

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный строительный университет»

Утверждено на заседании кафедры
«Строительная механика и теория сооружений»
28 августа 2023 г.

СПЕЦКУРС ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ДЛЯ КАФЕДРЫ СМИТС

Методические указания

для самостоятельной работы для обучающихся заочной формы обучения по
направлениям

08.03.01 "Строительство", все программы подготовки ПГС

Ростов-на-Дону

2023

УДК 699.8

Спецкурс для объектов профессиональной деятельности для кафедры СМиТС: методические указания для самостоятельной работы для обучающихся заочной формы обучения по направлению 08.03.01 "Строительство", все программы подготовки ПГС – Ростов н/Д: ДГТУ, 2023. – 32 с.

Дается обоснование содержания курса. Приведены сведения о начальной работе с современными программными комплексами расчета строительных конструкций при расчете плоских стержневых систем. Основные положения подкреплены иллюстрациями.

Электронная версия методических указаний находится в ЭБС.

УДК 699.8

Составители: проф., докт. техн. наук Л.Н. Панасюк
доц., канд. техн. наук Е.В.Труфанова

Введение

Решение сложных инженерных задач в настоящее время немыслимо без привлечения ЭВМ. В связи с этим освоение современных, достаточно сложных, программных комплексов является неотъемлемой частью подготовки инженеров-строителей. В тоже время освоение студентами специализированного программного обеспечения в рамках отдельных учебных курсов имеет определенные недостатки. Главные недостатки – это оторванность от основных дисциплин и затрудненность проверки получаемых в программах результатов. В результате у студента складывается впечатление, что результаты, полученные в программах, носят абсолютный характер и никаким иным образом не могут быть проверены. Эти недостатки можно исключить, интегрировав освоение программных продуктов в основные курсы.

В настоящих методических указаниях даются описаны основные этапы работы с современными программными комплексами Stark-ES и Gen-3DIM применительно к расчету плоских стержневых систем.

При освоении материала студент должен изучить базовые приемы работы с современным программным комплексом на примере создания расчетной модели плоских стержневых систем. Он изучит основные положения при создании компьютерной модели, основные ошибки, допускаемые в процессе работы. Научится вводить геометрическую схему, изучит приемы, облегчающие трудоемкость при вводе (работе с привязками, копированием, разбиением стержней). Научится грамотно осуществлять их стыковку. Изучит работу по заданию шарниров и опор, сечений элементов, нагрузок и воздействий. Научится выполнять расчет и проводить анализ результатов.

Краткие сведения о методе конечных элементов (МКЭ)

В методе конечных элементов формируется система разрешающих уравнений для конструкции в целом.

Суть этой системы – уравнения равновесия каждого узла, в которых усилия в стержнях выражены через перемещения узлов. В уравнениях равновесия неизвестными являются узловые перемещения.

Для каждого узла в уравнениях равновесия участвуют примыкающие к узлу стержни. Примыкание считается не на формальном геометрическом уровне (стержень касается или проходит через узел), а на уровне фактических номеров узлов, которые ограничивают стержни.

Например, если введено два стержня таким образом – первый стержень соединяет точки с номерами 1 и 2, а второй – точки с номерами 3 и 4 (см рис. 1), то программа будет «считать», что в точке 3, точнее, к узлу 3 примыкает только один наклонный стержень. И в равновесие узла 3 будет входить усилие только со второго стержня. Первый стержень никак не будет влиять на равновесие узла 3, т.е., с точки зрения «чертежа», схема правильная. Однако, на уровне расчета эта схема неверна – программа считает, что стержни 1 и 2 не состыкованы, т.е. на рис.1 по идеологии МКЭ – два несвязанных стержня.

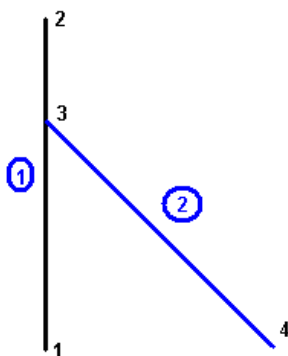


Рисунок 1.

(Черные цифры – номера узлов, синие в кружках – номера стержней)

Верное решение следующее: стержень 1 разбивается на два, примыкающих к узлу 3, т.е. в расчетной модели должно быть три стержня: стержень 1-3, стержень 3-2, стержень 3-4 (см. рис. 2).

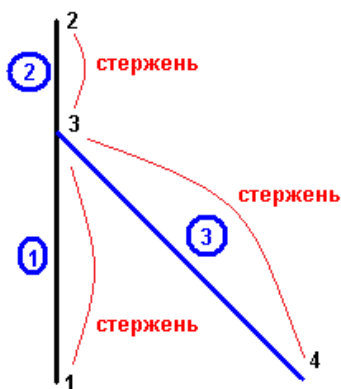


Рисунок 2. Корректное разбиение на стержни

Итак, одно из основных требований к геометрической схеме – элементы стыкуются своими узлами!

Ввод расчетной стержневой модели

Рассмотрим один из вариантов использования интерфейса программы по формированию корректной геометрии расчетной модели, т.е. о вводе системы на уровне стержней и использованию вспомогательных функций интерфейса программы.

Естественно, возможно довольно много разных вариантов ввода исходных данных расчетной модели. Остановимся на применении наиболее часто используемых функциях.

Т.к. модель состоит только из стержней, то ее ввод можно выполнить на уровне формирования расчетной модели целиком в одном файле с использованием интерфейса редактирования конечно-элементной схемы. Комплексы STARK и ING+ для ввода данных по более сложным объектам предоставляет дополнительные возможности: ввод фрагментов модели в разных файлах и их последующую сборку в один, использование вспомогательных моделей «в позициях» и последующее автоматическое построение конечно-элементной модели и т.п. На первом этапе рассмотрим более примитивный ввод, тем более, что рассматриваемый пример конструкции достаточно прост и не требует использования сложных возможностей.

Работу изучим на примере расчета плоской рамы (рис. 3). На рисунке представлены: геометрическая схема с размерами и условия сопряжения

стержней между собой и с землей. Рассмотрены основные возможные узлы: жесткий, шарнирный, с частичным шарниром (шарнирное примыкание стержней к жесткому узлу). Из опорных связей использованы заделка и шарнирно-неподвижная опора. Нагрузки и сечения стержней определим по мере ввода конструкции, на схеме не приведены.

Работа будет показана на примере комплекса Gen-3DIM (входит в состав пакета ING+). Комплекс Stark-ES имеет очень схожий интерфейс. Кроме того, Stark-ES рассмотрен ранее в учебном пособии [1].

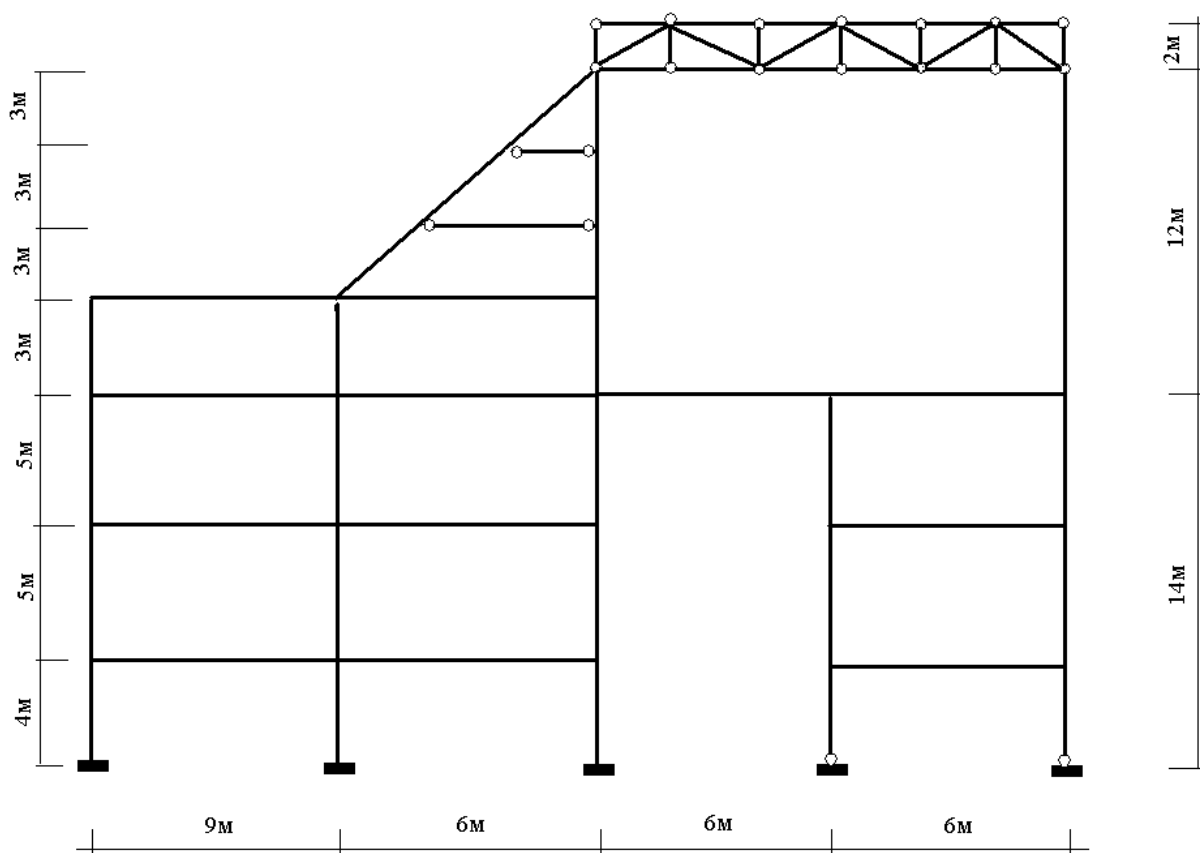


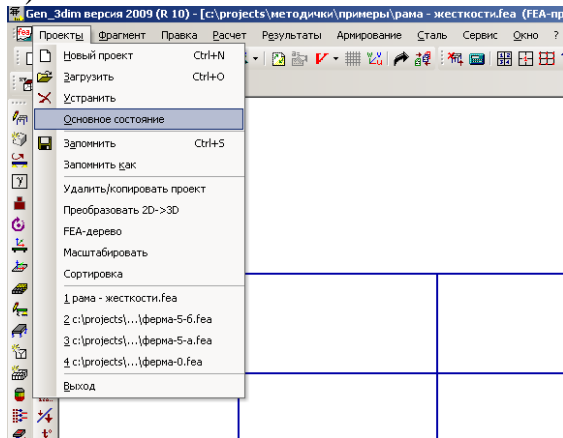
Рисунок 3. Модельная конструкция

Начало работы с комплексом

После запуска программы появится основное окно. Оно может быть либо пустым, либо содержать последнюю рассмотренную задачу. Для ввода нового проекта в этом случае следует выбрать в главном **Меню** в разделе **Проекты** пункт *Основное состояние* (см. рис 4,а). Окно пустого проекта показано на рис. 4,б. Окно проекта состоит из нескольких полей. Основное

Меню, поля значков быстрого выбора и переключателей (под основным **Меню**). В правой части экрана набор *вспомогательных окон*, в том числе окно дополнительного **Меню**. Основной экран занимает *рабочий стол* (темно-серый фон), на котором будет потом расположено одно или несколько окон графического ввода и редактирования конструкции.

