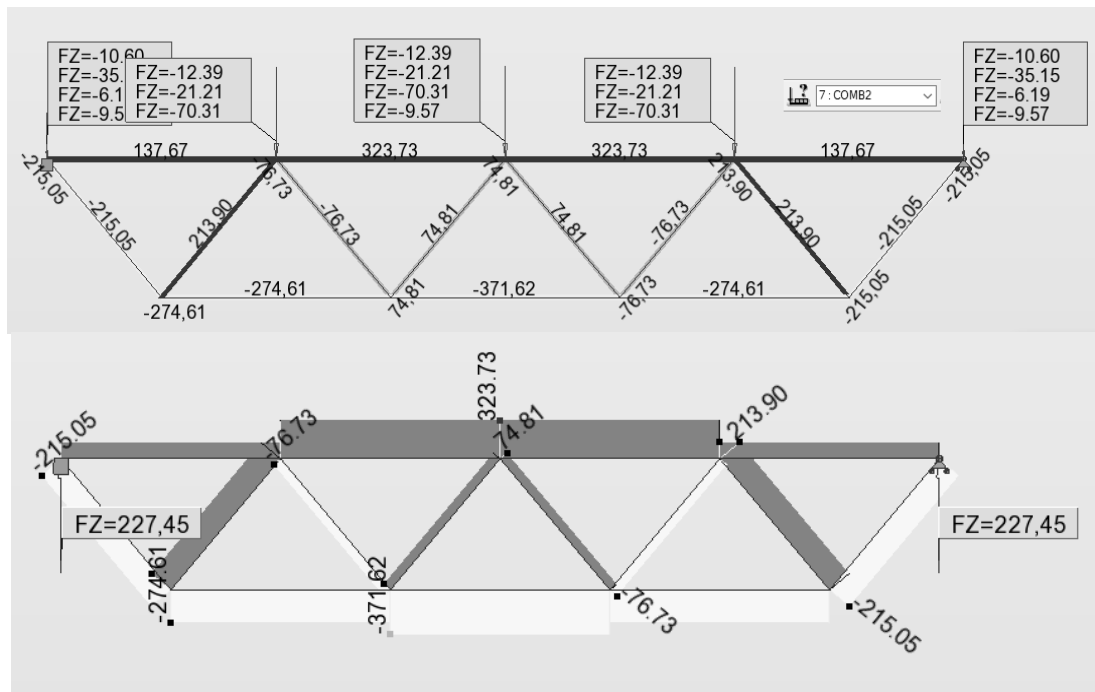


Рис. 11. Значения усилий в стержнях фермы на основное сочетание нагрузок

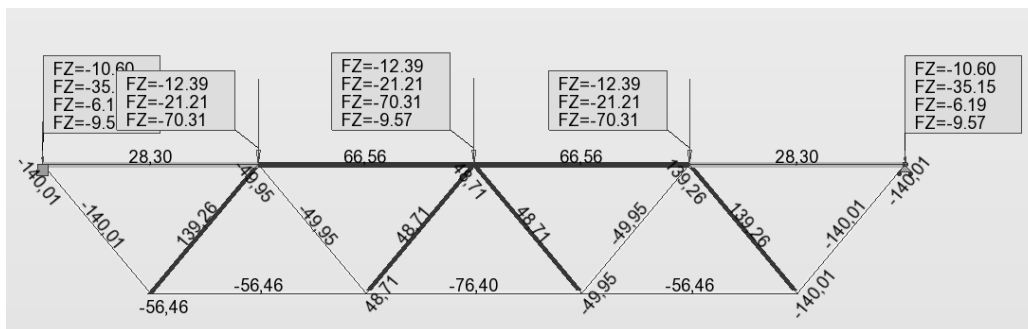


Рис. 12. Значения максимальных нормальных напряжений в стержнях фермы

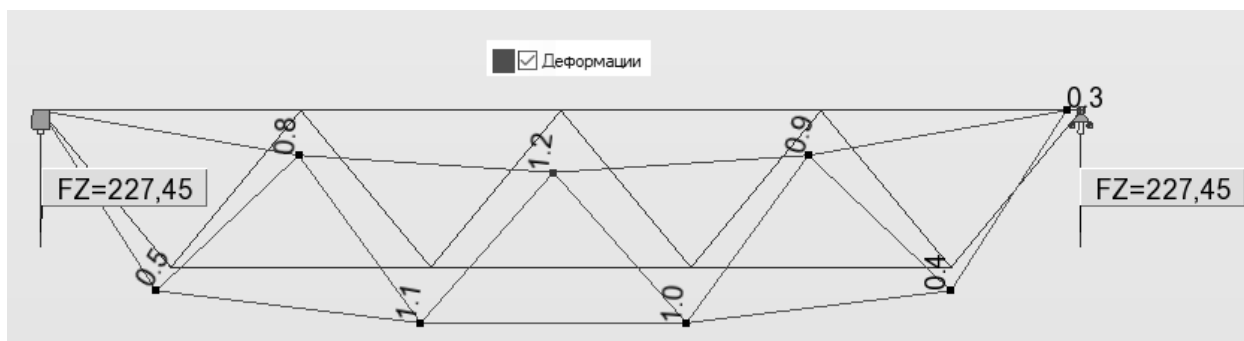


Рис. 13. Значения перемещения узлов фермы и деформаций стержней, вызванных перемещениями

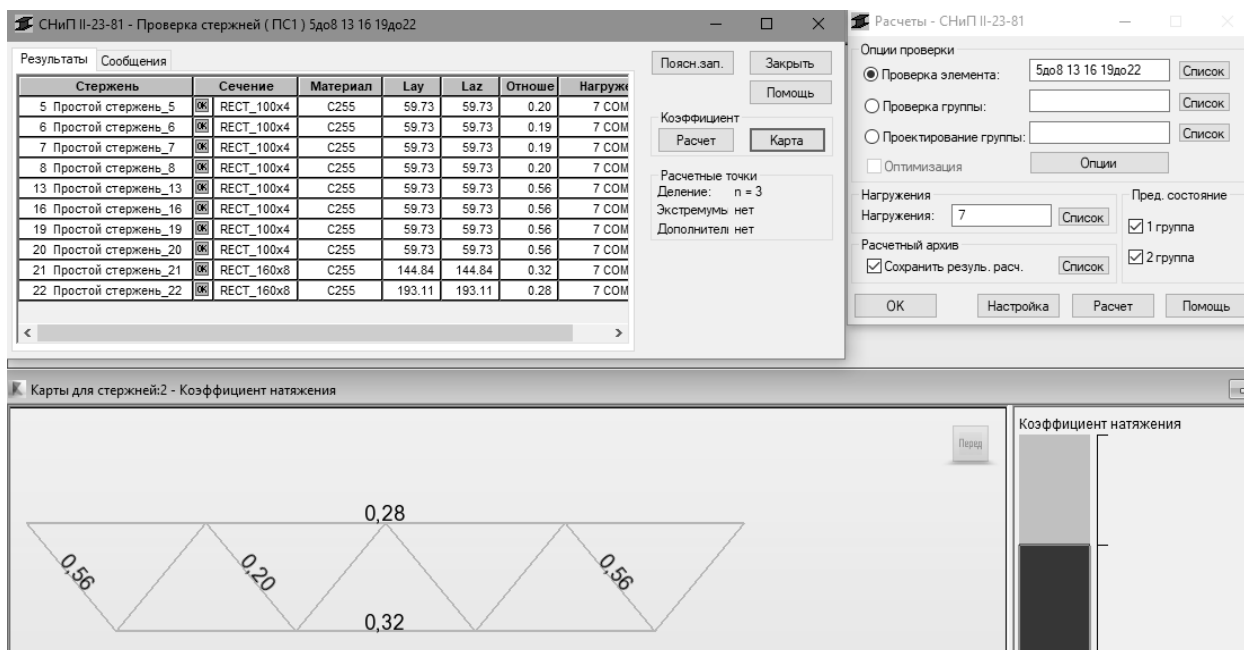




Рис. 14. Результаты проверки принятых в расчетной модели сечений фермы

2.3.4 Подбор и оптимизация сечений стержней фермы

Обычно диалоговые окна открываются, сворачиваются и закрываются путем нажатия на соответствующие кнопки в верхнем правом углу окна. Но есть одно исключение. В RSA существует система автоматического открывания сразу нескольких диалоговых окон, необходимых на определенном этапе работы. Например, если пользователь переходит к этапу работы со

стержнями, то можно выбрать данный этап из выпадающего списка. Сразу открывается три диалоговых окна: окно просмотра, диалоговое окно для стержней и таблица стержней. Эти окна закрыть нельзя. Их можно сворачивать или разворачивать на весь экран. Поэтому обращайте внимание на наименование опции в выпадающем списке. Для возврата к исходному окну просмотра следует выбрать пункт «Геометрия».

Чтобы обеспечить подбор сечений фермы в автоматическом режиме, используя инструменты проектирования металлических конструкций в RSA, необходимо предварительно выполнить настройку параметров элементов «Создание типов элементов» (рисунок 15):

- Меню → Проект → Расчет стальных элементов – опции  → Параметры норм  ;

- для создания нового набора параметров в Диалоговом окне *Определение элемента-параметры* заполните поле *Тип элемента*, например, Тип 1 или Пояс (Раскос, Стойка);

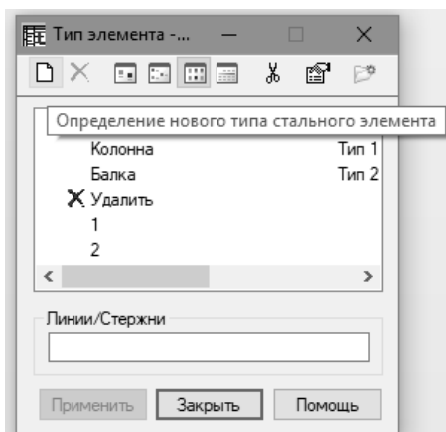
- в поле *Кoeff. расчетной длины Y* введите 1, что соответствует коэффициенту расчетной длины элемента в плоскости фермы;

- в поле *Кoeff. расчетной длины Z* введите 1, что соответствует коэффициенту расчетной длины элемента из плоскости фермы;

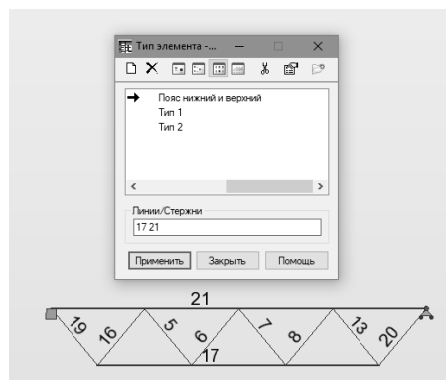
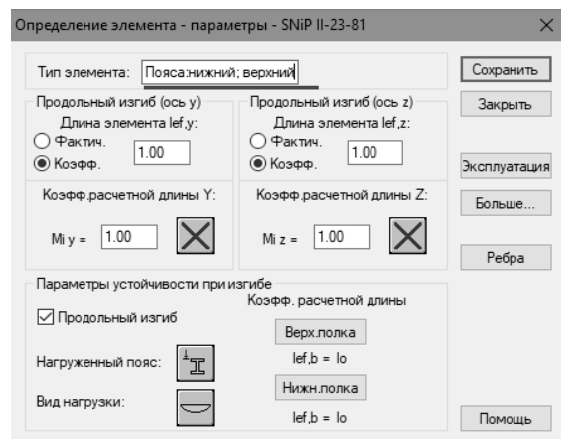
- нажимаем кнопку *Сохранить* и закрываем Диалоговое окно.

Аналогично следует создать новые типы элементов для раскосов и стоек с расчетной длиной $Y=1$ и расчетной длиной $Z=0,8$.

Укажите на нужный тип элемента в Диалоговом окне *Тип элемента*, выберите нужный элемент в окне *Построения модели* или в окне *Инспектора модели*. Соответствующий тип стержню будет назначен (рисунок 15, а, б).



а



б

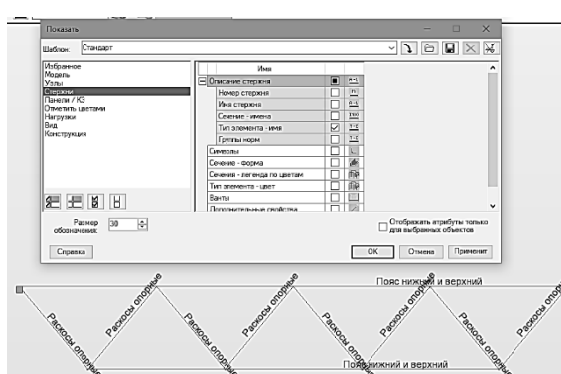



Рис. 15. Определение типа элемента

Для отображения наименования типа стержня на модели необходимо в нижней части экрана открыть Диалоговое окно *Показать атрибуты*  и указать в строке *Тип элемента – имя* показать имя типа стержня на модели (рисунок 15).

Для проектирования элементов металлических конструкций необходимо создать Группы стержней. В основу группировки можно заложить два принципа: напряженное состояние элемента и величину усилия, действующего в нем. Анализ удобно выполнить, если включить визуализацию внутренних усилий (как было сделано ранее, см. рисунок 11).

Процесс создания групп элементов следующий:

- Меню → Расчет стальных элементов → Определения → Группы: Новая;
- в поле Имя введите Группа 1;
- переместите указатель мыши в Окно Просмотра и построения модели и, удерживая клавишу CTRL, выберите элементы верхнего и нижнего пояса; список элементов пополнится номерами выбранных элементов;
- в поле Материал выберите нужный класс стали;
- нажмите кнопку Сохранить, Группа 1, которая включает указанные элементы, будет создана.

Аналогично создайте Группу 2, включающую опорные раскосы, и Группу 3, включающую оставшиеся внутренние элементы решетки.

Таким образом, все элементы фермы будут включены в соответствующие группы для выполнения процесса проектирования (рисунок 16). В процессе проектирования, программа выбирает в группе наиболее нагруженный элемент и подбирает сечение для него (рисунок 17).

