

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Кафедра «Энергетические и гидротехнические сооружения»

*M.A. Разаков, Р.-Р.В. Разакова*

**РАСЧЕТ ФЕРМЫ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ  
ЛИРА-САПР И SCAD**

*Практическое электронное издание*

для студентов, обучающихся по направлению  
08.03.01 «Строительство»

**ISBN 978-5-7046-2699-2**

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2022

УДК 621.65

ББК 31.56

Р 17

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»  
в качестве практического электронного издания*

Подготовлено на кафедре энергетических и  
гидротехнических сооружений

**Разаков М.А.**

Р 17 Расчет фермы в программных комплексах Лира-САПР и SCAD [Электронный ресурс] / М.А. Разаков, Р.-Р.В. Разакова. – Электрон. дан. – М.: Издательство МЭИ, 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD).

Методические указания предназначены для изучения дисциплин «Технологии информационного моделирования зданий» и «Строительные конструкции». Рассмотрены особенности моделирования нагрузок стержневой конструкции (фермы) в современных отечественных программных комплексах. При подготовке методических указаний использовались только общедоступные или демонстрационные версии программных комплексов. Издание предназначено для обучающихся по программе бакалавриата направления подготовки 08.03.01 «Строительство».

**Минимальные системные требования:**

Тип ЭВМ: ПК на базе Pentium IV и выше.

ОС: Windows XP и выше.

Веб-браузер: Google Chrome, Internet Explorer.

Программное обеспечение: AdobeAir

**ISBN 978-5-7046-2699-2**

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2022.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1. РАСЧЕТ ФЕРМЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА-САПР .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Теоретические аспекты программного комплекса ЛИРА-САПР .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Моделирование стержневой конструкции в программном комплексе ЛИРА-САПР .....</b>	<b>6</b>
<b>2. РАСЧЕТ ФЕРМЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SCAD .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Теоретические основы программного комплекса SCAD .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Моделирование стержневой конструкции в программном комплексе SCAD .....</b>	<b>18</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>30</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>31</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время при проектировании строительных конструкций в проектных организациях значительная часть расчетов выполняется с помощью специальных проектно-вычислительных программных комплексов (ПК), которые относятся к системам САЕ (*Computer-aided engineering*). Они отличаются друг от друга методическими и сервисными разработками, но все направлены на повышение качества расчетов и уменьшение трудозатрат. Такие программные пакеты позволяют производить статические и динамические расчеты конструкции и отдельных её частей с помощью численных и шаговых методов. Необходимо выделить следующие ключевые этапы расчета моделей стержневых конструкций в программных комплексах.

- ✓ Создание геометрической модели рассчитываемой конструкции.
- ✓ Присвоение жесткостных характеристик и свойств материалов конструкции и ее элементам.
- ✓ Приложение нагрузки от собственного веса конструкции.
- ✓ Задание внешних нагрузок на конструкцию.
- ✓ Проведение расчета модели в процессоре программы.
- ✓ Получение и анализ результатов расчета в постпроцессоре программы.

Методические указания необходимы для расчёта стержневой конструкции (фермы) с помощью программных комплексов SCAD и ЛИРА-САПР при заданных условиях. Ферма представляет собой конструкцию, состоящую из стержней, соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую конструкцию. Существуют различные аналитические способы определения продольных усилий: способ вырезания узлов; способ моментной точки; способ простых, полных и круговых сечений; способ замены стержней. Если нагрузка приложена в узлах, а оси элементов фермы пересекаются в одной точке (центре узла), то жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции и в большинстве случаев их можно рассматривать как шарнирные. Тогда все стержни фермы испытывают только осевые усилия (растяжение или сжатие). Благодаря такому эффекту металлы в фермах используется более рационально, чем в балках. Фермы более трудоемки в изготовлении, поскольку имеют большое число деталей. Популярные программные

комплексы с инженерной точностью позволяют учесть свойства реального материала и обеспечить необходимую точность решения.

Авторы выражают признательность Вячеславу Андреевичу Денисенко за помощь при составлении методических указаний.