а)



б)

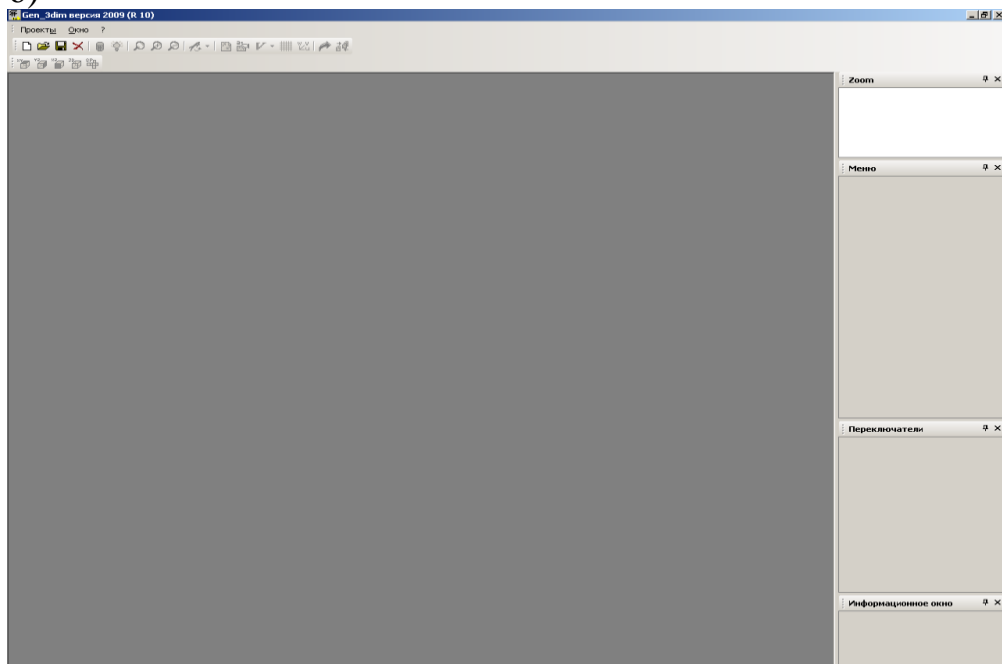


Рисунок 4. Начальный этап работы с комплексом

Для работы с новым проектом выбираем в меню **Проект** пункт **Новый проект** (далее для краткости *Проект-Новый проект*). После чего появляется окошко, в котором вводятся данные по файлу, папке и подписям к работе.

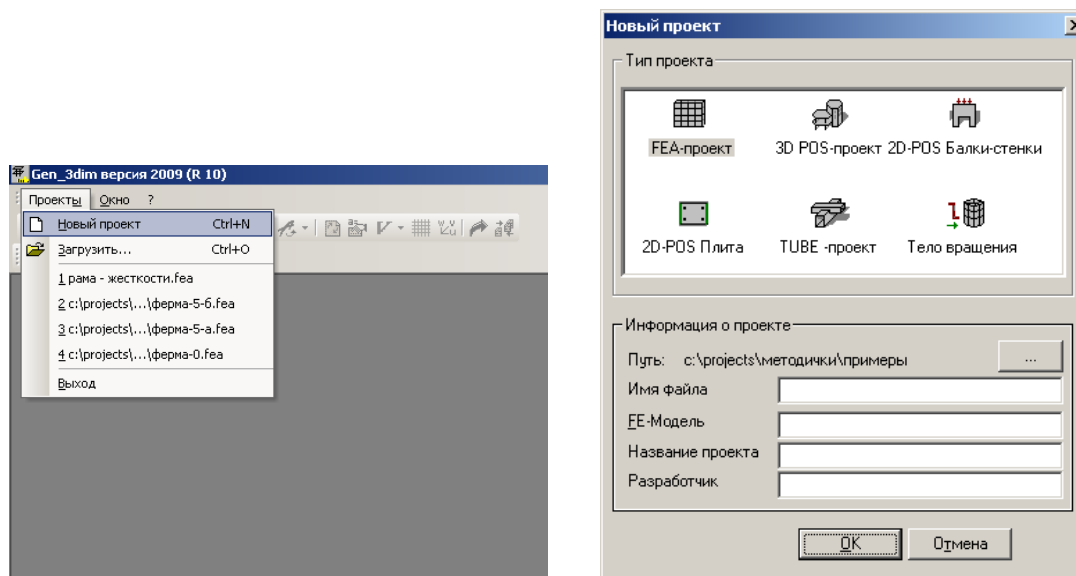


Рисунок 5. Создание нового проекта

Следует выбрать в верхнем поле FEA-проект (установлен по умолчанию), указать путь к файлу проекта (можно не изменять, если работаем в старой папке), и имя файла (у нас будет *Пример рамы*). Поля *FE-модель*, *Название проекта*, *Разработчик* содержат вспомогательную текстовую информацию, их можно не заполнять (рис. 5).

После выполнения этих действий откроется графическое окно проекта. Оно может занимать весь *Рабочий стол*, а может быть небольшим и его можно перемещать по *Рабочему столу*, или сворачивать в значок. Далее на стандартных действиях с окнами в операционной системе не останавливаемся. На рис.7 показан вид всего окна программы при активизации проекта. Теперь видны все пункты *Меню* и *быстрые кнопки* и переключатели.

Обратим внимание на дублирующий вариант *Меню* в правом вспомогательном окне. Оно дублирует *Главное Меню*, но в отличие от него является не выпадающим, а фиксированным. Т.е., после входа в пункт меню будет активно скрытое под ним подменю.

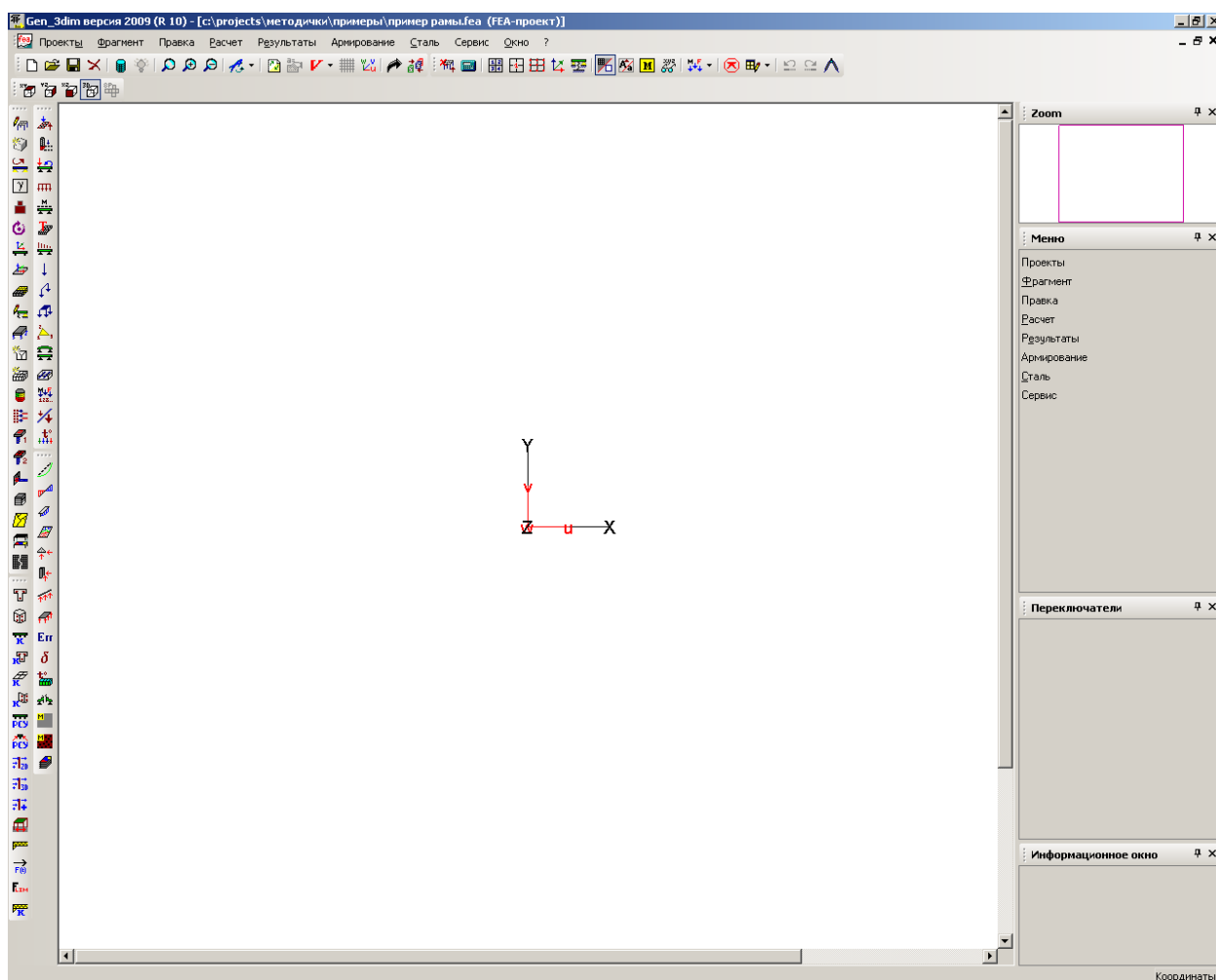


Рисунок 6. Главное окно программы

Установка типа задачи

На этом этапе определяем, что работаем с плоской моделью. Пункт меню *Правка – Элементы – Установка*. Открывается вспомогательное поле *Переключателей*, в котором выбираем *2D-балки* (рис. 7).

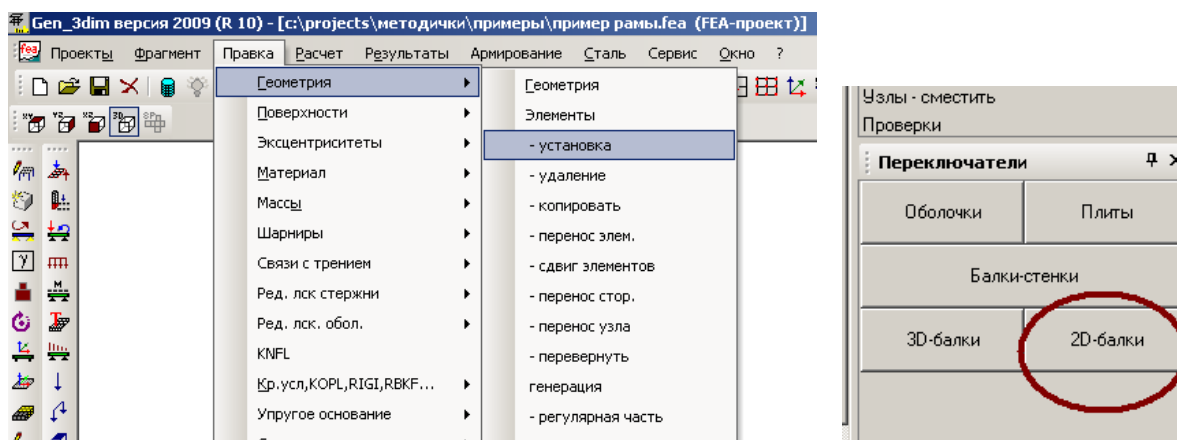


Рисунок 7. Выбор плоской модели

Выбор плоской модели будет подтвержден вводом первого элемента (стержня). До первого ввода стержня тип задачи можно изменить.

Основные приемы при вводе геометрической схемы конструкции

Ввод стержней выполняется в графическом окне в интерактивной форме щелчками мышки – отметкой первого и второго узла стержня. Однако существует несколько приемов и переключателей, облегчающих процесс ввода. Одним из них является задание раstra координатных осей для удобства привязки узлов к координатной сетке. Этот способ рассматривать не будем, т.к. реализованные в программе функции *Привязки*, *Деления*, *Копирования*, *Перемещения* достаточно удобны при вводе стержней.

Работа большинства функций зависит от текущего состояния переключателей. Рекомендуется обратить внимание на действие следующих переключателей или их комбинаций. Состав кнопок переключателей зависит от того, какая функция программы выполняется в данный момент. Например, переключатели, определяющие способ выбора элементов будут видны при выполнении таких функций, как *копирование*, *перемещение*, *деление* элементов и т.п.

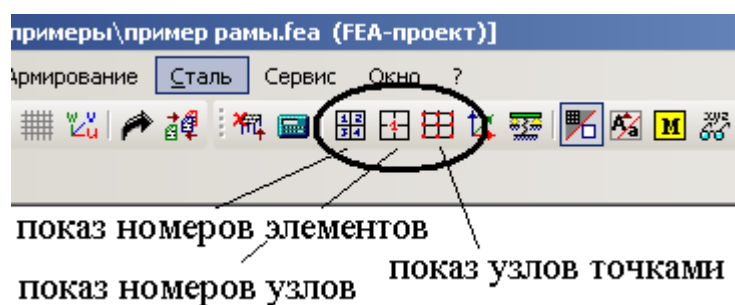


Рисунок 8. Назначение переключателей способа отображения модели

При активизации переключателей на рис.8 будут выводиться номера элементов (стержней) модели, номера узлов, или будут показаны узлы конструкции красными точками. Последнюю функцию желательно включить при вводе и исправлении модели (далее – обе операции называем *Редактированием* модели).