Если какие-либо сечения не удовлетворяют заданным нагрузкам, необходимо выполнить их замену и произвести повторное выполнение статического расчета для новых сечений. Процедура повторяется до тех пор, пока не потребуется заменять старые сечения на новые. Завершение итерационного процесса удобно выполнять, контролируя собственный вес конструкции. Как только собственный вес стабилизировался – можно считать процесс проектирования завершённым.

Для каждой группы элементов отводится отдельные несколько строк. В строке с символом указывается оптимальное сечение (рисунок 17).

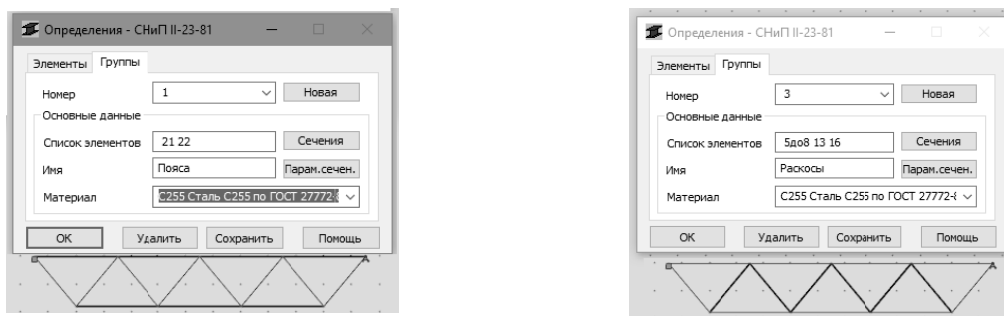


Рис. 16. Создание группы элементов

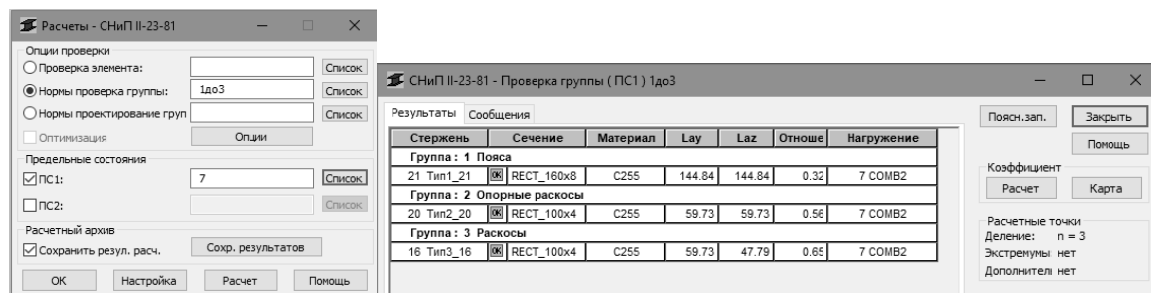



Рис. 17. Результаты проектирования элементов группы

2.3.5 Проектирование узлов фермы

Для проектирования узлов фермы необходимо войти в приложение *Проектирование*


стальных соединений : Меню → Проект → Проектирование стальных соединений.

Экран разделен на две основные части: Диалоговое окно *Инспектор стальных узлов* используется для управления созданными соединениями, и *Окно графического просмотра* с видом всей конструкции, которое состоит из следующих вкладок:


- *Схема* (схематический рисунок узла);
- *Трехмерный вид* (вид созданного узла с возможностью поворачивать, изменять масштаб изображения и панорамировать);
- *Конструкция* (вид всей конструкции);
- *Результаты* (записка с результатами расчета узла; доступна только после выполнения расчетов).

Для того, чтобы начать расчет узла конструкции:

- на вкладке *Конструкция* необходимо выбрать стержни, формирующие узел (выбранные стержни будут подсвечены);


- выбрать команду *Меню Узлы / Новый узел*  для выбранных стержней; соответствующий тип (узел фермы) будет назначен и добавлен в список в Диалоговом окне *Инспектор стальных узлов* (рисунок 18);

- определить характеристики выбранного типа соединения в Диалоговом окне *Создание узла*, которое автоматически открывается на экране (рисунок 19), после чего начинают расчет

узла  (рисунок 20), при этом задают параметры расчета: *Список узлов* – узлы, входящие в соединение; *Список соединений* – соединения, которые будут рассчитаны; *Опции расчета*: проверка соединения - при выборе данной опции можно после расчетов проверить, какой из созданных узлов удовлетворяет условиям норм; прочность соединения - при выборе данной опции прочность созданного узла будет настроена во время расчета (будут указаны максимальные усилия для созданного узла); *Варианты нагрузжений*: список - поле для отображения выбранных нагрузок, где должны быть введены номера нагрузок; сочетания нагрузок и сочетания норм - используются для быстрого выбора списка нагрузжений, созданного для конструкции; выбор нагрузки.

Для того, чтобы выполнить проверку узла, созданного вручную (выбранный тип соединения и определенные величины усилий, действующих в узле), необходимо:

- выбрать тип соединения на вкладке *Схема*;
- определить параметры для выбранного типа соединения;

- запустить расчет соединения, нажимая на иконку  (рисунок 21).

Аналогично следует выполнить проектирование всех узлов фермы. Узел считается за-проектированным верно, если в пояснительной записке есть заключение «Соединение соответствует нормам» (рисунок 22).

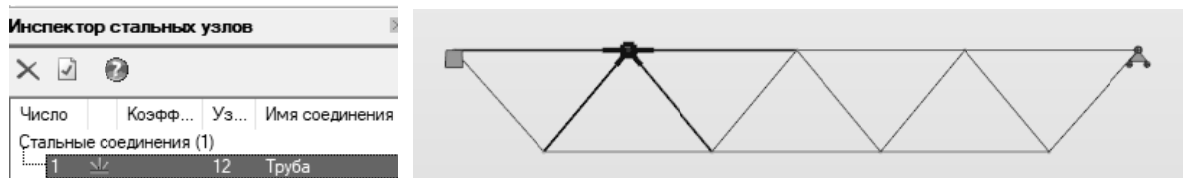


Рис. 18. Создание узла

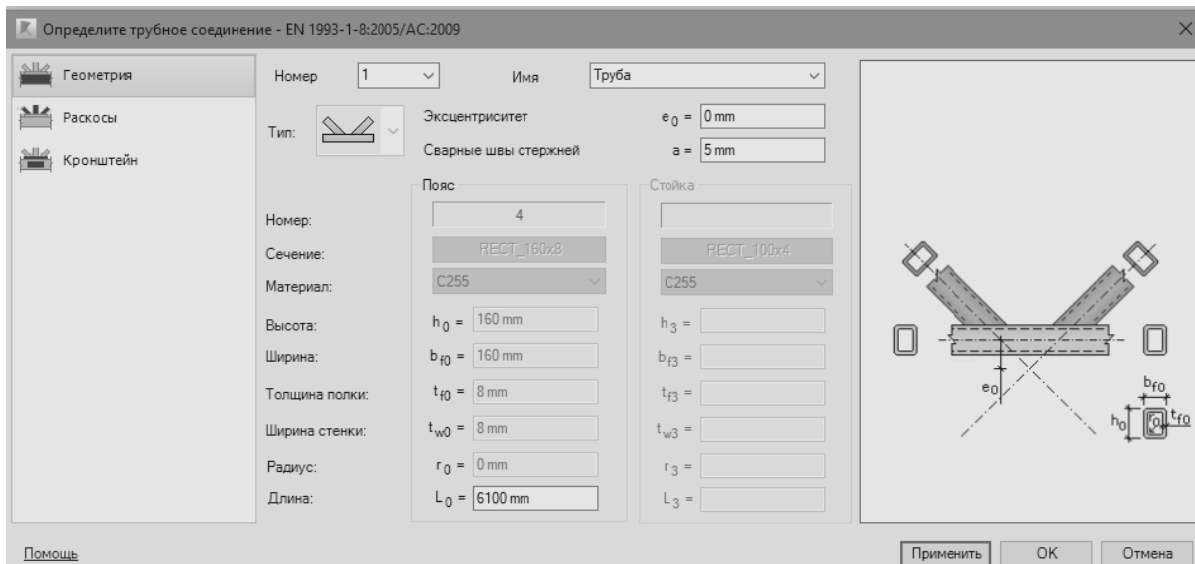


Рис. 19. Задание характеристик соединения

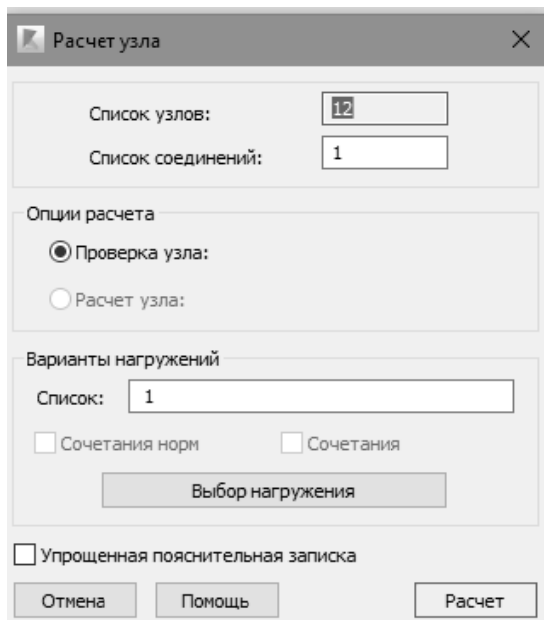


Рис. 20. Расчет узла



Рис. 21. Проверка узла

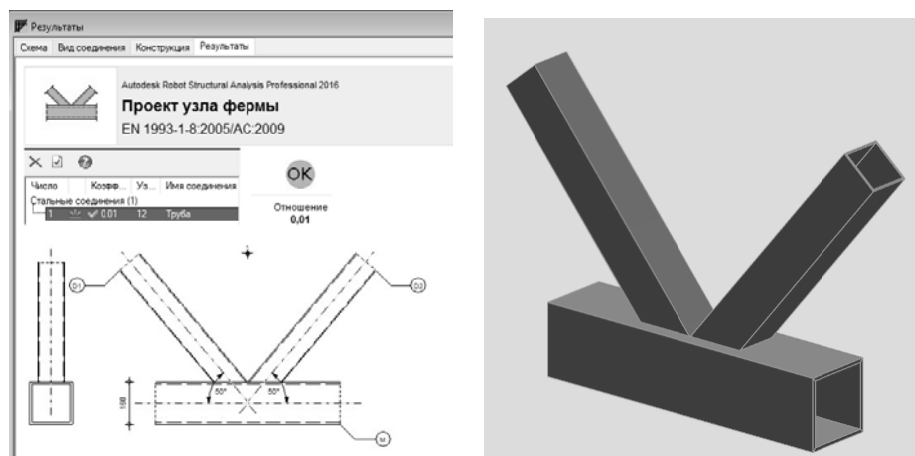


Рис. 22. Вид узла и результаты расчета

В отчет по лабораторной работе должны входить: исходные данные для проектирования (по варианту) плоской стальной фермы; файл с моделью плоской стальной фермы в RSA; пояснительная записка (полная) в RSA; обоснование выбора конструкции узлов.

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СТАЛЬНОГО КАРКАСА»

3.1 Цель лабораторной работы

Выполнить проектирование пространственного стального каркаса по индивидуальному заданию.

3.2 Порядок выполнения лабораторной работы:

- ознакомиться с исходными данными по варианту и изучить материалы для проектирования пространственного каркаса: Серия 1.420.3-39.08 Каркасы стальные «УНИТЭКС-Р1» одноэтажных производственных зданий (для бескрановых зданий). Выпуск 0-1. Материалы для проектирования;
- собрать все необходимые сведения о профилях элементов пространственного каркаса, определить постоянные и временные нагрузки, в т. ч., зависящие от района строительства (снеговые и ветровые);
- создать аналитическую модель пространственного стального каркаса по индивидуальному заданию;
- выполнить нагружение пространственного стального каркаса в соответствии с индивидуальным заданием;
- выполнить статический расчет пространственного стального каркаса с анализом результатов расчета;
- подобрать оптимальные сечения стержней и плит пространственного стального каркаса;
- выполнить проектирование узлов пространственного стального каркаса.

3.3 Пример выполнения лабораторной работы

3.3.1 Построение расчетной схемы пространственного каркаса

Необходимо запустить программу RSA. Стартовый диалог программы предлагает выбрать необходимое приложение. Из списка задач следует выбрать приложение *Проектирование пространственной рамы* или *Проектирование оболочек* (рисунок 23).

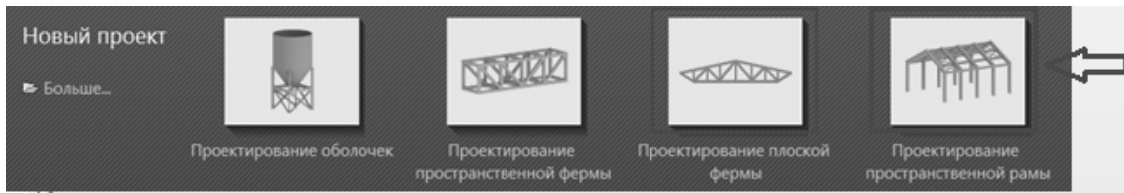



Рис. 23. Запуск приложения *Проектирование пространственной рамы*

Далее для удобства построения модели, визуализации проекта и результатов расчета необходимо создать систему координационных осей : Правая инструментальная панель *Назначение осей* или *Меню* → *Геометрия* → *Назначение осей* (рисунок 24, 25).