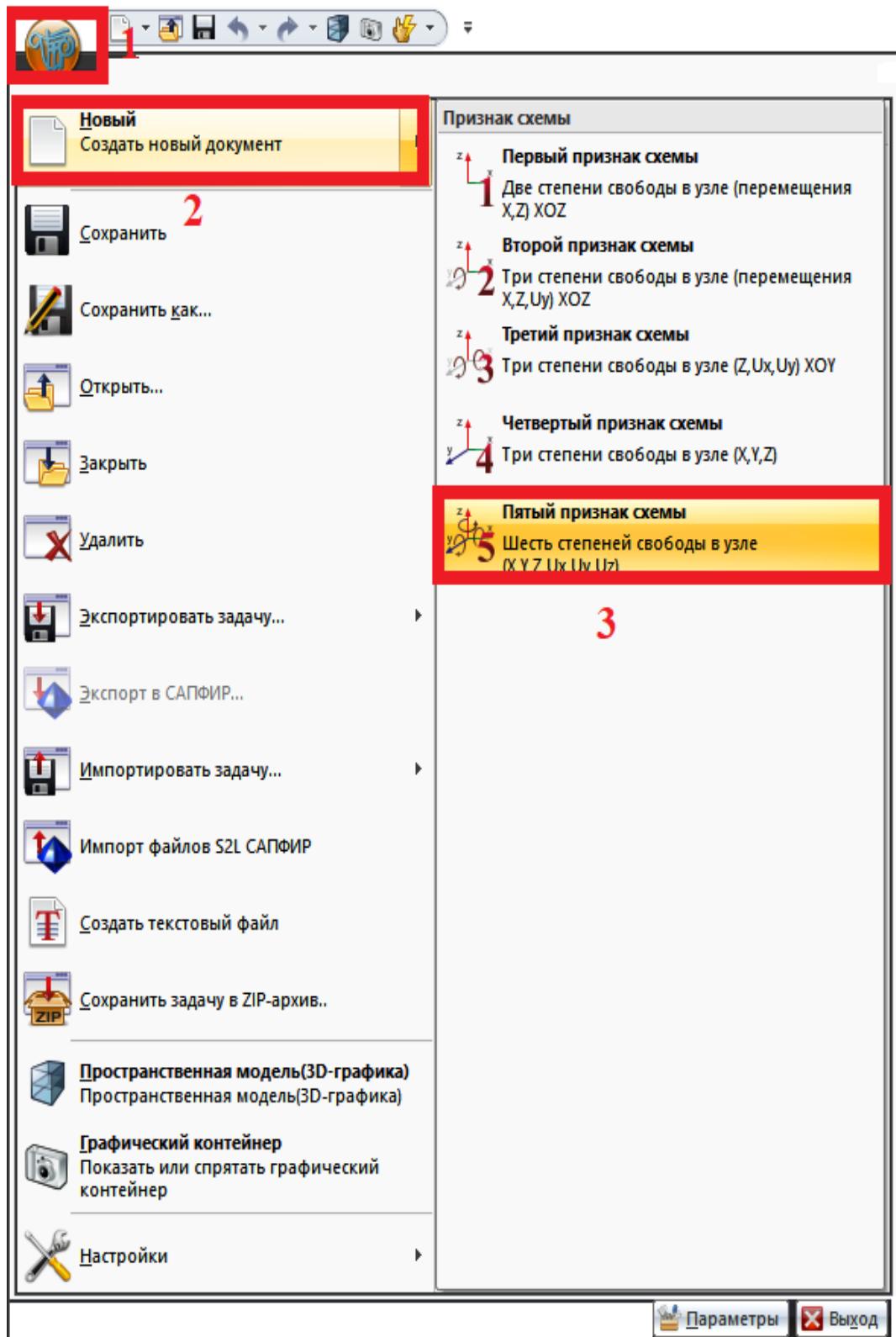
## **1. РАСЧЕТ ФЕРМЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ЛИРА-САПР**

### **1.1. Теоретические аспекты программного комплекса ЛИРА-САПР**

Программный комплекс ЛИРА-САПР позволяет производить прочностной анализ и оценку устойчивости модели. ПК ЛИРА-САПР предоставляет возможность производить расчеты объектов с учетом физической и геометрической нелинейностей, моделировать процесс возведения сооружения с учетом монтажа и демонтажа элементов с отслеживанием изменений в расчетной схеме. Программный комплекс ЛИРА-САПР состоит из нескольких взаимосвязанных информационных систем, что делает его удобным и универсальным в использовании. В приложении приведены исходные данные для расчета фермы.