Следующая группа переключателей определяет способ привязки координат вводимой точки (**координаты узлов задаются в метрах**).

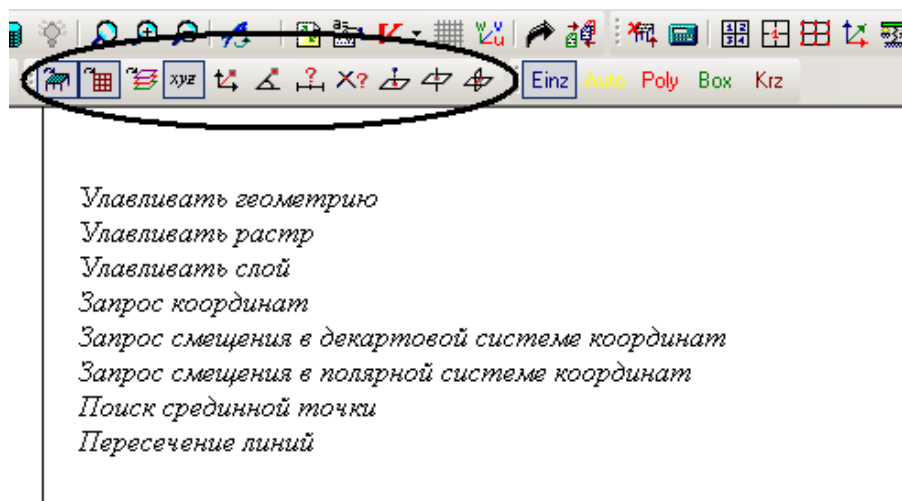


Рисунок 9. Назначение переключателей способа отображения модели

На рис. 9 дана подсказка к переключателям способа привязки, используемая при вводе стержневых систем.

- *Улавливать геометрию* – система пытается привязать положение курсора при щелчке в поле редактирования к ближайшему узлу введенной системы. Если курсор достаточно далеко от всех узлов, то привязка не выполняется,
- *Улавливать растр* – привязка курсора к ближайшей точке растра,
- *Улавливать слой* – привязка к точкам загруженного чертежа в формате *dxg*,
- *Запрос координат* – если точка привязки отсутствует (курсор далеко от всех узлов), то выводится диалоговое окно, в котором пользователь вводит точные координаты вводимой точки. Этот способ можно использовать, но он достаточно трудоемок при вводе.
- *Запрос смещения в декартовой системе координат* – после того, как определены координаты точки курсора (выполнена привязка к ней), выводится диалоговое окно, в котором задаются смещения по координатным осям от точки привязки курсора. Достаточно удобный вариант ввода.

Смысл остальных переключателей ясен по подсказке на рис. 9.

Единственной точкой, к которой автоматически привязывается курсор в пустом файле проекта – точка $(0, 0)$, показанная в окне графического редактора пересечением координатных осей.

Разберем ввод нескольких стержней рамы (задание на рис. 3).

Примем, что координата левой нижней точки конструкции в начале координат (естественно, что положение всей конструкции относительно координатных осей не влияет на результаты расчета).

Вводим первую левую стойку высотой 4м. Активен переключатель *Запрос координат*. Щелкаем курсором рядом с точкой $(0, 0)$. Вводится первая точка стойки, т.к. курсор привязывается к началу координат. Затем щелкаем курсор в произвольном месте. Привязка не выполняется, и выводится запрос о координате точки. Даем значения $X=0$, $Y=4$ (координаты узлов задаются в программе в метрах). Первый стержень введен (рис. 10).

Для закрепления введем аналогичным способ стойку второго этажа, высотой 5м. Используем то, что в модели уже есть точка $(0, 4)$. Щелкаем курсором рядом с ней – привязка нижнего узла второй стойки выполнена автоматически. Затем щелкаем на некотором расстоянии от существующих точек – опять выводится запрос на абсолютную координату второй точки стойки. Вводим данные $X=0$, $Y=9$, ($9\text{м}=4\text{м}+5\text{м}$). Теперь имеем в модели два стержня левой стойки.

Ввод по абсолютным координатам не совсем удобен, т.к. каждый раз требуется вычислять и вводить координаты нового узла системы. Гораздо удобнее использовать способ относительной привязки. В котором мы задаем расстояние нового узла от узла, к которому мы привязали курсор при вводе. При вводе третьего стержня вначале при выключенном переключателе относительной привязки отметим первую точку (верхняя точка второго стержня). Затем включим относительную привязку и вновь щелкнем на этой же точке. Появится окно, в котором зададим значения $dx=0$, $dy=5$ (длина третьей стойки) – см. рис. 11.

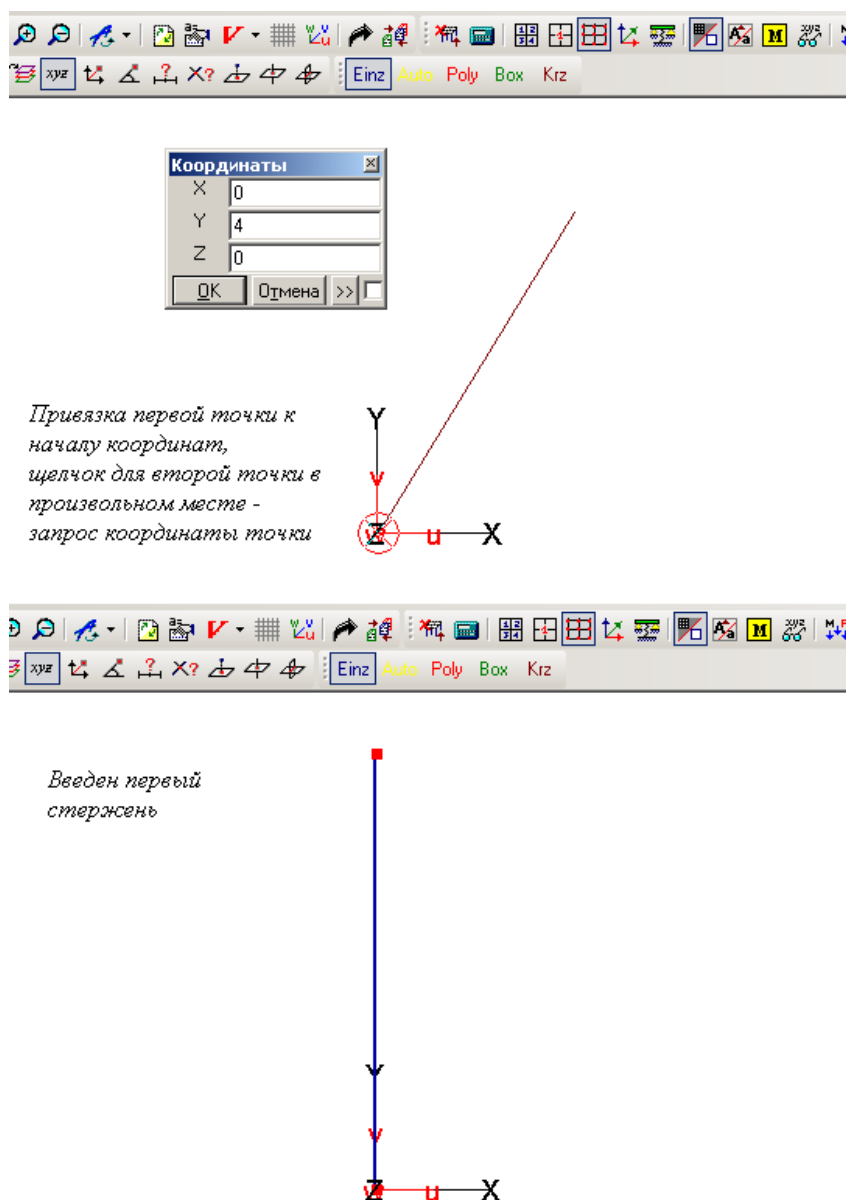


Рисунок 10. Использование абсолютной привязки для первого стержня

Аналогично введем последний стержень, только укажем $dy=3$ (длина четвертого стержня).

Используем метод относительной привязки для ввода второй слева стойки. Длины составляющих ее стержней такие же, как в первой. Можно было бы скопировать первую стойку, но эту операцию рассмотрим позже. Учтем идентичность стоек и то, что вторая стойка смещена от первой на 9м. Поэтому ввод второй стойки выполняем при активном переключателе относительной привязки. При этом поочередно привяжем курсор к узлам первой стойки, а относительную привязку установим $dx=9$, $dy=0$. Установка

значений относительной привязки (в отличие от абсолютной привязки к координатам) запоминается программой, выполняется один раз. Результат и последовательность щелчков (цифрами) курсора показана на рис.12.