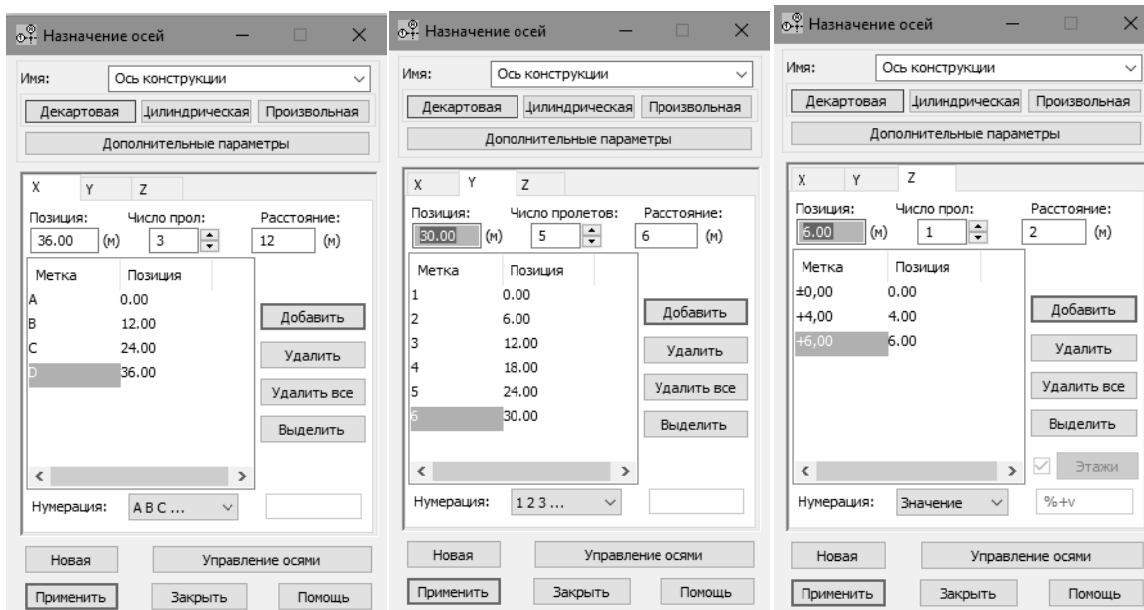


Рис. 24. Задание координационных осей

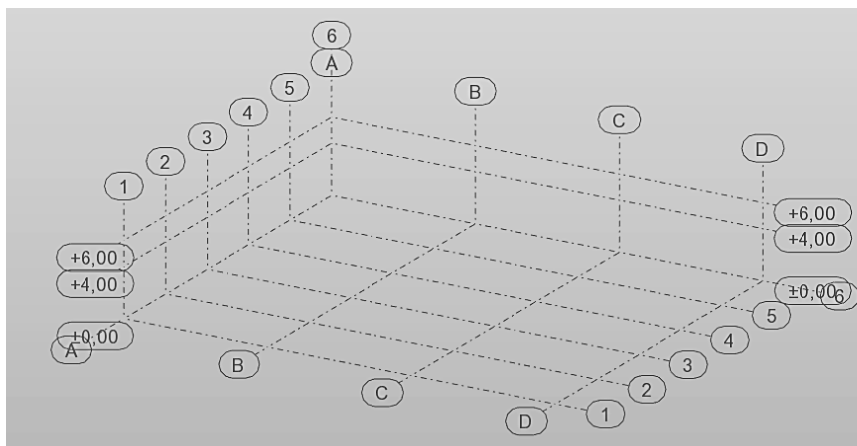


Рис. 25. Сетка координационных осей

Следующий этап – назначение параметров сечений стержней, формирующих пространственный каркас: колонны, главные прогоны, балки настила. Операция выполняется аналогично выбору сечения простого стержня для фермы (рисунок 26). После чего можно приступать к построению пространственного каркаса.

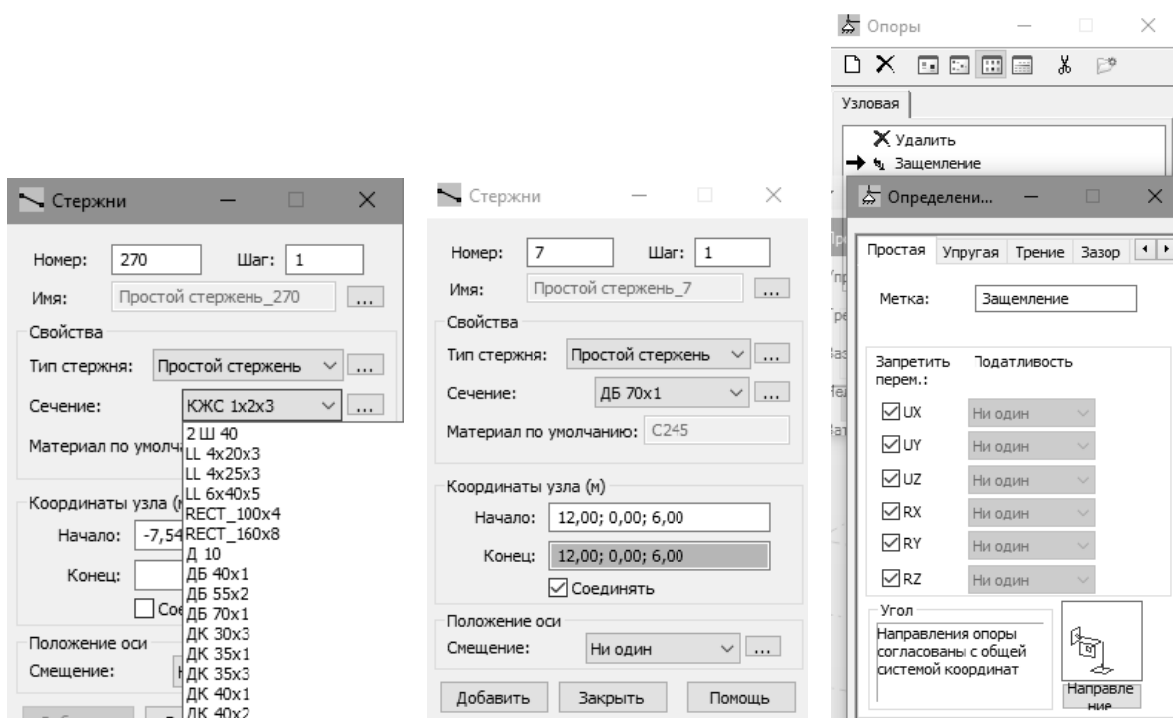


Рис. 26. Задание сечений стержней и опорных связей

Построить плоскую раму, состоящую из колонн и прогонов, а затем назначить опоры в колоннах: тип опоры *Защемление*. Далее можно операцией копирования выполнить построение плоских рам каркаса: *Меню* → *Редактор* → *Переместить/Копировать* (рисунок 27).

Копирование плоской рамы дает возможность построения пространственного каркаса (рисунок 28-29). Аналогично выполняется построение прогонов настила (рисунок 30).

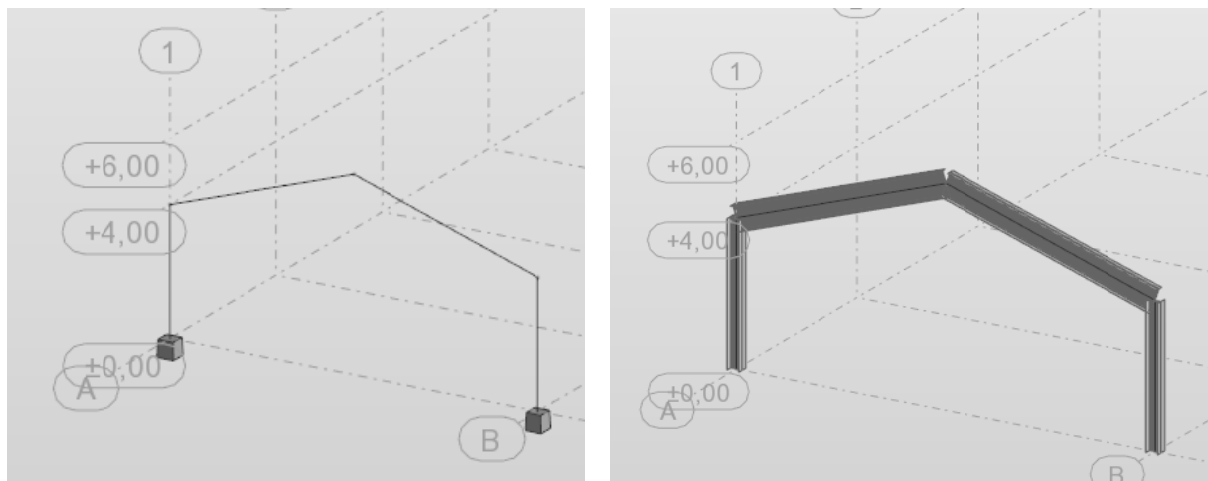


Рис. 27. Построение плоской рамы

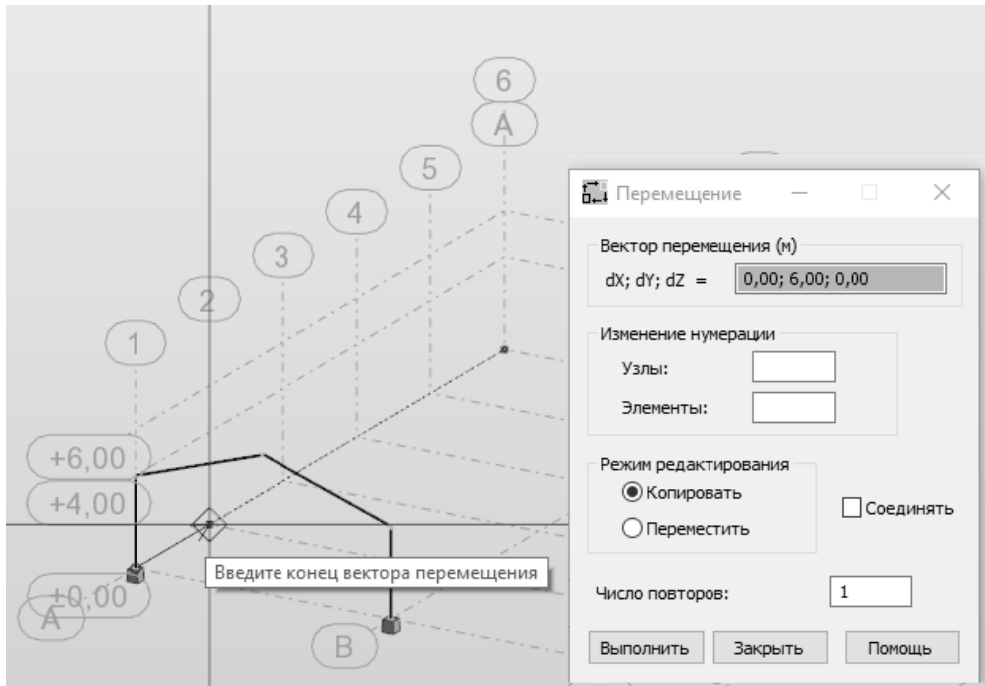


Рис. 28. Копирование плоской рамы

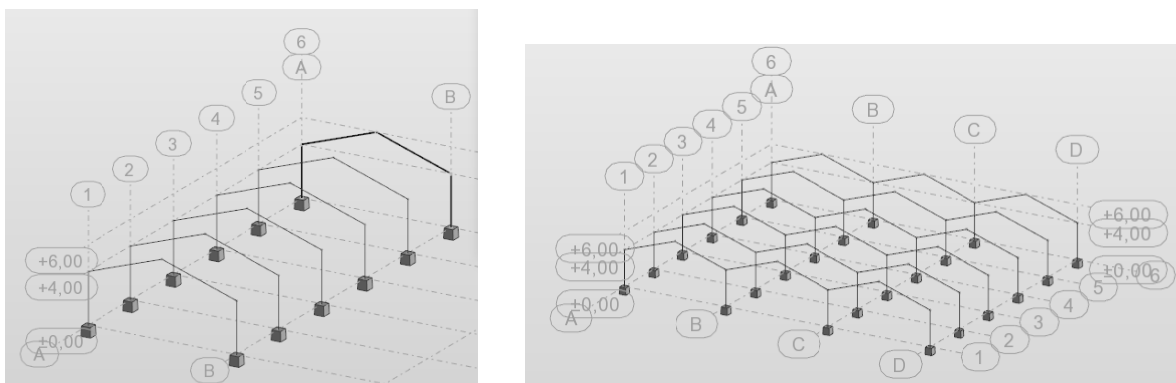


Рис. 29. Построение пространственного каркаса

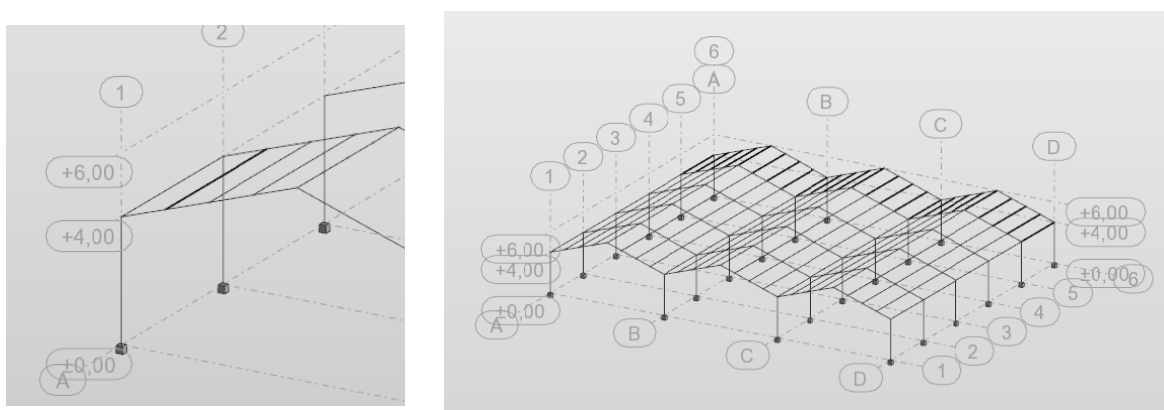



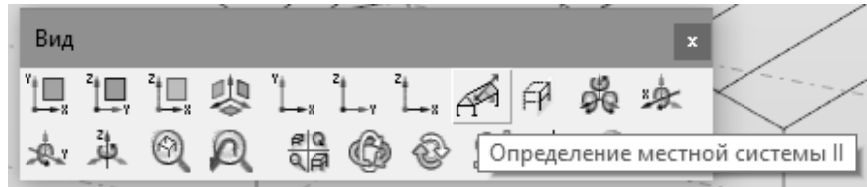
Рис. 30. Построение прогонов настила

Следует обратить внимание на то, каким образом прогон настила был установлен на стропильную балку (рисунок 31): профиль прогона не перпендикулярен направляющей балки.