### **1.2. Моделирование стержневой конструкции в программном комплексе ЛИРА-САПР**

Для создания расчетной модели нового проекта можно воспользоваться как сторонними CAD – программами так и ПК ЛИРА-САПР. К сторонним ПК можно отнести AutoCAD, ArchiCAD, Revit и ряд других программных комплексов. При использовании программы AutoCAD необходима конвертация стандартного формата файла dwg в формат dxf. После создания модели в стороннем программном комплексе, необходим запуск программы ЛИРА-САПР и создание нового проекта с помощью меню приложений. На рисунках 1 и 2 представлен интерфейс ПК ЛИРА-САПР и условные обозначения.

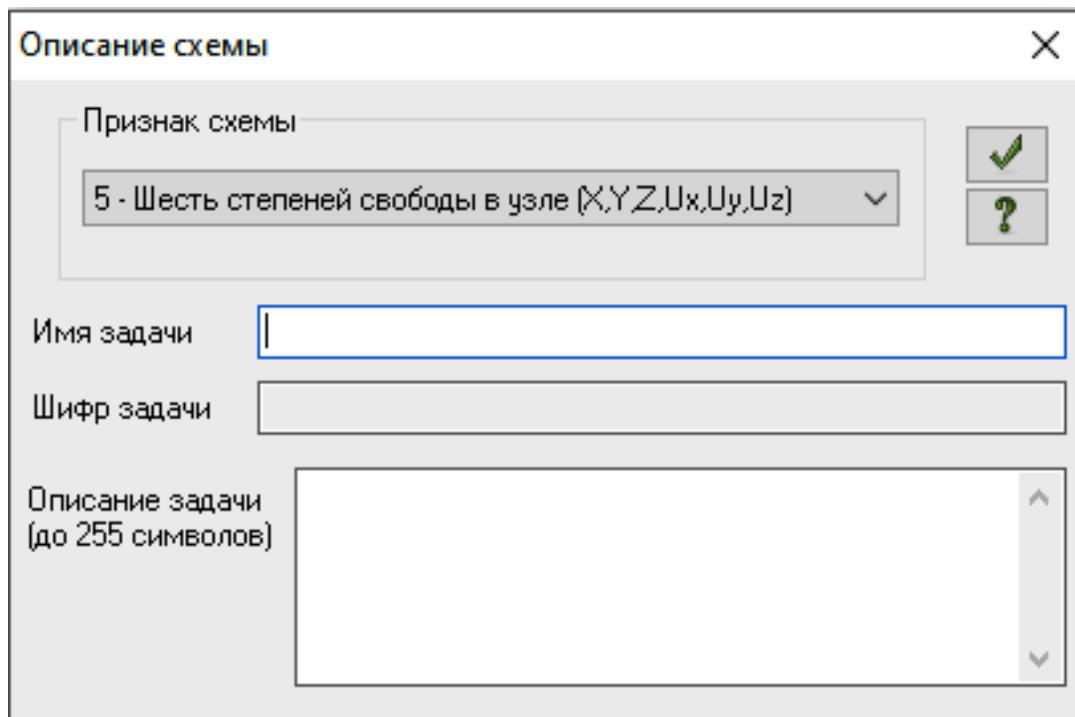


**Рис. 1. Интерфейс ПК ЛИРА-САПР:**

1 – выпадающие вкладки «Меню приложений»; 2 – вкладка «Создать новый документ»; 3 – вкладка «Пятый признак схемы»