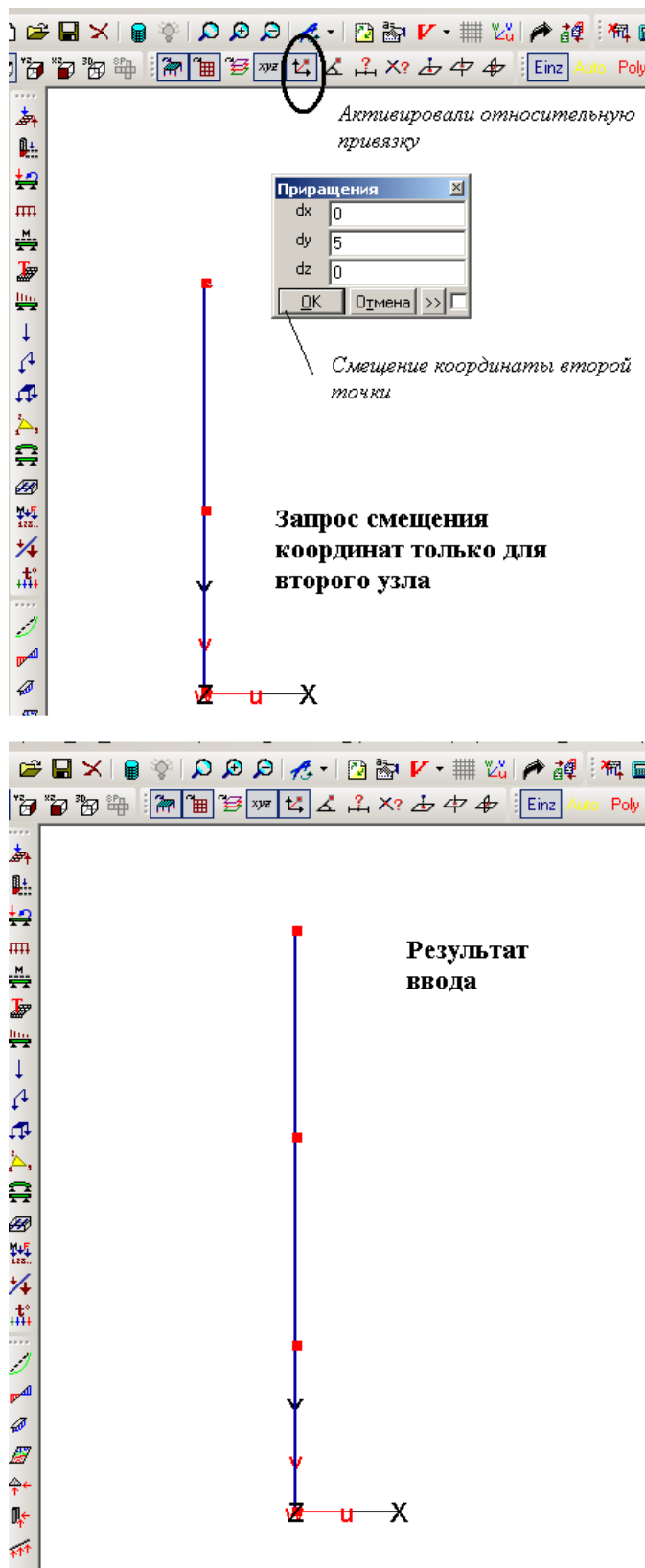


Рисунок 11. Относительная привязка при вводе третьего стержня

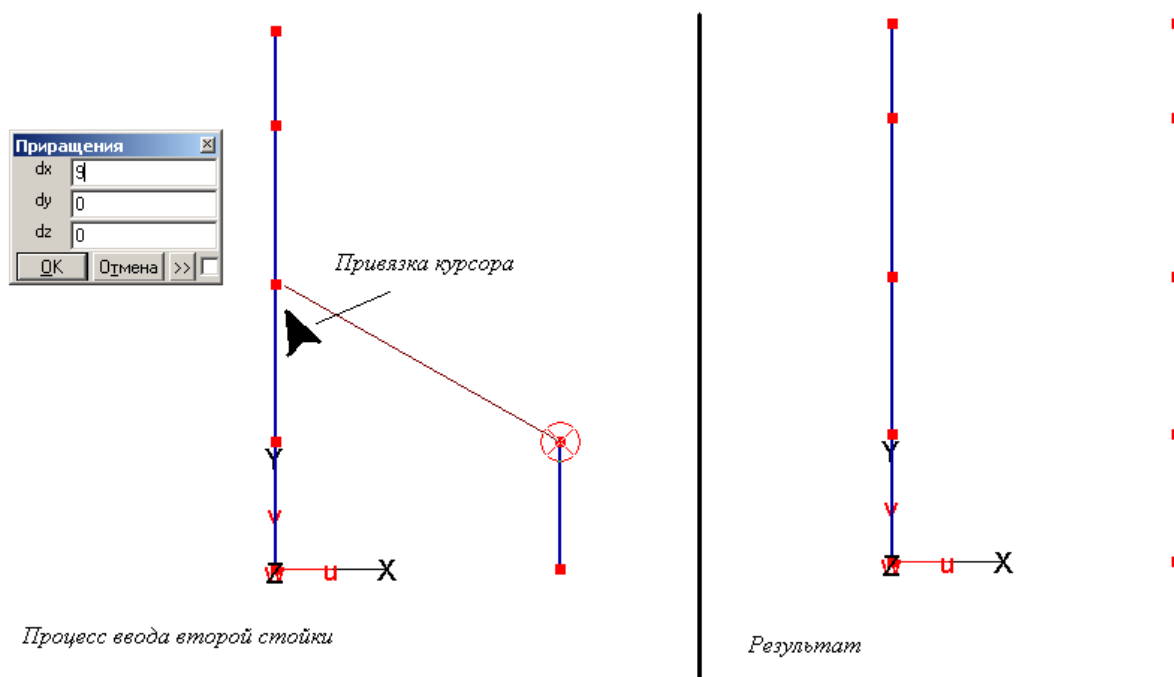


Рисунок 12. Относительная привязка при вводе второй стойки

При вводе третьей стойки используем то, что в уровне четырех этажей ее геометрия идентична первой и второй. Четвертая и пятая стойки имеют совпадение геометрии в уровне трех первых этажей. Рассмотрим операцию *копирования*. Четыре этажа третьей, четвертой и пятой стоек скопируем из второй, а затем в четвертой и пятой стойках удалим стержень четвертого уровня. При выполнении копирования следует выбрать (отметить), какие стержни копируются.

Разные режимы отметки элементов задают следующие переключатели. Они появляются, если выбрана функция, при которой переключатели имеют смысл (копирование, удаление, деление стержней и т.п.).

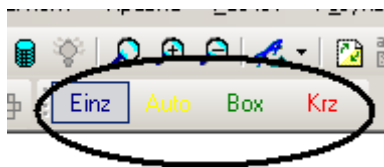


Рисунок 13. Переключатели способа выбора элементов

- **Einz** – стержни выбираются по одному щелчком мышки,
- **Auto** – выбор определяется точками растра,
- **Box** – выбор выполняется рамкой,

- **Krz** – дополнительный к режиму Вох. При неактивном выбираются элементы, полностью попавшие в рамку. При активном добавляются частично попавшие в рамку.

Выберем пункт меню **Правка – Геометрия – Элементы – Копировать**. Выберем режим Вох и отметим рамкой стержни второй стойки. Нажмем кнопку Точки. Деактивируем относительную привязку. Щелкнем на нижнем узле второй стойки. Активируем относительную привязку. Щелкнем на нижнем узле второй стойки, в окне смещения координат зададим $dx=6$, $dy=0$. Щелкнем на нижнем узле третьей стойки и подтвердим старые значения смещения координат. Щелкнем на нижнем узле четвертой стойки и подтвердим значения смещений. Выйдем из копирования. Последовательность действий и результат показан на рис. 14.

Удалим верхние стержни четвертой и пятой стоек. Войдем в меню **Правка – Геометрия – Элементы – Удаление**. Включим кнопки **Удалять балки** и **Удалять узлы**. Отметим рамкой верхние стержни четвертой и пятой стоек. Стержни будут удалены. Результат на рис. 15.

Используя уже рассмотренные операции, достроим раму до следующей стадии (рис. 16). После выполнения этих операций геометрия конструкции почти закончена. Осталось добавить ригели, примыкающие к наклонному стержню, и решетку фермы. Для этого требуется разбить пояса фермы и наклонный стержень на несколько стержней.

Выполним разбиение поясов. Входим в меню **Правка – Геометрия – Деление балок**. Предусмотрено два варианта деления. Первый – деление на равные по длине стержни. Второй – деление одних стержней с помощью других. Пояса фермы разделим первым способом. Пояса требуется разбить на шесть равных стержней. Установим значение $N=5$ (число новых внутренних узлов в каждом поясе). Затем выделим оба пояса и нажмем кнопку **Старт**. Процесс и результат показаны на рис. 17. Остается известным способом вести решетку фермы.

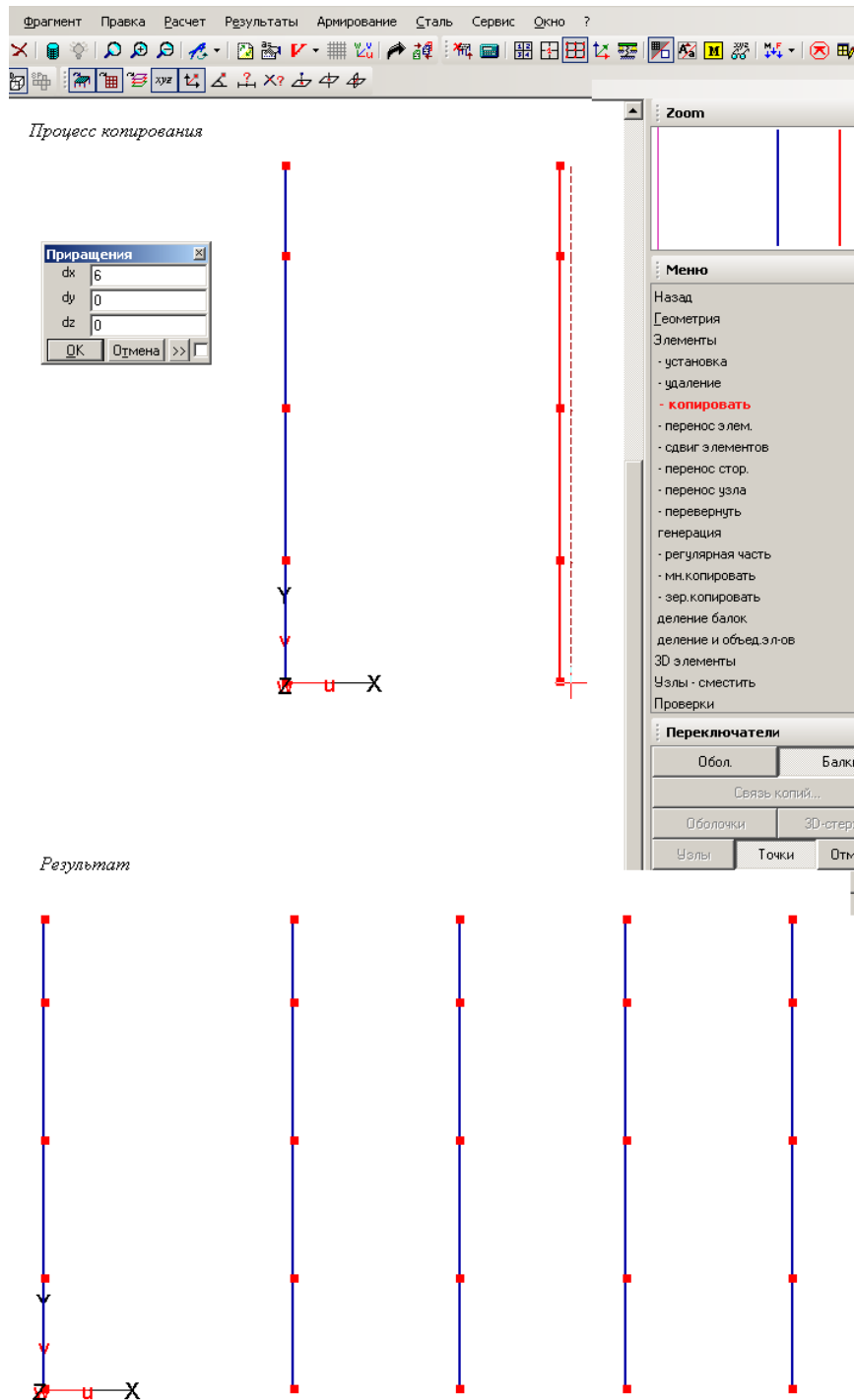


Рисунок 14. Процесс и результат копирования

Разбить наклонный элемент можно аналогичным способ, т.к. он должен быть разбит на равные по длине элементы. Однако рассмотрим второй, более общий способ разбиения. Ведь не обязательно в задании были бы одинаковые по высоте вертикальные стойки, сопрягаемые с наклонным элементом ригелями.

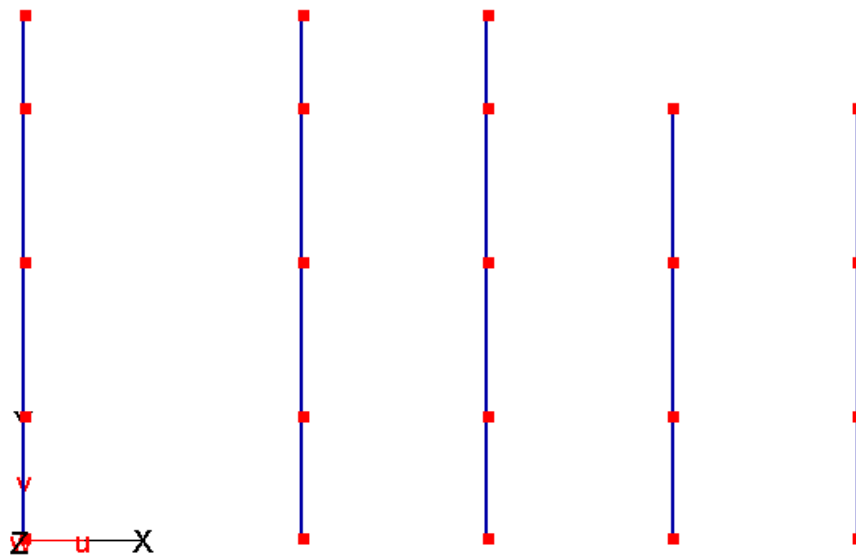
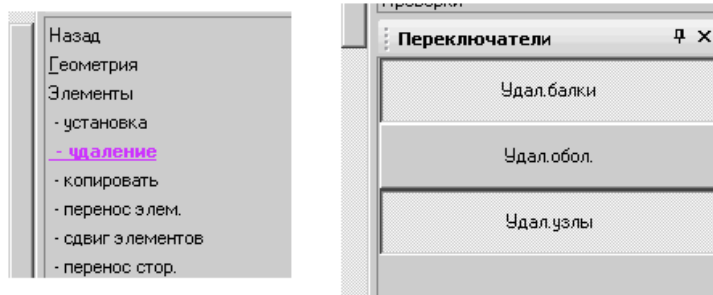