Чтобы устранить эту неточность, можно в настройках типа стержня задать необходимый угол (рисунок 32), но поскольку значение угла не всегда легко вычисляется, следует поступить так:

- создать местную систему координат (плоскость, в которую будет помещен прогон):

Меню → Вид  → Определение местной системы координат;



- в новой плоскости установить прогон, а затем откопировать его в необходимом количестве (рисунок 33).

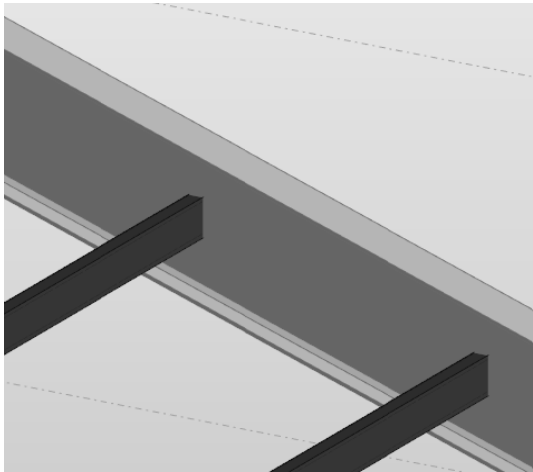


Рис. 31. Положение прогонов настила

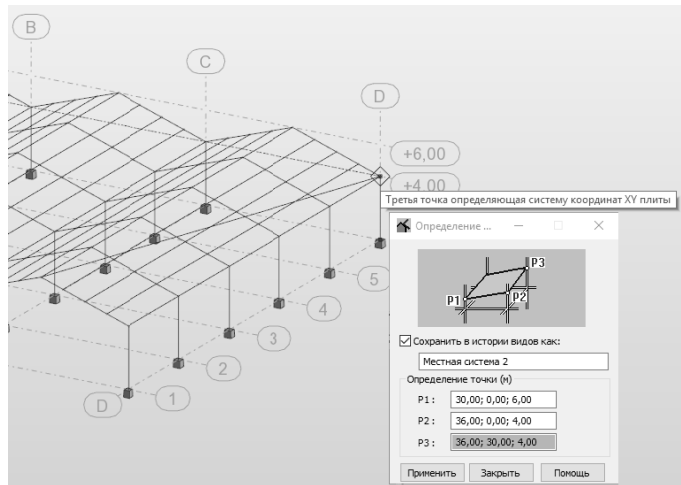


Рис. 32. Построение местной системы координат (плоскости)

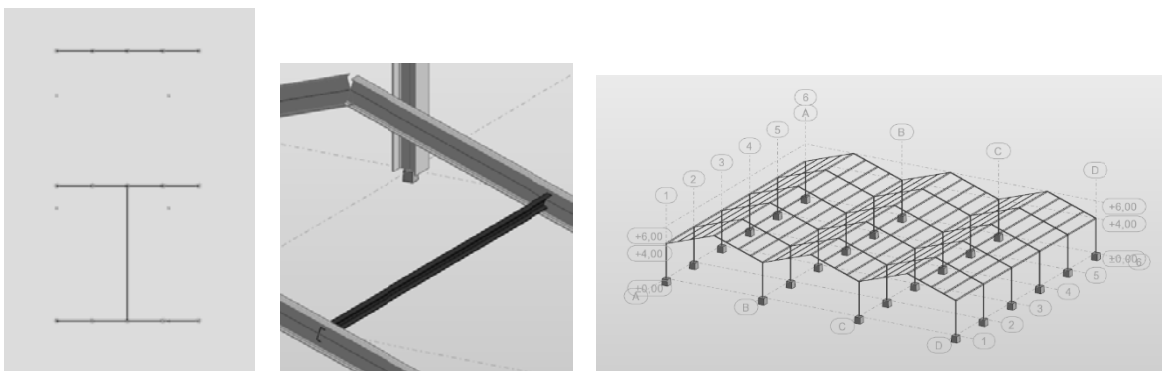


Рис. 33. Новое положение прогонов настила

Для того, чтобы прогоны разместить непосредственно на стропильную балку необходимо выполнить операцию смещения:

- Меню → Геометрия → Дополнительные атрибуты → Смещение (рисунок 34);

- создать новое смещение таким образом, чтобы «низ» прогона «сел» на «верх» стропильной балки (рисунок 34);
- после чего тип нового смещения применить ко всем прогонам (рисунок 35).

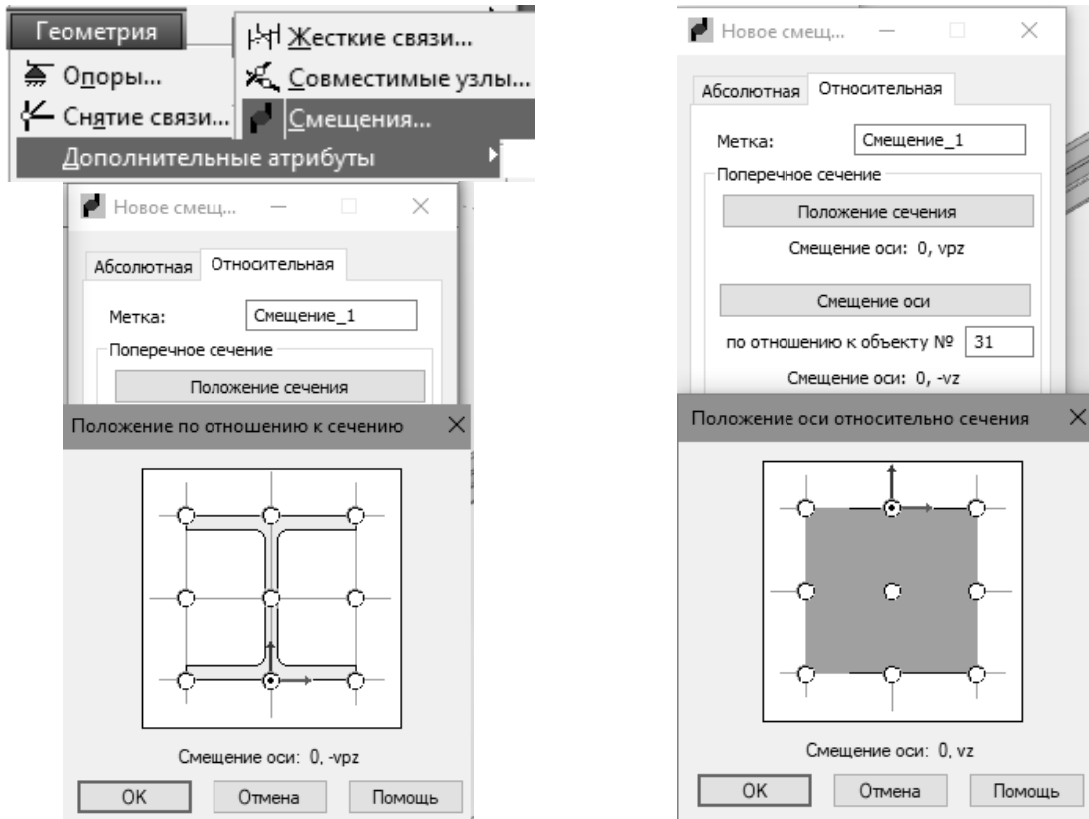


Рис. 34. Задание нового смещения

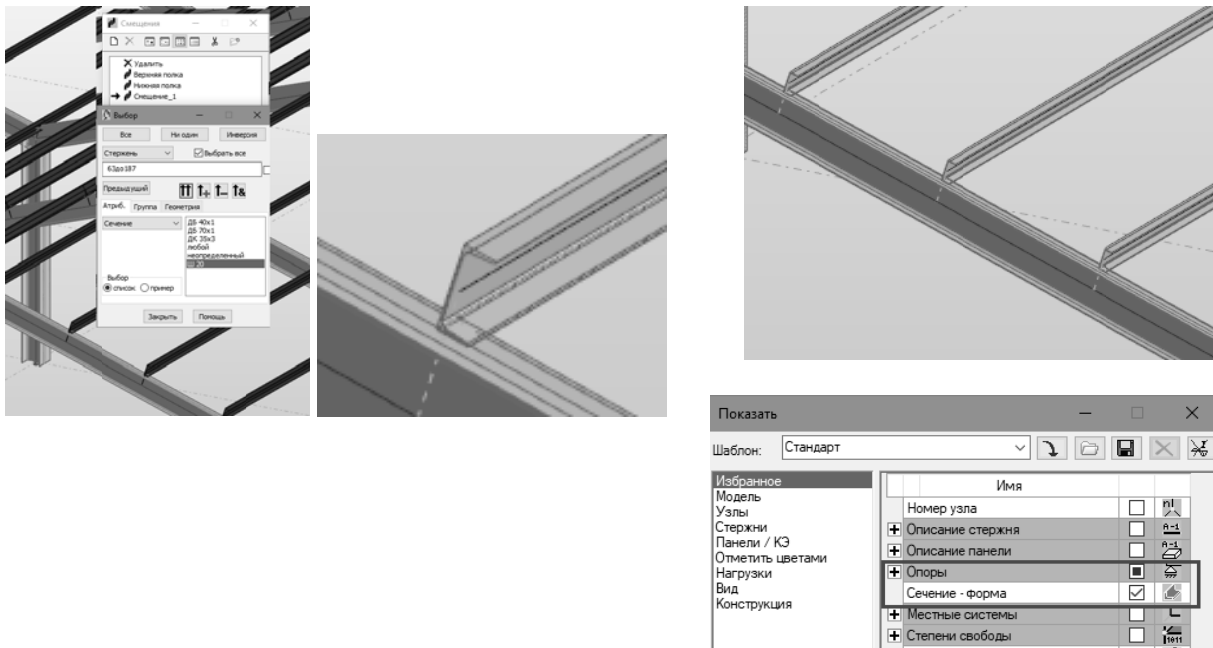


Рис. 35. Задание нового смещения всем прогонам

3.3.2 Задание нагрузок

Для того, чтобы задать нагрузки на несущие конструкции пространственной рамы, необходимо создать модели плоскостей покрытия и вертикальных плоскостей: *Меню* → *Геометрия* → *Покрытие* → *Прямоугольник* (по трем точкам) (рисунок 36).

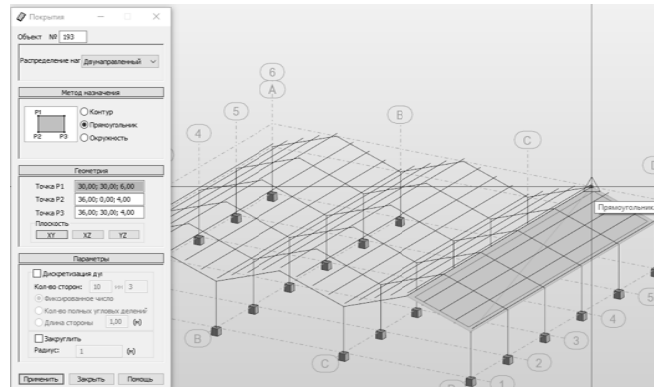
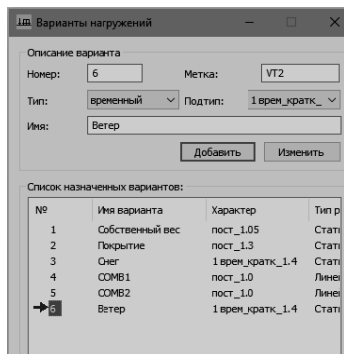


Рис. 36. Построение плоскостей покрытия

Затем необходимо задать нагрузки и необходимые их сочетания в соответствии с исходными данными по варианту. Задание нагрузок выполняется аналогично тому, как это описано в лабораторной работе № 1. После чего приложить нагрузки к поверхностям покрытия и вертикальным плоскостям (для задания ветровой нагрузки) (рисунки 37-38).



Нагружение	Тип нагружения	Спецификация			
1:Собственный вес	собственный вес	1до: 6до187 193до204	Вся конструкция	-Z	Коэффициент
2:Покрытие	(КЗ) равномерно распределенная	193до198		PX=0,0 PY=0,0	PZ=-4,00
3:Снег	(КЗ) равномерно распределенная	193до198		PX=0,0 PY=0,0	PZ=-1,50
6:Ветер	(КЗ) равномерно распределенная	204		PX=-0,75 PY=0,0	PZ=0,0
6:Ветер	(КЗ) равномерно распределенная	203		PX=0,75 PY=0,0	PZ=0,0

Сочетания	Наименование	Тип расчета	Тип сочетания	Тип нагружения	Определение
4 (C)	СОМВ1	Линейное соче	ПС1	пост_1,0	1*1.05+2*1.30
5 (C)	СОМВ2	Линейное соче	ПС1	пост_1,0	4*1.00+3*1.40

Рис. 37. Задание вариантов нагружений

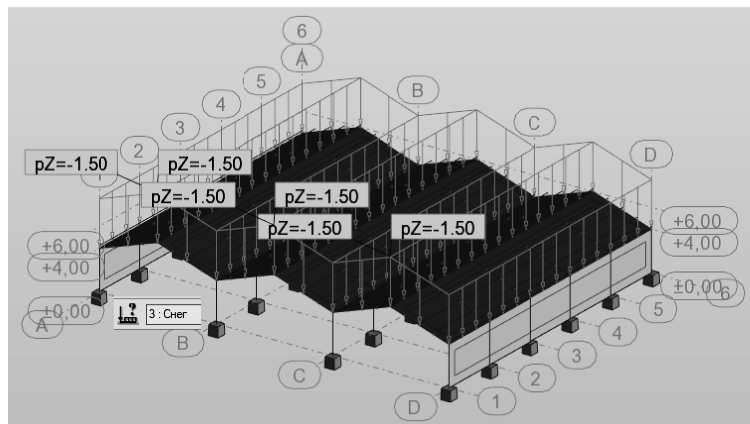
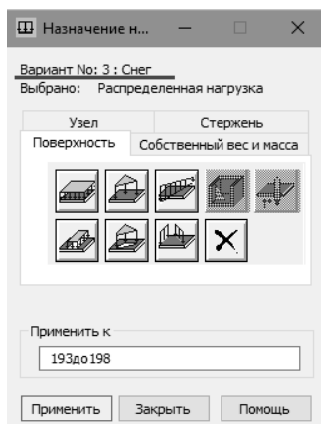




Рис. 38. Пример назначения нагрузки (снег)

3.3.3 Статический расчет и анализ результатов

После завершения приложения нагрузки выполняем статический расчет конструкции пространственного каркаса: *Меню* → *Расчет* или *Инструментальная панель* → *Расчет* .