Рисунок 15. Удаление стержней

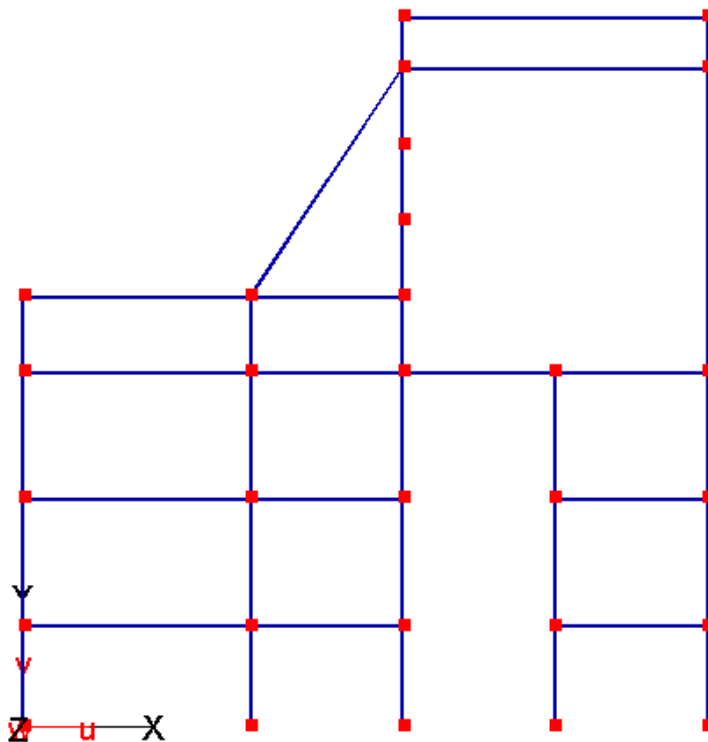


Рисунок 16. Основные ригели и колонны

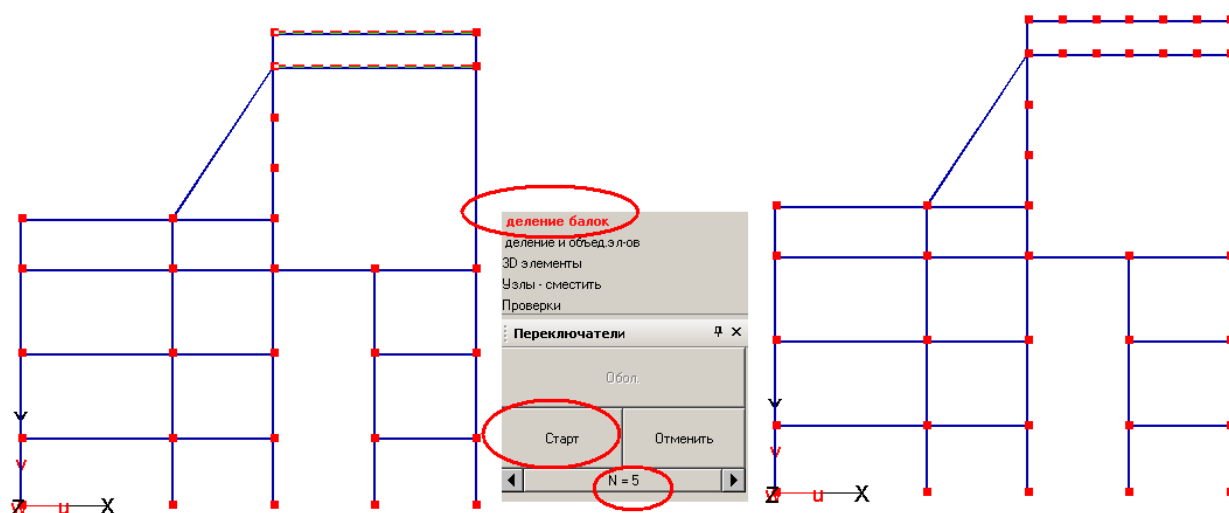


Рисунок 17. Деление поясов фермы

Второй способ деления заключается в том, что некоторые стержни можно разделить с помощью пересекающимися с ними стержнями. Для этого вначале от соответствующих узлов стойки построим два ригеля, которые заведомо пересекут наклонный стержень. Затем разобьем наклонный стержень в точках пересечения с ригелями (заодно будут разделены сами ригели). Затем удалим лишние свесы ригелей.

Построим ригели с помощью относительной привязки, выбрав их длину равной семи метрам. Войдем в меню *деления балок* и установим число деления стержней в **ноль** (это признак второго варианта деления). Отметим наклонный элемент. Щелкнем правой кнопкой мышки. Отметим два введенных ригеля. Нажмем кнопку *Старт*.

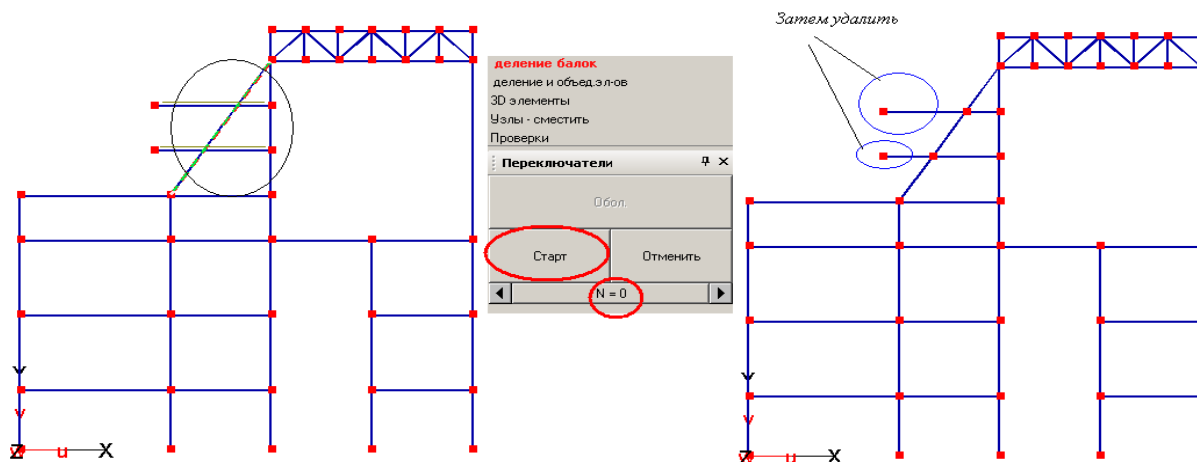


Рисунок 18. Деление наклонного стержня

После этого ввод геометрии модели (часто называемый *Топологией модели*) завершен, результат на рис. 19.

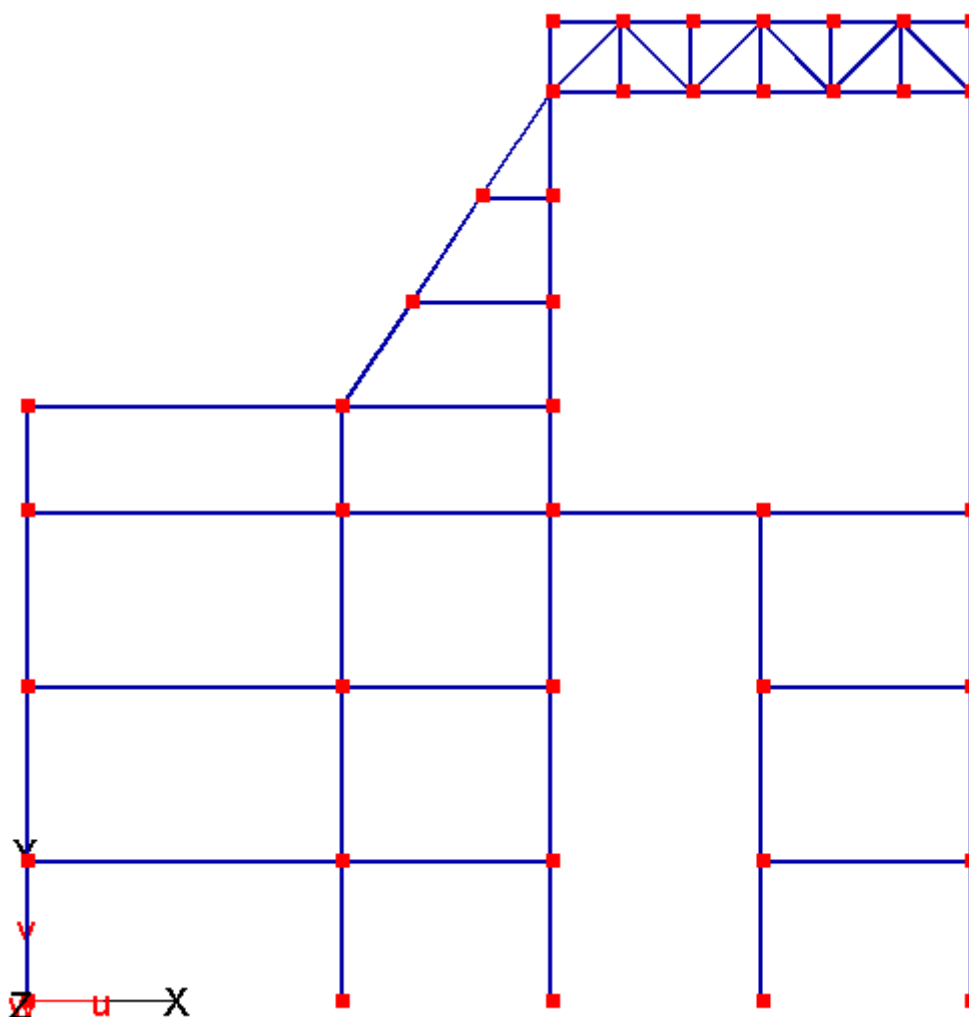


Рисунок 19. Окончательная топология расчетной модели

Задание опор

Программный комплекс представляет много возможностей моделирования совместной работы верхнего строения и основания. Здесь рассмотрим только «классические» типы опор: заделку, шарнирно-неподвижную и т.д. Задание таких опор выполняем в меню **Правка – Краевые условия – Узловые общего типа - Установка**. Переключаем тип опоры в *Глобальные* (направление связей задается вдоль глобальной оси координат). И устанавливаем необходимую комбинацию переключателей **X**, **Y** и **Rz** (rotation, поворот вокруг оси Z). Нажатое состояние переключателя означает, что вдоль соответствующего имеется связь. Затем в режиме одиночного выбора или выбора рамкой отмечаем узлы, в которых

устанавливается соответствующая связь. Если требуется удалить связь, то выбирается пункт *Узловые общего типа – Удаление*. Связи показываются только в этом пункте меню. При выходе из него визуализация связей неактивна. Условное обозначение отличается от классических. Линейные связи вдоль осей X и Y обозначаются горизонтальным и вертикальным зеленым отрезком. Связь от поворота обозначается прямоугольником вокруг узла. Установим связи соответственно заданию.

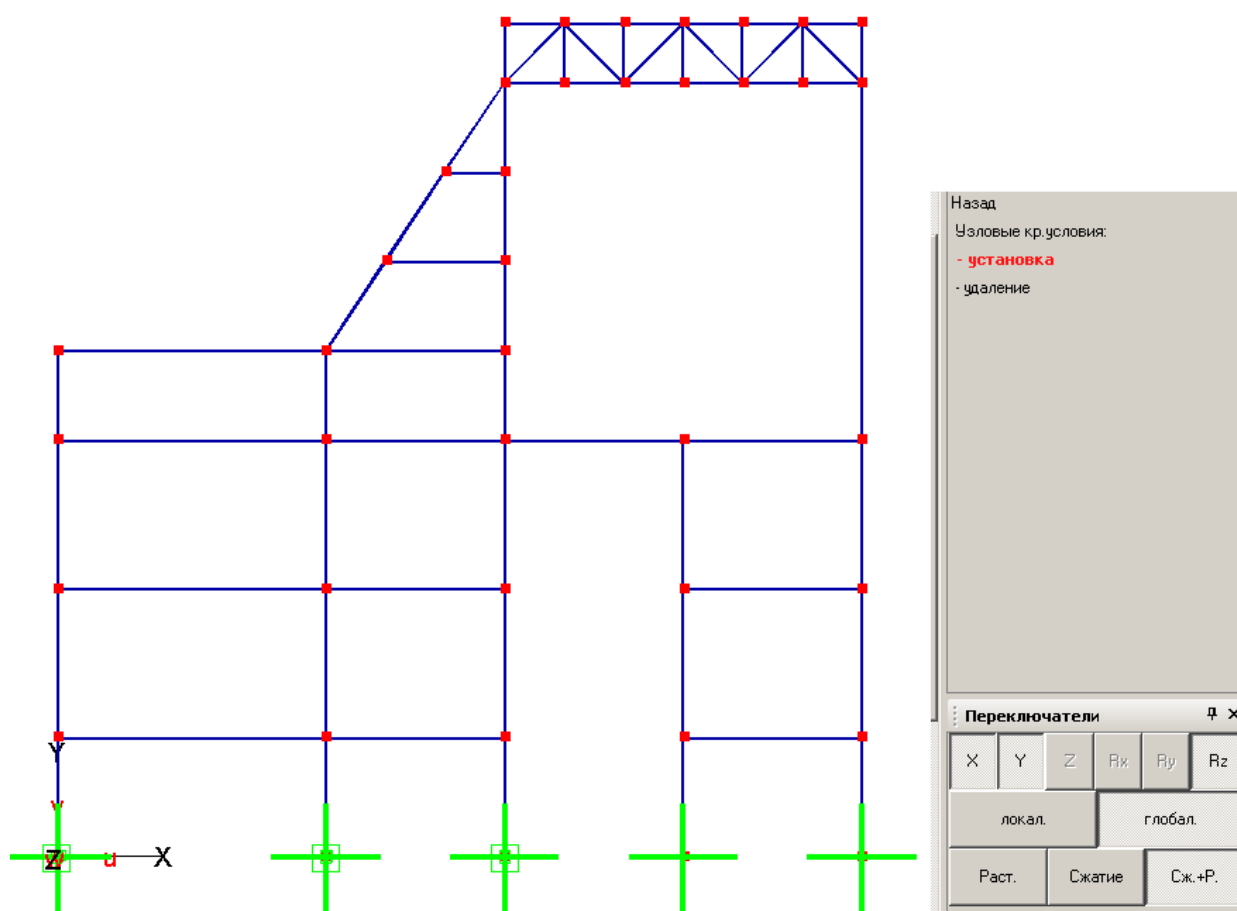


Рисунок 20. Опорные связи модели

Задание шарниров

Предусмотрено несколько типов шарниров. Мы будем использовать два из них: *узловые шарниры* и *элементные*. Узловые создают шарнирное сопряжение всех стержней в некотором узле. Элементные задают шарнирное примыкание стержня к узлу.

Выберем *Правка – Шарниры – Узловые – Установка*. Включим опцию *Глобальные* и оставим активным (нажатым) только направление **Rz**

(классический шарнир, не сопротивляющийся только взаимному повороту стержней, его условный код в программе 32). Отметим в режиме одиночного или выбора рамкой все узлы фермы.

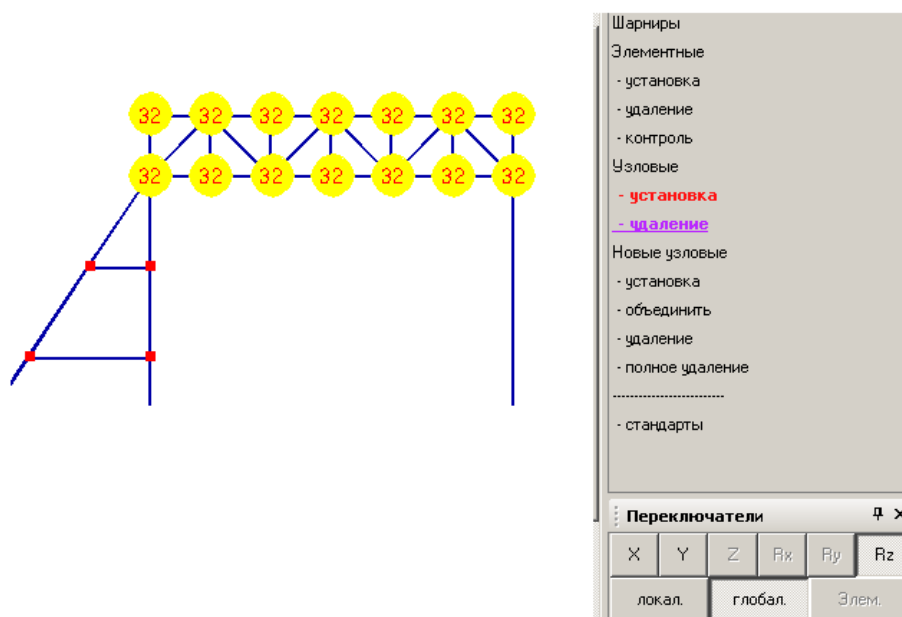


Рисунок 21. Узловые шарниры в ферме

«Врежем» шарниры в левый и правые узлы ригелей, примыкающие к наклонному стержню рамы. Выберем *Правка – Шарниры – Элементные – Установка*. Установим переключатели соответственно рисунку 22 и в каждом стержне щелкнем на левой и правой его половинам. Шарниры устанавливаются только в крайние узлы стержней.

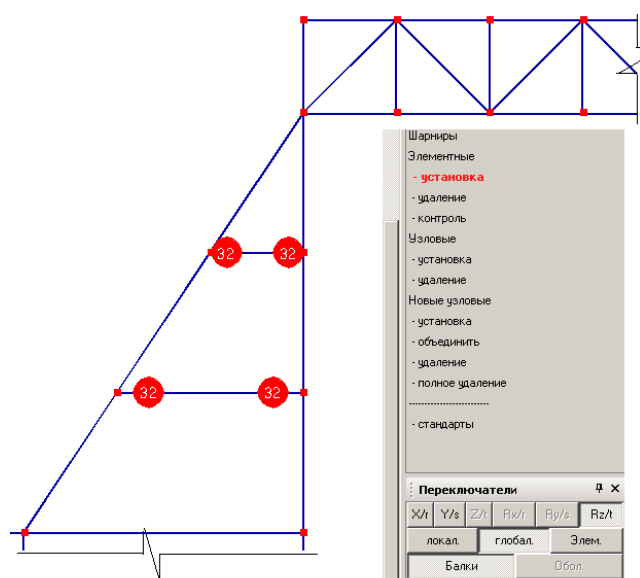


Рисунок 22. Элементные шарниры в ригелях

Задание сечений и материалов стержней

Вводные сведения по материалам

Теперь необходимо задать геометрические характеристики сечений стержней (площади, моменты инерции и т.д.) и их физико-механические параметры (модули упругости, плотность и т.д.).

В программе все характеристики объединяются в понятие *тип материала*. Каждый тип включает в себя и геометрические характеристики сечения, и константы материала. Вначале задаются типы материалов, на внешнем уровне дифференцируемые номерами типов. Затем указываем, что в некоторой группе стержней используется материал № 1, в другой группе – материал № 2 и т.д. Естественно, типы материалов потом могут корректироваться.

Здесь важным моментом является наличие связи: *стержень – тип материала – параметры типа материала*. Например, если ряд стержней имеет тип материала № 3, а затем мы изменим характеристики самого материала 3, то в результате изменятся параметры всех стержней этой группы. Если требуется изменить характеристики не всех стержней, а одного или нескольких, то необходимо ввести новый тип материала, и связать соответствующие стержни с номером нового типа.

Логическая последовательность использования материалов в программе:

1. В данных вводятся типы материалов. Каждый тип определяется своим номером.
2. С каждым номером материала связаны геометрические характеристики и константы физико-механических параметров материала.
3. Стержни связываются с номером материала.
4. При записи данных программа автоматически оптимизирует структуру данных и нумерацию типов материала.

Способы задания материалов проекта

Установка параметров типов материалов выполняется в меню *Правка (Редактировать в Stark ES)*, подменю *Материалы*.

После входа в подменю **Материалы** доступны 3 вида действий:

1. Установить или удалить соответствие между элементом (стержнем) и номером материала (подпункты меню: **–установить** и **–удалить**),
2. Назначить параметру тип материала (подпункты меню: **–редактировать, сечения ЖБК, произвольное сечение, сортамент профилей – в Stark, или Редактировать, Расчет сечений, Расчет сечений расширенный в Gen-3DIM.**).

Самый простой способ задания данных – при выборе подменю редактирование. Открывается диалоговое окно, в котором можно задать или исправить все основные геометрические характеристики сечения стержня и параметры материала. Однако следует учесть, что здесь геометрические характеристики сечения должны быть определены.

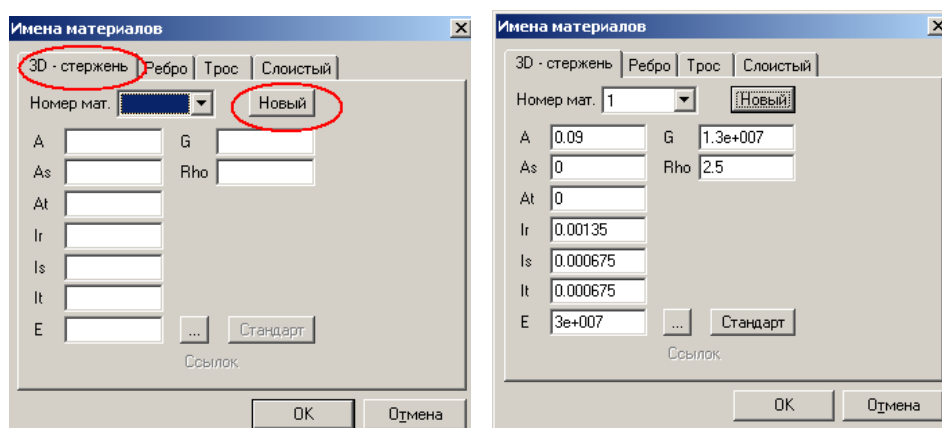


Рис. 23. Окно непосредственного задания характеристик сечения и материала

Необходимо выбрать соответствующую вкладку (2D-стержень) и нажать кнопку Новый. После чего появится новый номер материала (в данном примере – 1), и для него будут приняты некоторые параметры по умолчанию. Смысл которых:

- A – площадь поперечного сечения, м^2 .
- As – сдвиговая площадь относительно оси s , м^2 .
- At – сдвиговая площадь относительно оси t , м^2 .
- Ir – момент инерции при кручении, м^4 .
- Is – момент инерции относительно оси s , м^4 .
- It – момент инерции относительно оси t , м^4 .
- E – модуль упругости, кПа.
- G – модуль сдвига, кПа.
- Rho – объемный вес материала, т/м^3 .

Для задания физических констант можно воспользоваться кнопкой выбора (в окне подпись на кнопке – многоточие). Появится диалоговое окно выбора марки материала. Выбрав в таблице соответствующий вид материала, характеристики и класс или марку, получим справочные данные о модулях и объемном весе. После нажатия на кнопку ОК данные автоматически будут перенесены в таблицу редактирования материала.

Т.к. для сложных сечений вычисление геометрических характеристик достаточно трудоемкая задача, то в комплексе предусмотрено несколько вариантов автоматизации вычисления площади и моментов инерции сечения.

Первый вариант – подменю Расчет сечений или сечения ЖБК. При выборе этого пункта появляется запрос - указать номер типа материала, для которого выполняется расчет. После указания номера открывается диалоговое окно с таблицей характерных типов железобетонного сечения и параметрами (размерами), состав которых соответствует типу сечения. После нажатия кнопки ОК выполняется вычисление характеристик и их значения автоматически передаются в материал с указанным номером. Далее для примера приведены фрагменты диалоговых окон для некоторых вариантов сечения.