Для уточнения корректного приложения нагрузки к элементам покрытия необходимо открыть диалоговое окно *Показать*  (рисунок 39): *Нагрузки* → *Зоны распределения нагрузки* → *ОК*.

Очевидно, что распределение нагрузки на прогоны выполнено не точно, поскольку часть нагрузки попадает на стропильные балки (рисунок 39).

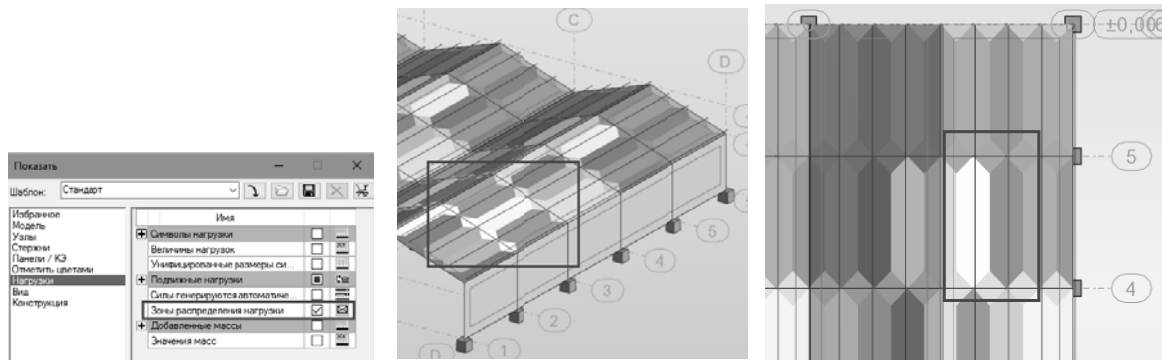


Рис. 39. Зоны распределения нагрузки

Для того, чтобы исправить эту неточность необходимо изменить направление распределения нагрузки следующим образом: *Меню* → *Геометрия* → *Дополнительные атрибуты* → *Распределение нагрузки. Покрытия...* (рисунок 40).

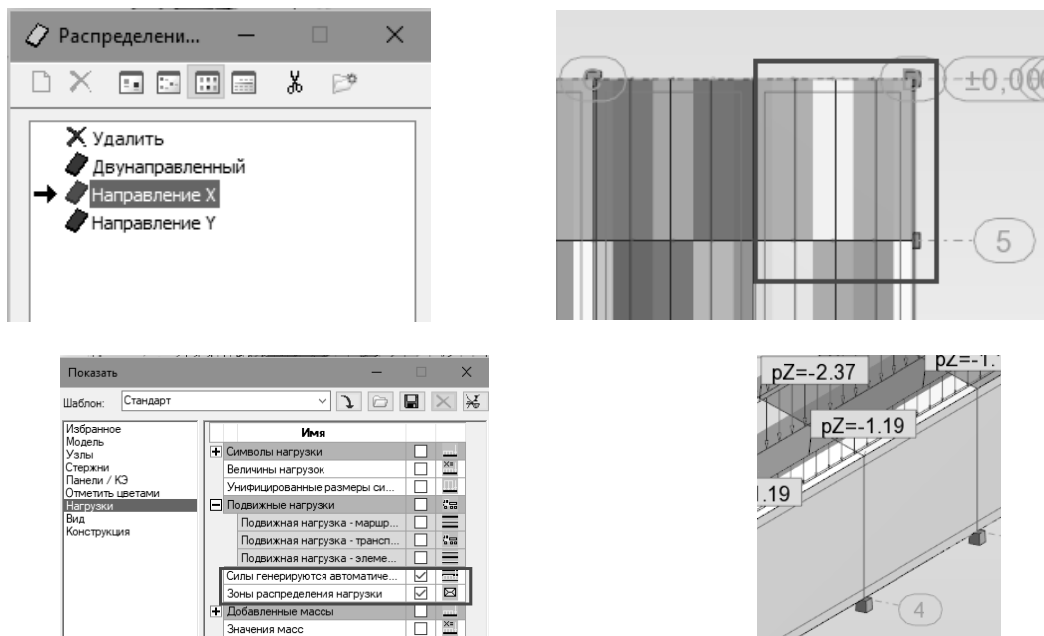


Рис. 40. Изменение направления распределения нагрузки на прогоны

Аналогично следует внести изменение в направление распределения нагрузки на вертикальные связи. В этом случае следует выполнить следующие действия: *Меню* → *Геометрия* → *Дополнительные атрибуты* → *Опции распределения нагрузок*: выделить стержни, которые следует проигнорировать при распределении нагрузки (рисунок 41).

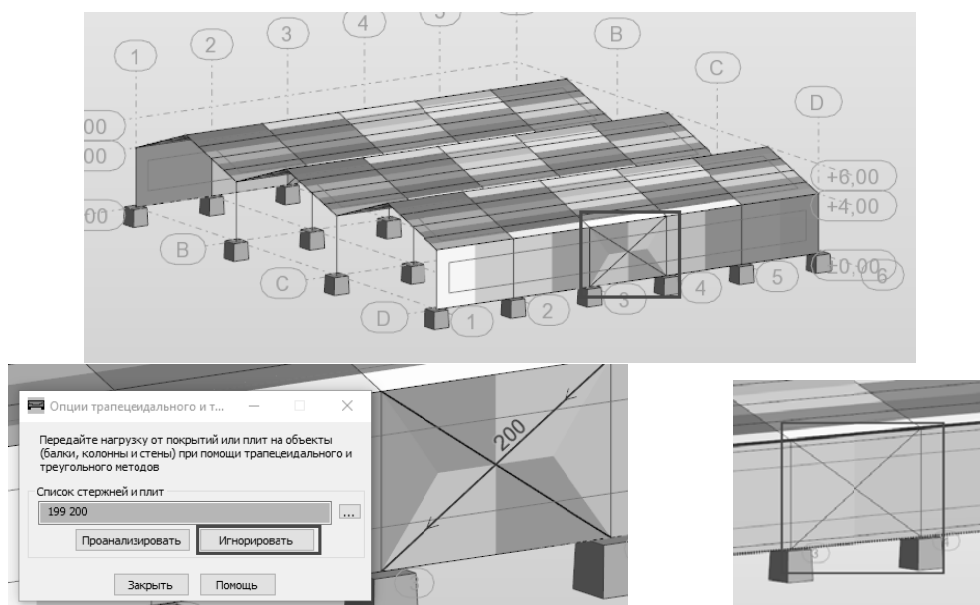


Рис. 41. Изменение распределения нагрузки на вертикальные связи

Кроме этого в рамках лабораторной работы необходимо выполнить анализ результатов статического расчета каркаса: реакции, усилия, перемещения, напряжения и деформации. Выявить максимальные значения, спрогнозировать поведение конструкции в целом и отдельных ее элементов в случае увеличения нагрузки.

Анализ результатов исследования и выводы представить в отчете по лабораторной работе.

3.3.4 Формирование групп элементов каркаса и результаты подбора сечений

Для удобства анализа результатов расчета и оптимизации сечений несущих элементов каркаса их следует объединить в группы, например, Колонны, Стропильные балки, Прогоны, Связи.

Для этого необходимо войти в Диалоговое окно *Определения*: *Меню* → *Проект* → *Расчет стальных элементов – опции* → *Элементы / группы – определение* (рисунок 42).

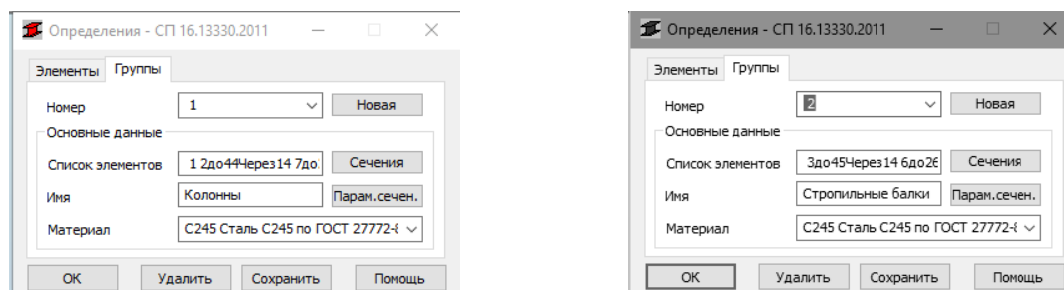


Рис. 42. Создание групп

После чего, выполнить проверочный расчет, назначив необходимые параметры в Диалоговом окне *Расчеты* (нормы проверки группы, предельные состояния) (рисунок 43).

Результаты расчета свидетельствуют, что назначенные предварительно сечения основных несущих элементов каркаса не соответствуют заданным нагрузкам. (рисунок 43).

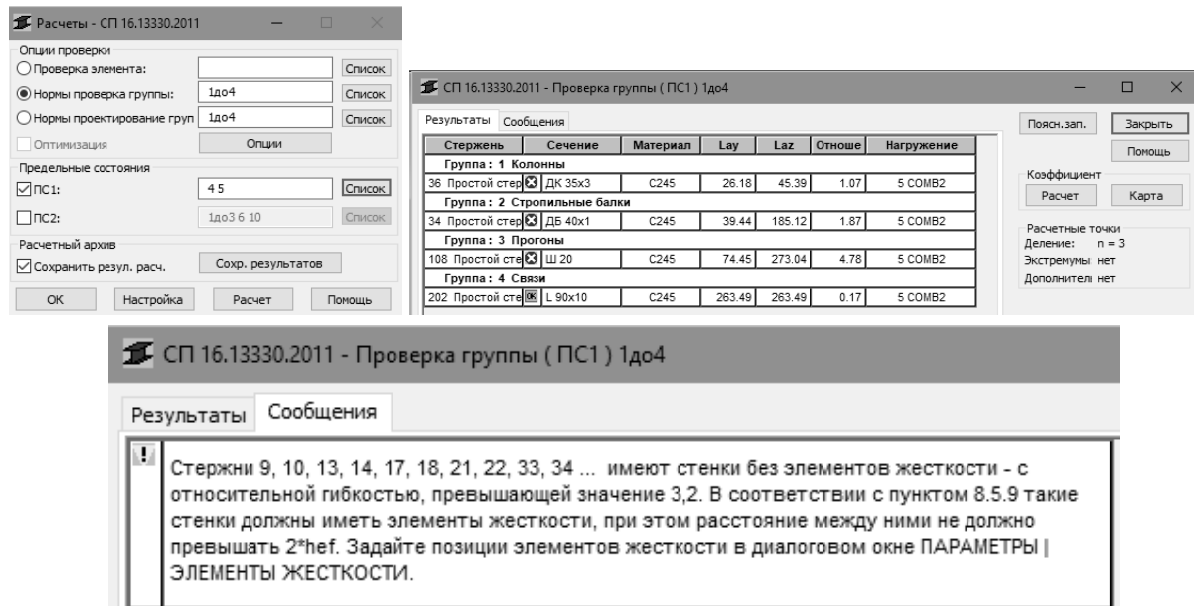


Рис. 43. Назначение параметров расчета и результаты

Для того, чтобы подобрать необходимые типы и размеры сечений, следует выделить строку, соответствующую группе, сечения элементов которой не отвечают требованиям расчета и назначить автоматический выбор предлагаемого RSA сечения. Затем нажать *Изменить* → *OK*. После чего выполнить расчет заново (рисунок 44).

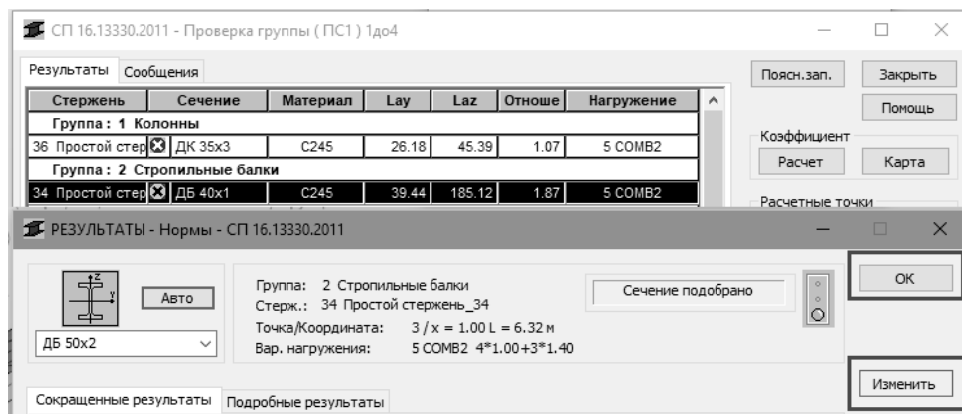


Рис. 44. Назначение новых типоразмеров сечениям элементов каркаса

Программа предложит новый вариант типоразмеров сечений несущих элементов пространственного каркаса (рисунок 45).

3.3.5 Проектирование узлов пространственного каркаса

Для проектирования узлов каркаса необходимо войти в приложение *Проектирование*

стальных соединений : Меню → Проект → Проектирование стальных соединений.

Затем выполнить операции, аналогичные описанным выше при проектировании узлов фермы (п. 2.3.5). Примеры результата проектирования узлов приведены на рисунках 46, 47.