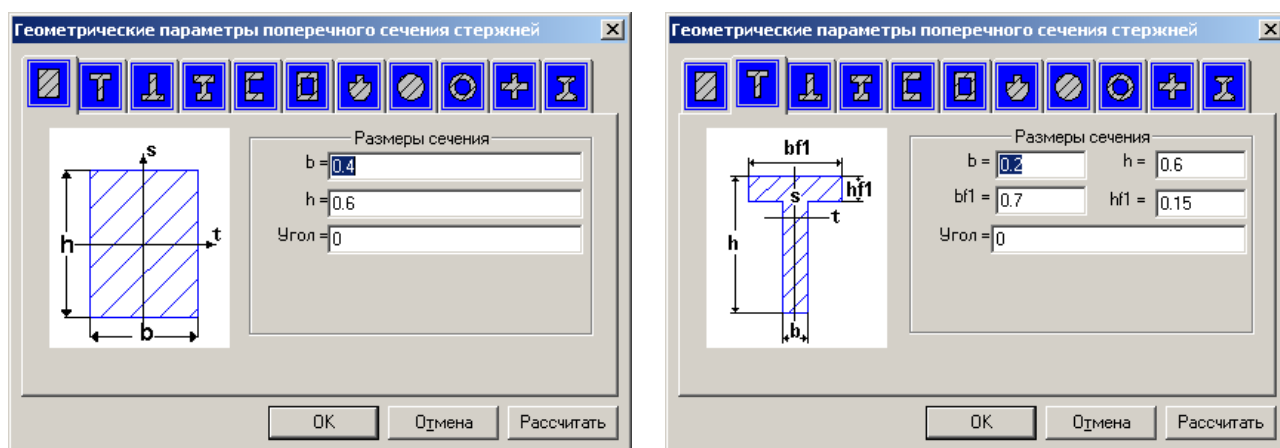


Рис. 24. Варианты диалоговых окон расчета сечений

Наиболее общий вариант вычисления геометрических характеристик – использование подменю **Расчет сечений (расширенный)** или **Произвольное сечение**. Здесь пользователь в отдельном графическом редакторе может

сформировать произвольное сечение из составных примитивов. В качестве примитивов выступают различные геометрические фигуры и сортаментные профили, т.к. это наиболее сложный вариант задания геометрических характеристик, реализованный в отдельной программе Profilemaker.

Использование редактора сечений ProfileMaker

После вызова функции расчета произвольного сечения появляется окно программы Profilemaker, имеющее ряд полей управления.

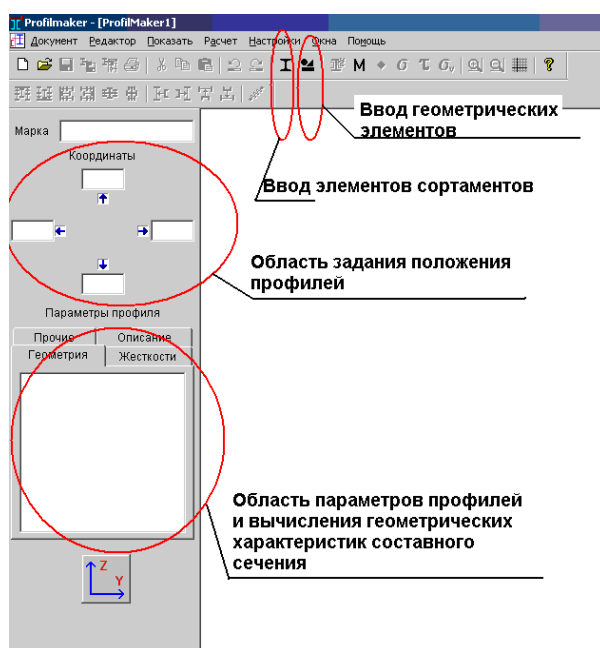


Рис. 25. Окно программы Profilemaker

Рассмотрим ввод некоторого составного сечения, состоящего из двух швеллеров, соединенных полосами по верхней и нижней полкам. К верхней полке приварены два симметричных уголка.

На первом этапе введем швеллер [20 по ГОСТ 8240-89. Нажмем на кнопку ввода элементов сортамента, и в открывшемся окне выберем нужный тип сортамента и номер профиля, затем нажмем кнопку **Выбрать**. Выбранный швеллер отобразится в окне Profilemaker. Затем изменим положение левой границы профиля – сдвинем его на 10 мм вправо.

Затем скопируем профиль и вставим. Второй профиль повернем относительно оси Y, и положение правой границы зададим -10 мм. Для этого воспользуемся функциями меню *Редактор* программы *Profilemaker*. На

рисунке далее показан результат операции. Расстояние между профилями «в свету» 20 мм. Введем полосу шириной 50мм и толщиной 10мм. Для этого выберем кнопку ввода геометрических фигур, выберем прямоугольник и установим нужные размеры. Нижнюю границу полосы установим 200 мм (по верху полок швеллеров), положение левой границы -25 мм.

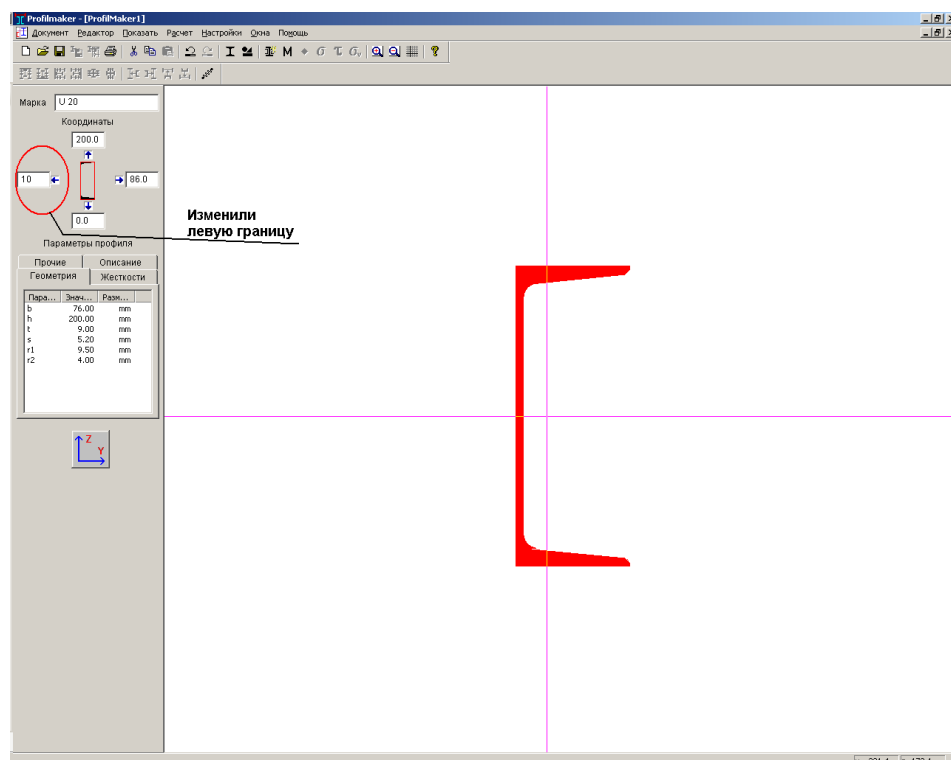


Рис. 26. Изменение левой границы положения профиля

Нижнюю полосу введем с параметрами: ширина 70мм, высота 6мм, установим ее посередине швеллеров снизу. При этом положение левой границы -35 мм, верхней 0мм.

Введем равнополочный уголок 40x5 по ГОСТ 8509-93 (из сортамента). Расположим уголок на верхнем углу правого швеллера. Затем скопируем его, развернем и установим второй уголок на верхнем углу левого швеллера.

Теперь сечение создано, можно выполнить его расчет, нажав соответствующую кнопку **Расчет**.

Теперь профилю можно дать название и сохранить профиль в файле. Передать геометрические параметры в основную программу (меню **Передать профиль**). После передачи профиля программу Profilemaker можно закрыть.

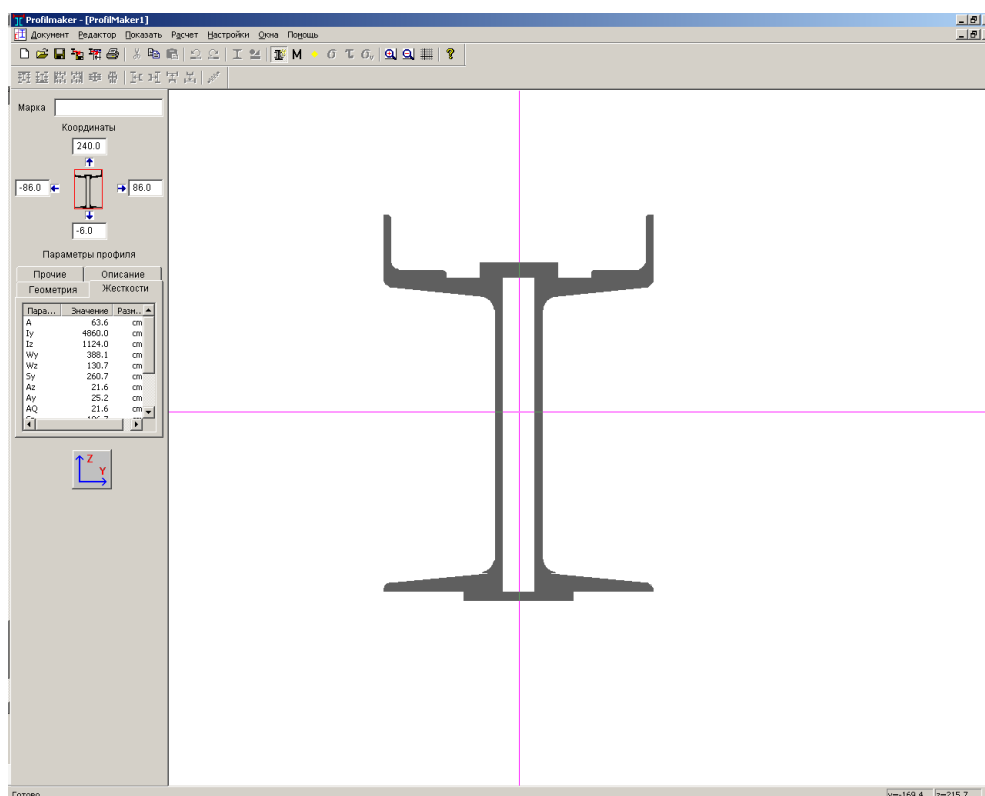


Рис. 27. Выполнение расчета составного профиля

Установка материалов проекта

Используя возможности конструирования сечений, установим следующие четыре типа материалов проекта. Стойки и ригели – из железобетона В25. Элементы фермы – стальные, имеют составной профиль. Типы сечений проекта показаны на рис. 28.

Установим требуемые номера материалов для стержней проекта. Для контроля включим кнопку цветовой визуализации типов материалов. Будет показана схема конструкции, в котором стержни из материала одного типа выделены цветом (рис. 28).

Заметим, что при сохранении проекта программа автоматически унифицирует введенные материалы. Так, если были введены два типа материала с абсолютно одинаковыми характеристиками, то программа заменит их одним типом. Если требуется использовать два типа материала с одинаковыми характеристиками, то следует внести незначительное отклонение в характеристиках второго.