СП 16.13330.2011 - Проверка группы (ПС1) 1до4

Результаты Сообщения

Стержень	Сечение	Материал	Lay	Laz	Отноше
Группа : 1 Колонны					
36 Простой стержень_36	ДК 40x1	C245	23.17	39.97	0.98
Группа : 2 Стропильные балки					
34 Простой стержень_34	ДБ 50x2	C245	31.15	148.17	0.90
Группа : 3 Прогонь					
175 Простой стержень_17	ШПз 26	C245	62.31	119.28	0.89
Группа : 4 Связи					
202 Простой стержень_20	L 90x10	C245	263.49	263.49	0.17

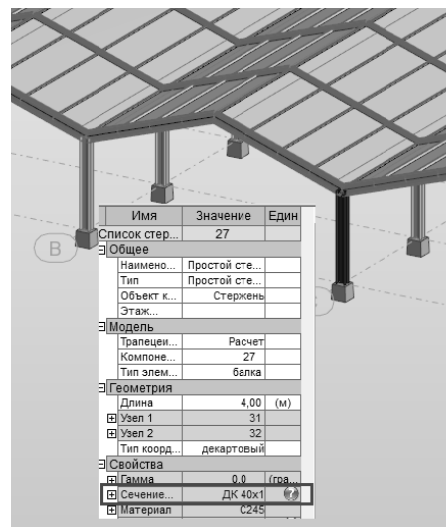


Рис. 45. Новые варианты типоразмеров сечений несущих элементов каркаса

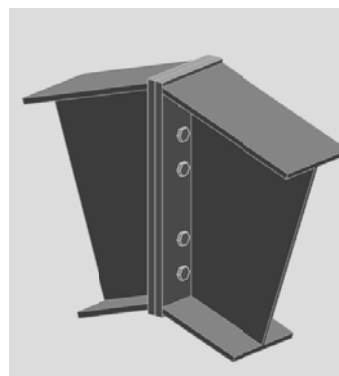
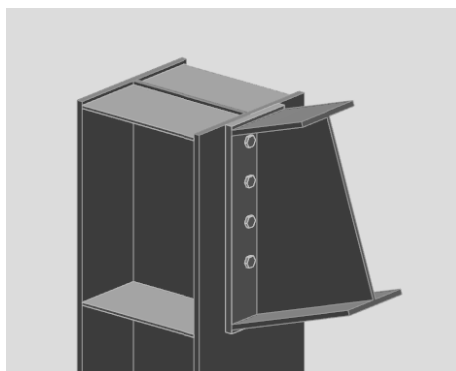


Рис. 46. Узел крепления стропильной балки к колонне

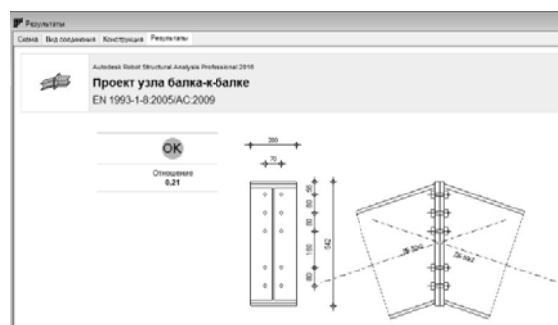


Рис. 47. Узел крепления стропильных балок

В отчет по лабораторной работе должны входить: исходные данные для проектирования (по варианту) пространственного стального каркаса; файл с моделью пространственного стального каркаса в RSA; пояснительная записка (полная) в RSA; обоснование выбора конструкции узлов.

4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОСНОГО СООРУЖЕНИЯ»

Бункерами и силосами называют крупноразмерные емкости, предназначенные для временного хранения и выгрузки сыпучих материалов. Опорожнение бункеров и силосов производится через расположенные в нижней их части специальные выпускные отверстия. Для улучшения условий истечения материала, бункера и силосы заканчиваются суживающейся частью, называемой воронкой. Наименьший угол наклона α стенки воронки к горизонту обычно на $5-10^\circ$ превышает угол естественного откоса сыпучего материала φ . Выпускные отверстия бункеров и силосов в зависимости от вида разгрузочного устройства и механических характеристик сыпучего материала могут иметь круглую, квадратную, прямоугольную или вытянутую (щелевую) в плане форму. Чтобы предохранить стенки бункеров и силосов от истирания, применяют футеровку - стальную или деревянную. Для истечения плохо сыпучих материалов используются различные побудительные устройства.

Хранилища сыпучих материалов, в которых высота стенки не превосходит полуторного наименьшего поперечного размера, называют *бункерами*. Более высокие хранилища сыпучих материалов называют *силосами*.

4.1 Цель лабораторной работы

Ознакомиться с приемами построения оболочечных конструкций в RSA, создать аналитическую модель железобетонного силосного сооружения и выполнить ее статический расчет.

4.2 Порядок выполнения лабораторной работы:

- создать аналитическую модель железобетонного силосного сооружения по индивидуальному заданию;
- выполнить нагружение силосного сооружения в соответствии с индивидуальным заданием;
- выполнить статический расчет силосного сооружения и провести исследование результатов расчета;
- подобрать оптимальные сечения стержней опорной стальной шарнирно-стержневой конструкции для силосного сооружения;
- выполнить проектирование узлов стальной опорной шарнирно-стержневой конструкции;
- проанализировать карты армирования оболочечной конструкции железобетонного силосного сооружения.

4.3 Пример выполнения лабораторной работы

Для создания аналитической модели силосного сооружения необходимо запустить программу RSA. Стартовый диалог программы предлагает выбрать необходимое приложение. Из списка задач следует выбрать приложение *Проектирование оболочек*.

Затем выполнить настройку необходимых норм проектирования: *Меню* → *Инструменты* → *Рабочие настройки* → *Нормы проектирования* (рисунок 48).

Далее необходимо создать координационные оси, необходимые для удобства построения модели: *Правая инструментальная панель* → *Назначение осей* или *Меню* → *Геометрия* → *Назначение осей*.

В рассматриваемом примере по сям X и Y , соответственно, задаем значения координат, равные размерам в плане верха конструкции – по 5 м (рисунок 49), а по оси Z от нижней плоскости (т.е. от $z = 0.0$) отложить значения, соответствующие основным размерам конструкции по вертикали: в нашем примере, это 3; 5; 5 м (рисунок 49).

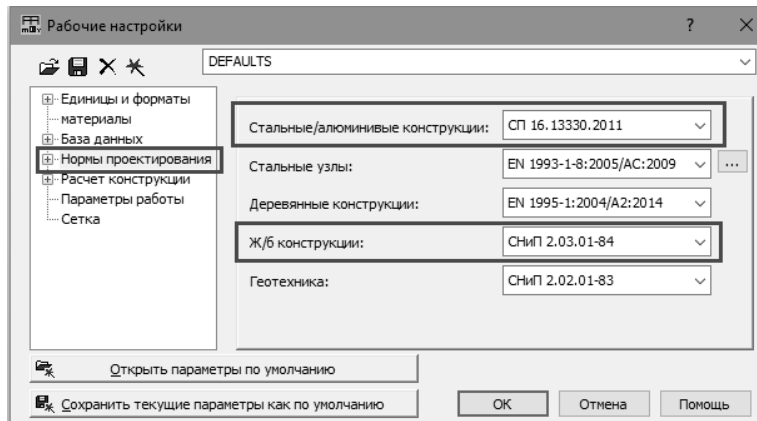


Рис. 48. Задание норм проектирования

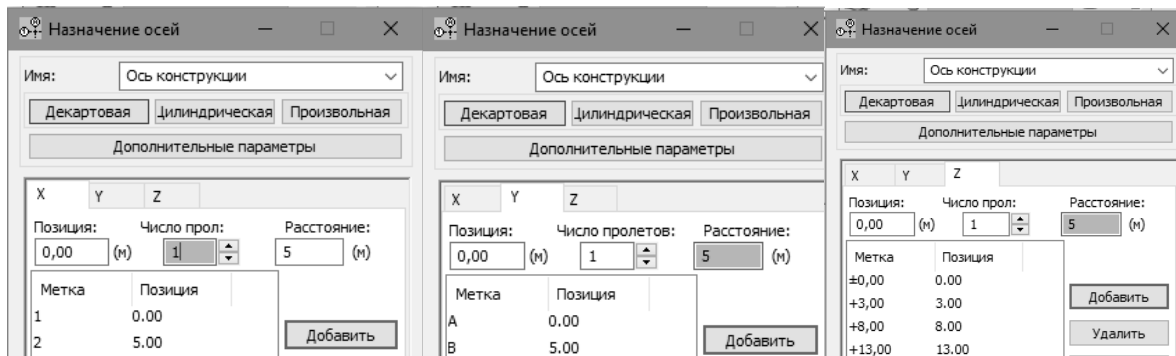


Рис. 49. Задание координационных осей

Следующий этап: задание сечений несущих стержневых элементов и оболочки силосного сооружения. Для этого используются известные по выполнению предыдущих работ Диалоговые окна: *Стержни*, *Толщина плиты*, которые находятся во вкладке *Геометрия* на основной ленте Меню или на *Правой инструментальной панели* (рисунки 50 - 54).

В нашем примере оболочка выполнена из бетона класса В30 толщиной 150 мм, обвязочные балки сечением 300x500 мм из бетона класса В30.

Стальная пространственная рама: колонны – двутавр колонный ДК 20x1 ГОСТ 26020-83, сталь 245; обвязочные балки – уголок равнополочный Л 90x10 ГОСТ 8509-93, сталь 245; раскосы - уголок неравнополочный Л 40x25x3 ГОСТ 8510-86*, сталь 245.

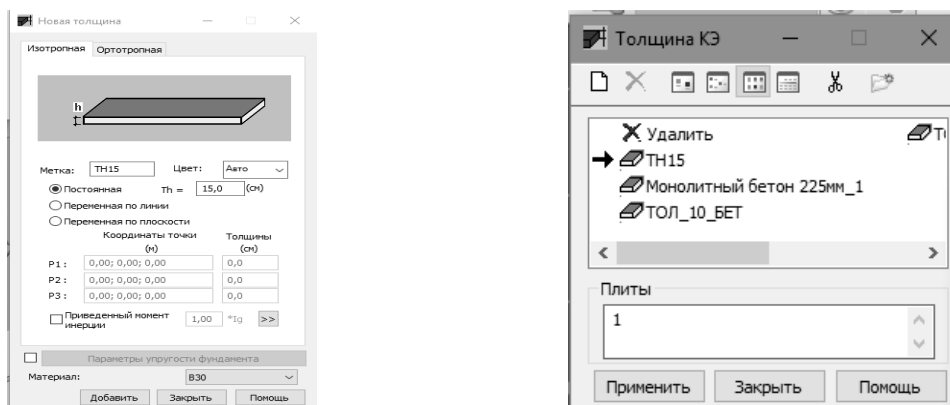


Рис. 50. Задание толщины оболочки

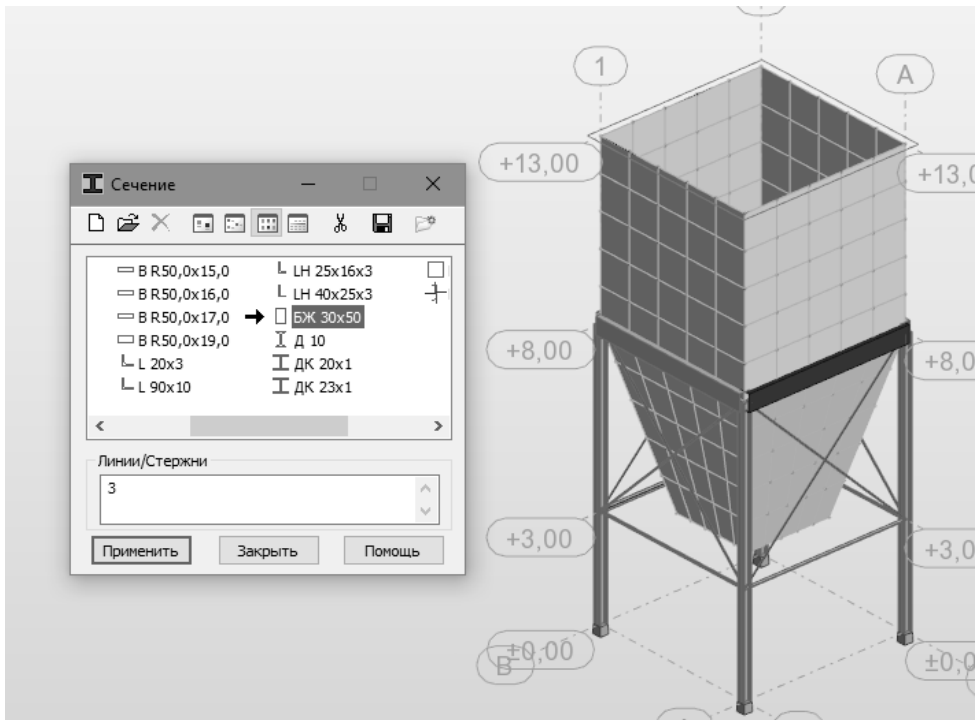


Рис. 51. Задание железобетонной обвязочной балки

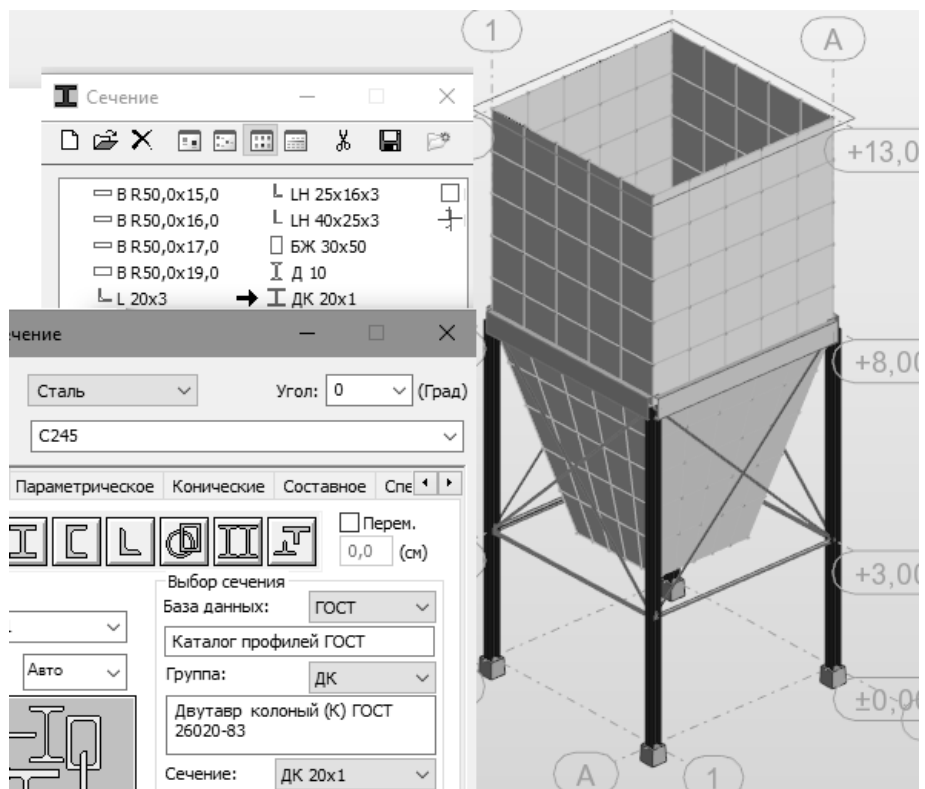


Рис. 52. Задание стальных колонн

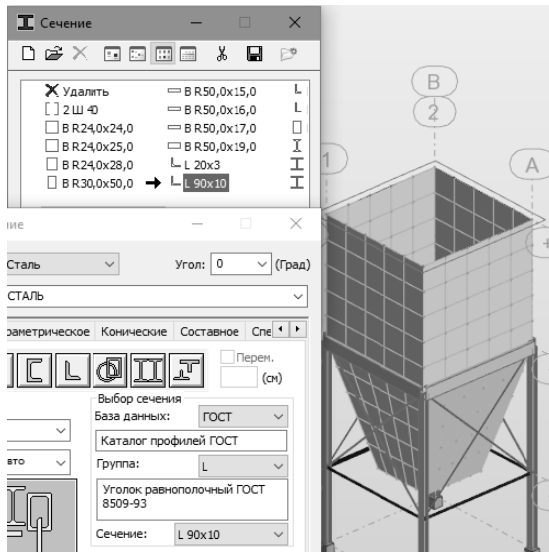


Рис. 53. Задание стальных обвязочных балок

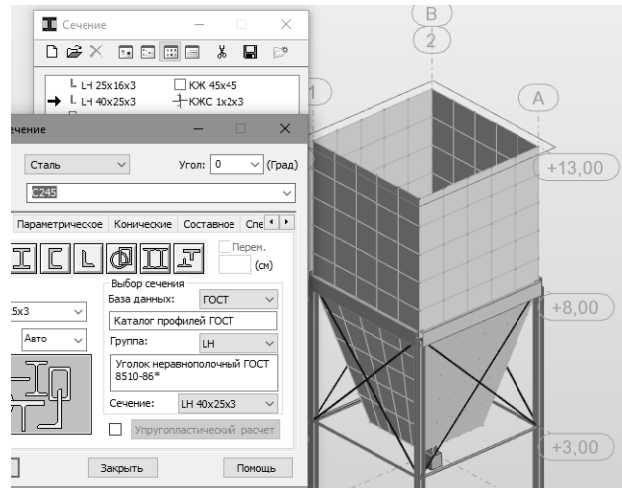


Рис. 54. Задание стальных раскосов

После задания параметров конструктивных элементов силосного сооружения можно приступить к его построению.

Для этого необходимо в верхней горизонтальной плоскости на отметке +13.00 построить контур с размерами 5.0x5.0 (м): Меню → Геометрия → Объекты → Полилиния – контур ... или на Правой инструментальной панели → Полилиния-контур (рисунок 55).

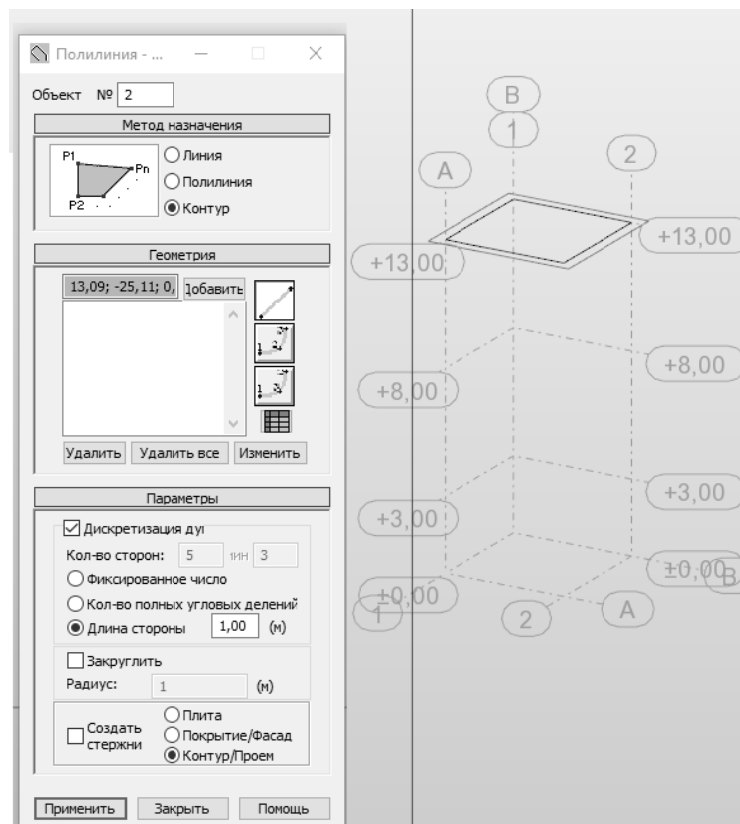


Рис. 55. Создание контура оболочки

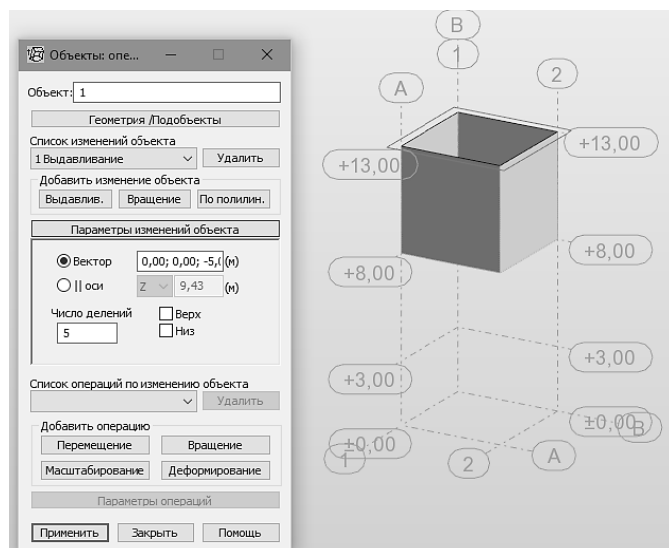


Рис. 56. Создание оболочки *Выдавливанием*

После создания контура можно приступить к операции *Выдавливание*, позволяющей построить верхнюю часть силоса: *Меню* → *Редактор* → *Изменение подконструкции* → *Модификация объекта* (рисунок 56).

В Диалоговом окне *Объекты: операции*:

- выбрать *Объект* выдавливания (Контур 1);
- *Добавить изменение объекта* → *Выдавливание*;
- *Параметры изменений объекта*: Вектор по оси Z на отметку -5,0 м с перемещением *Вниз* и *Числом делений* «5»;
- *Применить*.

Не выходя из Диалогового окна *Объекты: операции*, аналогично выполнить вторую операцию выдавливания (*Выдавливание 2*), при этом задав параметры масштабирования (рисунок 57).

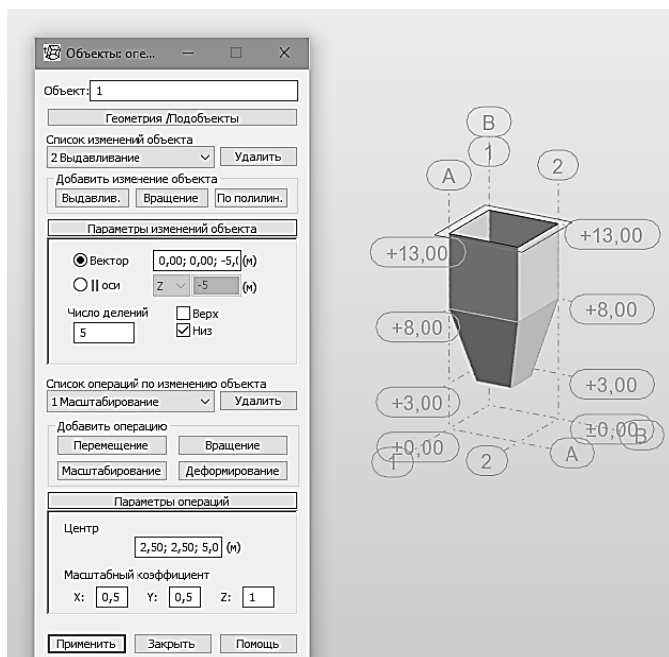


Рис. 57. Завершение создания оболочки *Выдавливанием*

Далее выполняется построение стержневых элементов известными способами по опыту выполнения предыдущей лабораторной работы (рисунки 58-61).

После чего можно запустить статический расчет конструкции по нагрузке от собственного веса (рисунок 62).

Расчет стальных элементов показал, что выбор сечения стальных колонн не удовлетворяет нагрузкам от собственного веса конструкции, поэтому пришлось выполнить подбор нового сечения: ДК23х1 (рисунок 63).

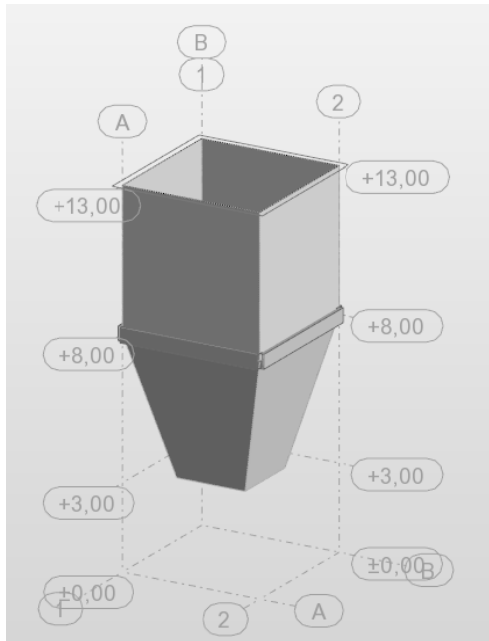


Рис. 58. Создание железобетонных балок

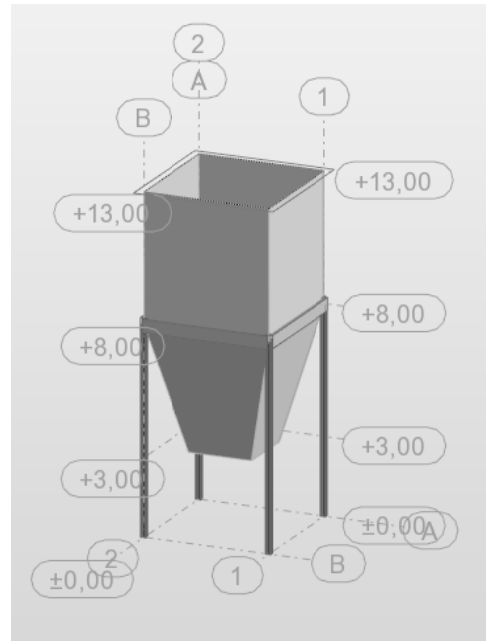


Рис. 59. Создание стальных колонн

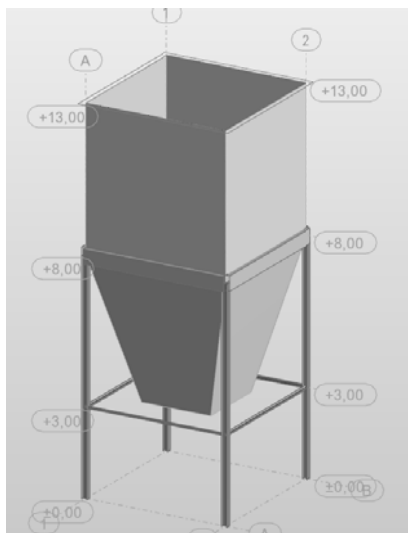


Рис. 60. Создание стальных балок

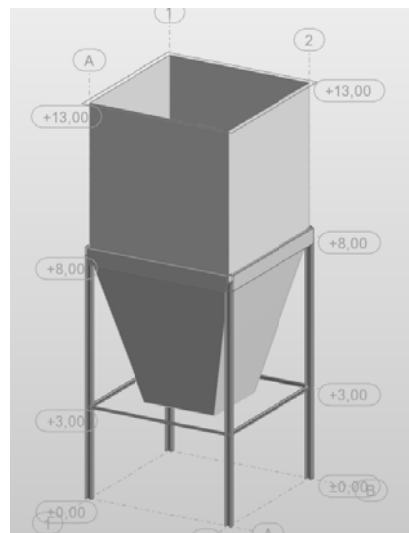


Рис. 61. Создание стальных раскосов

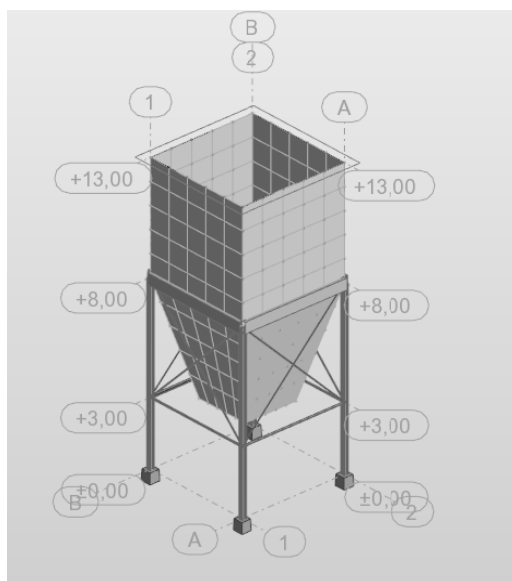


Рис. 62. Результат статического расчета

СП 16.13330.2011 - Проверка стержней (ПС2; ПС1) бдо21

Результаты Сообщения

Стержень	Сечение	Материал	Lay	Laz	Отноше	Нагружение	От
6 Колонна_6	DK 23x1	C245	94.07	159.19	1.23	1 DL1	
7 Колонна_7	DK 23x1	C245	94.07	159.19	1.23	1 DL1	
8 Колонна_8	DK 23x1	C245	94.07	159.19	1.23	1 DL1	
9 Колонна_9	DK 23x1	C245	94.07	159.19	1.23	1 DL1	
10 Простой стержень_10	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1	
11 Простой стержень_11	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1	
12 Простой стержень_12	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1	
13 Простой стержень_13	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1	
14 Простой стержень_14	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
15 Простой стержень_15	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
16 Простой стержень_16	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
17 Простой стержень_17	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
18 Простой стержень_18	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
19 Простой стержень_19	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
20 Простой стержень_20	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	
21 Простой стержень_21	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1	

Поясн.зап. Закрыть
Помощь
Коэффициент Расчет Карта
Расчетные точки n = 3
Экстремумы нет
Дополнитель нет

СП 16.13330.2011 - Проверка стержней (ПС2; ПС1) бдо21

Результаты Сообщения

Стержень	Сечение	Материал	Lay	Laz	Отноше	Нагружен
6 Колонна_6	DK 23x1	C245	80.38	132.60	0.67	1 DL1
7 Колонна_7	DK 23x1	C245	80.38	132.60	0.67	1 DL1
8 Колонна_8	DK 23x1	C245	80.38	132.60	0.67	1 DL1
9 Колонна_9	DK 23x1	C245	80.38	132.60	0.67	1 DL1
10 Простой стержень_10	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1
11 Простой стержень_11	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1
12 Простой стержень_12	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1
13 Простой стержень_13	L 90x10	СТАЛЬ	182.70	182.70	0.08	1 DL1
14 Простой стержень_14	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
15 Простой стержень_15	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
16 Простой стержень_16	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
17 Простой стержень_17	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
18 Простой стержень_18	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
19 Простой стержень_19	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
20 Простой стержень_20	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1
21 Простой стержень_21	LH 40x25x3	C245	555.72	1008.03	0.23	1 DL1

Рис. 63. Отчет по выбору сечений стальных стержней

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо выполнить исследование усилий и напряжений в стержнях пространственного стального каркаса, обвязочной железобетонной балке и оболочки силоса.