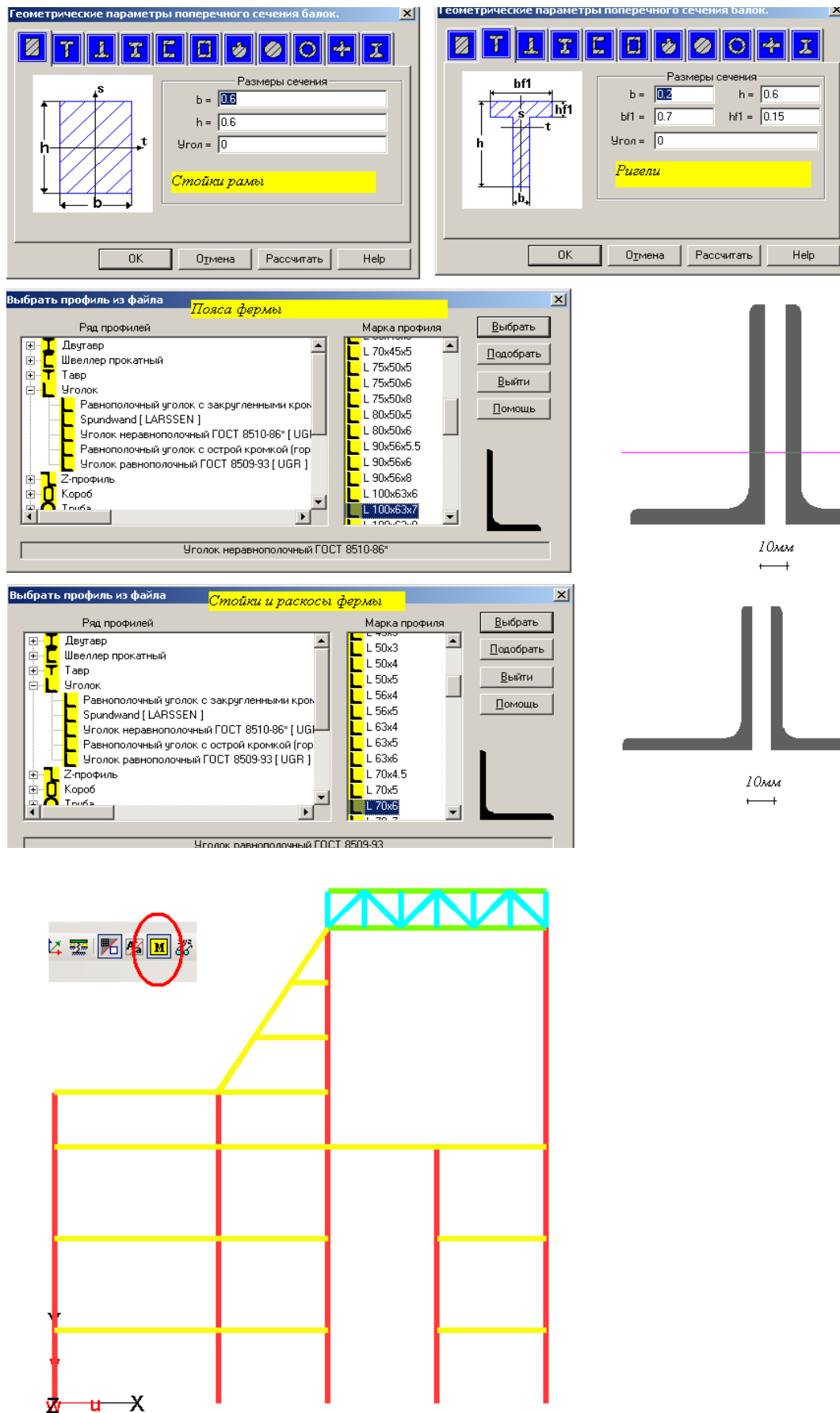


Рис. 28. Материалы проекта

Ввод нагрузок и воздействий

Из всего многообразия воздействий, которые можно использовать в комплексе, рассмотрим только классические – узловые силы и распределенные нагрузки. Узловые силы вводятся в узлы системы, распределенная нагрузка задается вдоль всей длины элемента. Поэтому следует разбивать отдельные стержни на характерные точки границ приложения нагрузки. Используем меню: **Правка – Нагрузки – Узловые силы**, или **Правка – Нагрузки – По элементам**.

Все нагрузки объединяются в нагружения, задаваемые номером. В одном нагружении устанавливают нагрузки, объединяемые некоторым признаком. Например, ветровые нагрузки – одно нагружение, снеговые – другое, и т.д. В первом нагружении автоматически формируются нагрузки от собственного веса включенных в схему элементов. Поэтому другие внешние нагрузки желательно задавать со второго нагружения. Здесь ограничимся тем, что все нагрузки зададим в нагружении с номером два.

Введем силы в узлах фермы и вдоль ряда ригелей – распределенную нагрузку. Схематично нагрузки показываются согласно рис. 29.

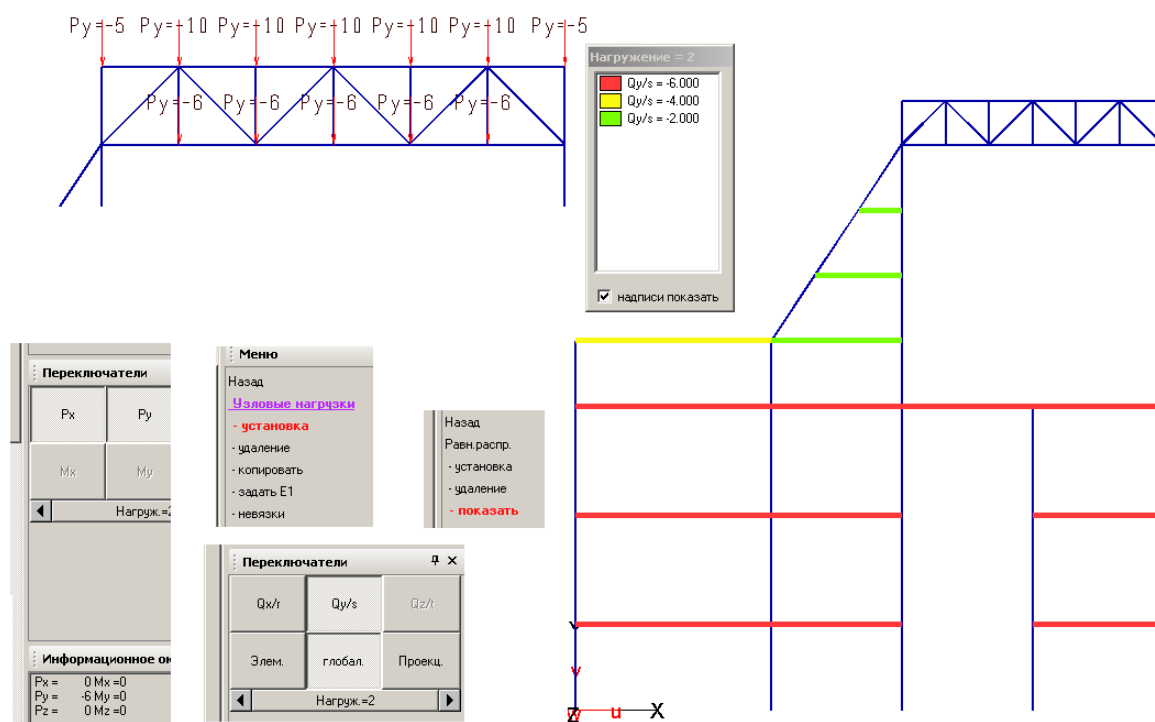


Рис. 29. Нагрузки проекта

Расчет и просмотр результатов

Перед выполнением расчета следует сохранить проект (рекомендуется периодически сохранять вводимые данные). Но перед этим желательно разбить стержни на несколько подстержней для улучшения визуализации результатов. Также разбиение необходимо делать при решении задачи динамики и устойчивости. Мы разбили все стержни на четыре ($N=3$ в операции деления стержней). Затем выбирается **Меню – Расчет – Общий расчет**. Отмечается в диалоговом окне Статический расчет. После выполнения расчета выводится его протокол.

Затем устанавливаем комбинацию нагрузок, исключив из них собственный вес и оставив только второе нагружение (**Результаты – Комбинации**).

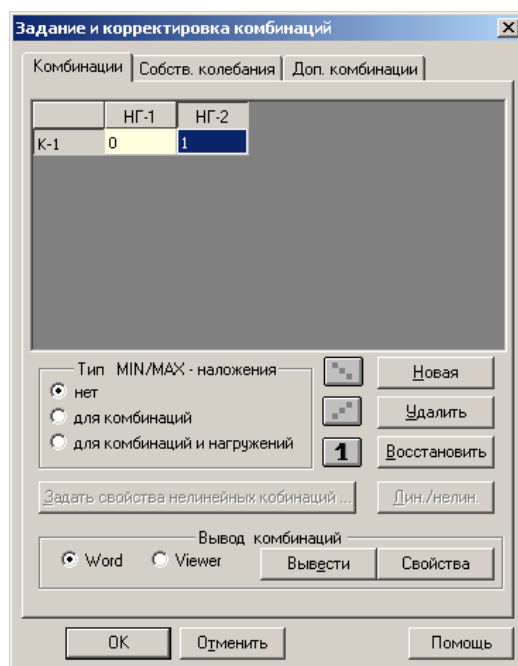


Рис. 30. Комбинации нагрузок

Результаты можно выводить графически и таблично. В графическом выводе можно видеть деформированную схему, различные типы внутренних усилий. Общий пункт меню: Результаты – Графика, и выбираем необходимый тип результатов. Интерфейс интуитивно понятен. Покажем некоторые результаты. Коэффициент масштаба результатов можно изменять.

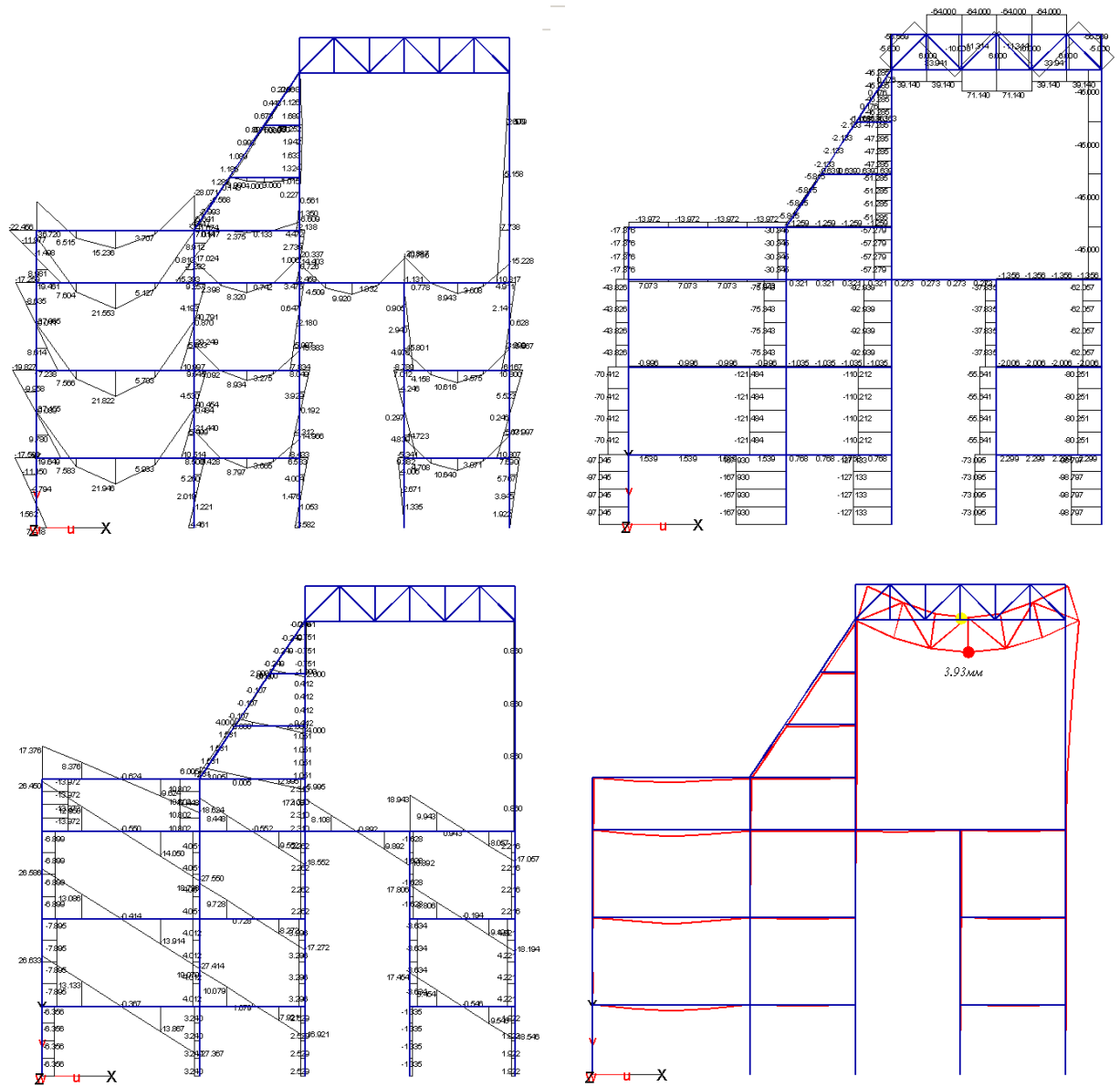


Рис. 31. Результаты расчета