Проанализировать карты армирования оболочки и результаты теоретического армирования железобетонной обвязочной балки. Предложить варианты фактического армирования железобетонной обвязочной балки и оболочки силосного сооружения.

5 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Для защиты лабораторных работ студент должен предоставить выполненную по варианту модель конструкции в электронном виде с пояснительной запиской (RSA) на бумажном носителе.

Кроме этого, оформляется пояснительная записка по каждой лабораторной работе, в которой должны быть отражены: исходные данные для выполнения работы по индивидуальному заданию; результаты анализа усилий, напряжений, деформаций и других параметров, полученных в процессе расчета и исследования поведения конструкции под нагрузкой; варианты оптимизации геометрических параметров элементов конструкции; технико-экономическое обоснование вариантов замены материалов элементов конструкции.

Студент должен быть готовым ответить на все вопросы, которые связаны с порядком построения модели, заданием нагрузки, с принятием предварительных размеров несущих конструкций, с порядком выполнения работы, чтения результатов расчета. Уметь продемонстрировать редактирование конструкции несущих конструкций при изменении исходных данных: нагрузки, материалов, размеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Адамчук Н.* Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010. Примеры расчета конструкций. [Электронный ресурс. URL: http://structure-drawing.blogspot.com/p/blog-page_51.html

(дата обращения 27.01.2020)

2. *Адамчук Н.* Металлическая ферма (курсовое и дипломное проектирование): методические указания по работе с программами Robot Structure Analyses и Revit Structure. [Электронный ресурс. URL: [//structure-drawing.blogspot.com/p/blog-page_51.html](http://structure-drawing.blogspot.com/p/blog-page_51.html) (дата обращения 27.01.2020)

3. *Шмелев Г.Н.* 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.

4. Серия 1.420.3-39.08 Каркасы стальные «УНИТЭКС-Р1» одноэтажных производственных зданий (для бескрановых зданий). Выпуск 0-1. Материалы для проектирования. М.: ООО НИИ и ПСФ «Уникон», 2008. 200 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты заданий по лабораторной работе № 1

Номер варианта	Схема фермы	Район строительства	Шаг ферм, м	Нормативная нагрузка от кровли, кПа	Класс стали
1	Рисунок А1	Санкт-Петербург	6	2,25	C245
2		Москва	6	2,34	C255
3		Сыктывкар	6	2,52	C235
4		Хабаровск	6	2,24	C245
5		Новосибирск	6	2,12	C255
6		Красноярск	9	2,54	C235
7		Владивосток	9	2,83	C245
8		Пермь	9	2,65	C255
9		Чита	9	2,11	C235
10		Кемерово	9	2,87	C245
11		Челябинск	9	2,45	C255
12		Уренгой	9	2,01	C235
13		Сургут	9	2,23	C245
14		Тобольск	9	2,98	C255
15		Курган	12	2,33	C235
16		Архангельск	12	2,76	C245
17		Мурманск	12	2,61	C255
18		Воркута	12	2,34	C235

Примечание. Сечения раскосов, стоек, поясов принимаются самостоятельно на основании конструктивных рекомендаций по конструированию стальных ферм.

Варианты заданий по лабораторной работе № 2

Номер варианта	Район строительства	Пролет здания, м	Шаг ферм, м	Высота здания, м	Код нормативной нагрузки
1	Санкт-Петербург	9	3,0	4,2	I
2	Москва	12	4,5	6,0	II
3	Сыктывкар	15	6,0	4,8	III
4	Хабаровск	18	3,0	6,6	IV
5	Новосибирск	21	4,5	7,2	I
6	Красноярск	9	6,0	4,8	II
7	Владивосток	12	3,0	6,6	III
8	Пермь	15	4,5	5,4	IV
9	Чита	18	6,0	7,2	I
10	Кемерово	21	3,0	7,8	II
11	Челябинск	9	4,5	5,4	III
12	Уренгой	12	6,0	7,2	IV
13	Сургут	15	3,0	6,0	I
14	Тобольск	18	4,5	7,8	II
15	Курган	21	6,0	8,4	III
16	Архангельск	9	3,0	3,6	IV
17	Мурманск	12	4,5	5,4	III
18	Воркута	15	6,0	6,6	IV

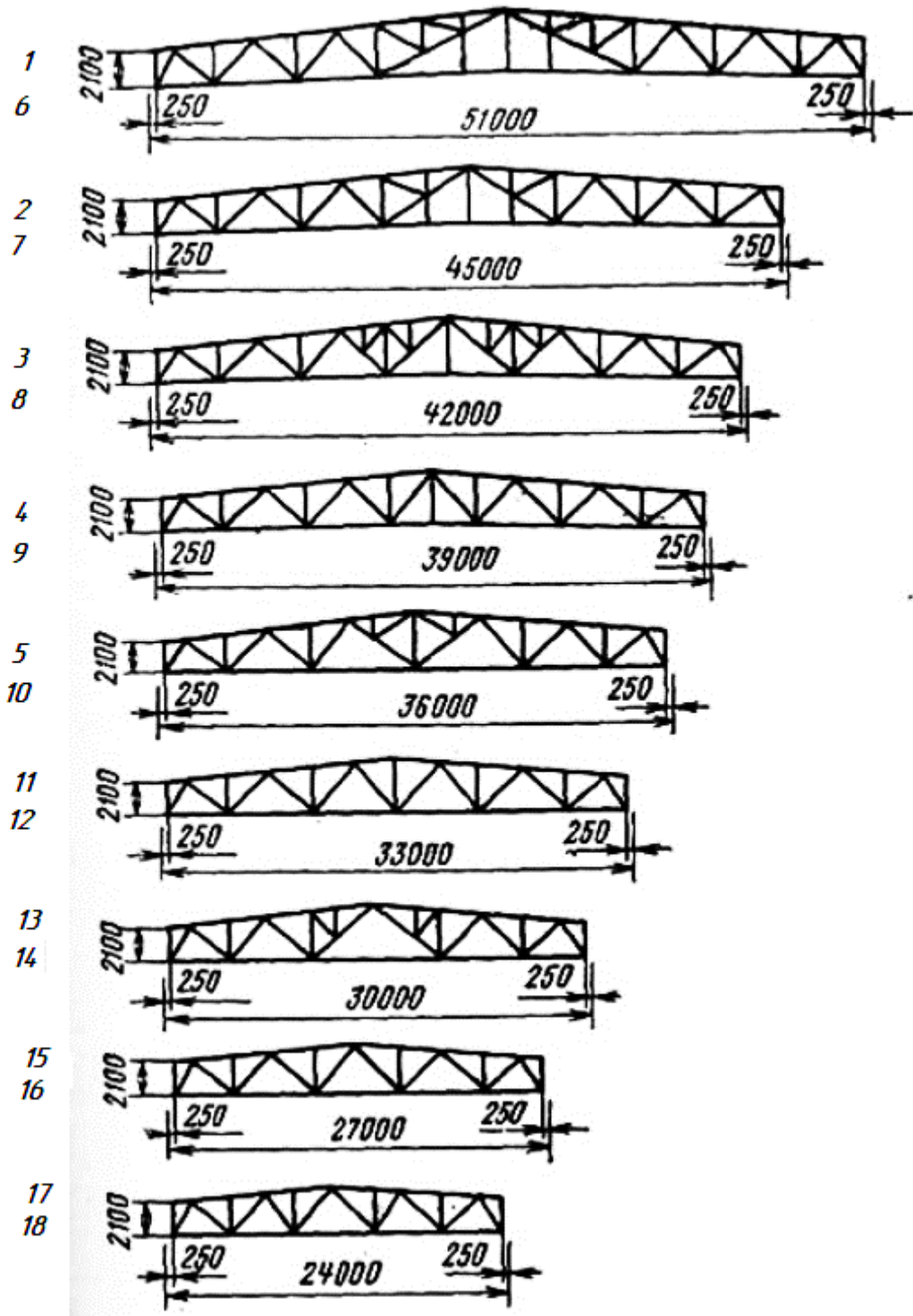


Рис. П.1. Задания к лабораторной работе № 1

Варианты заданий по лабораторной работе № 3

Номер варианта	Район строительства	Размеры силоса, м							Высота стоек
		a	b	a_0	b_0	h_1	h_2	H	
1	Санкт-Петербург	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	10,0
2	Москва	6,5	6,5	2,5	2,5	6,5	6,5	13,0	11,0
3	Сыктывкар	6,8	6,8	3,0	3,0	7,0	6,0	13,0	12,0
4	Хабаровск	5,0	5,0	2,5	2,5	6,2	6,0	12,2	10,5
5	Новосибирск	5,5	5,5	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	10,0
6	Красноярск	4,8	4,8	2,0	2,0	5,0	5,0	10,0	10,0
7	Владивосток	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	10,0
8	Пермь	6,5	6,5	2,5	2,5	6,5	6,5	13,0	11,0
9	Чита	6,8	6,8	3,0	3,0	7,0	6,0	13,0	12,0
10	Кемерово	5,0	5,0	2,5	2,5	6,2	6,0	12,2	10,5
11	Челябинск	5,5	5,5	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	10,0
12	Уренгой	6,5	6,5	2,5	2,5	6,5	6,5	13,0	11,0
13	Сургут	6,8	6,8	3,0	3,0	7,0	6,0	13,0	12,0
14	Тобольск	4,8	4,8	2,0	2,0	5,0	5,0	10,0	10,0
15	Курган	6,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	10,0
16	Архангельск	5,0	5,0	2,0	2,0	5,0	5,5	10,5	9,5
17	Мурманск	6,2	6,2	2,4	2,4	6,5	6,0	12,5	11,0
18	Воркута	5,7	5,7	2,3	2,3	6,0	5,5	11,5	10,5

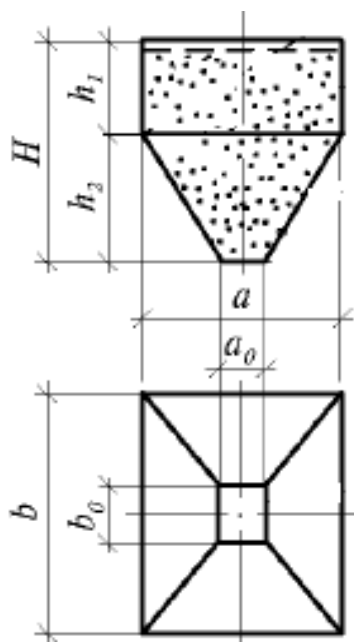


Рис. П.2. Задания к лабораторной работе № 3

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1 Цель и содержание лабораторных работ	3
2 Лабораторная работа №1. Проектирование плоской стальной фермы	4
2.1 Цель лабораторной работы	4
2.2 Порядок выполнения лабораторной работы	4
2.3 Пример выполнения лабораторной работы	4
2.3.1 Построение расчетной схемы фермы	4
2.3.2 Задание нагрузок	8
2.3.3 Анализ результатов статического расчета фермы	10
2.3.4 Подбор и оптимизация сечений стержней фермы	11
2.3.5 Проектирование узлов фермы	14
3 Лабораторная работа № 2. Проектирование пространственного стального каркаса	16
3.1 Цель лабораторной работы	16
3.2 Порядок выполнения лабораторной работы	16
3.3 Пример выполнения лабораторной работы	16
3.3.1 Построение расчетной схемы пространственного каркаса	16
3.3.2 Задание нагрузок	22
3.3.3 Статический расчет и анализ результатов	23
3.3.4 Формирование групп элементов каркаса и результаты подбора сечений	24
3.3.5 Проектирование узлов пространственного каркаса	25
4 Лабораторная работа № 3. Проектирование силосного сооружения	27
4.1 Цель лабораторной работы	27
4.2 Порядок выполнения лабораторной работы	27
4.3 Пример выполнения лабораторной работы	27
5 Порядок защиты лабораторных работ	33
Библиографический список	34
Приложение	35

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов магистратуры направления 08.04.01*

Сост. Л.А. Голдобина

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
строительства горных предприятий и подземных сооружений

Ответственный за выпуск *Л.А. Голдобина*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 19.03.2020. Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 4,4. Усл.кр.-отт. 4,4. Уч.-изд.л. 4,0. Тираж 50 экз. Заказ 236. С 49.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2