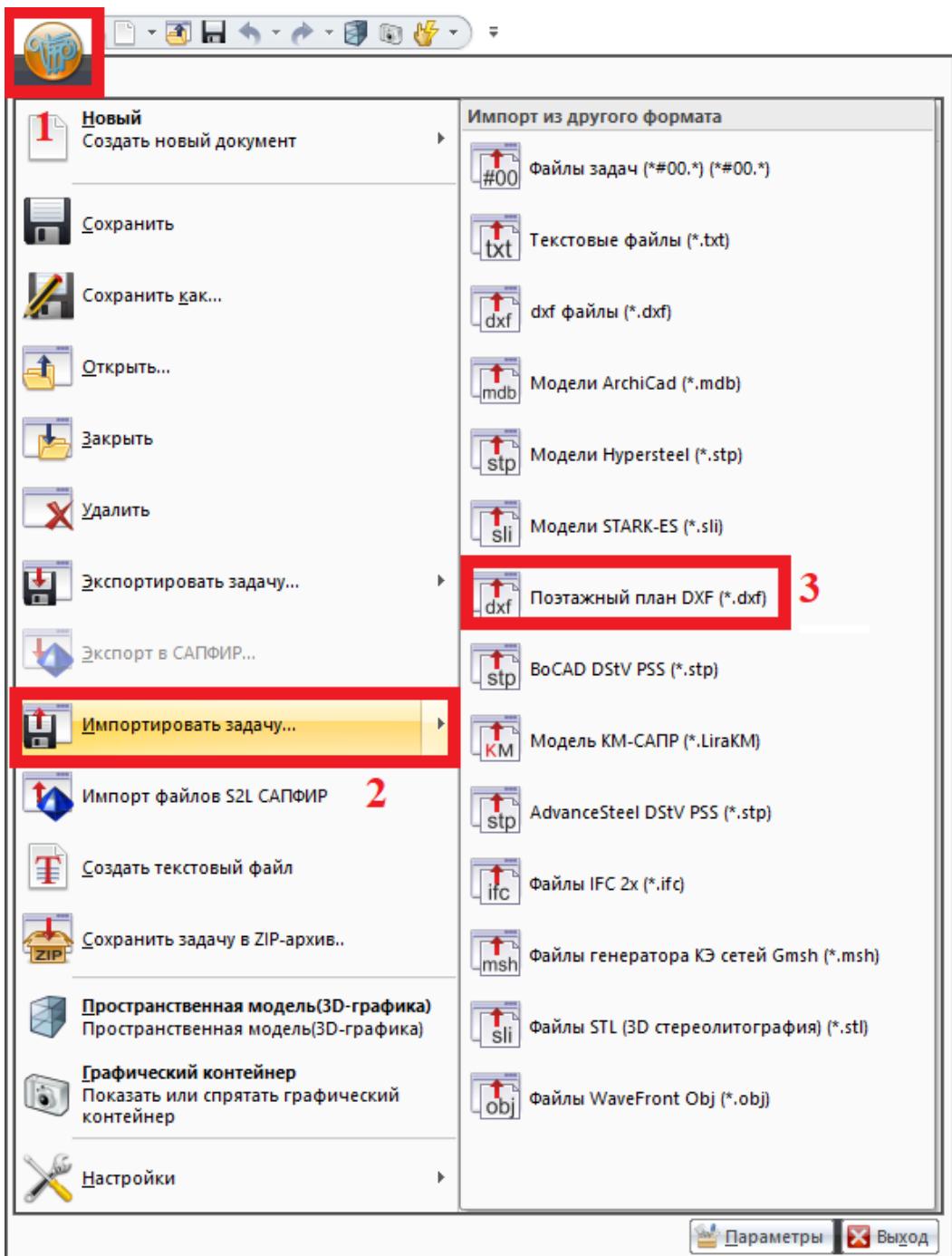
Вкладка «Пятый признак схемы» необходим для создания шести степеней свободы у модели. Данный показатель может отличаться в

зависимости от исходной модели. Для фермы можно использовать шесть степеней свободы. После определения количества степеней свободы необходимо ввести название проекта и при необходимости зафиксировать описание задачи (рис. 2).



**Рис. 2. Внесение названия проекта в ПК ЛИРА-САПР**

После создания наименования проекта необходимо импортирование файла с фермой в формате dxf. Для этого необходимо использование выпадающей вкладки «Меню приложений» (рис. 3).

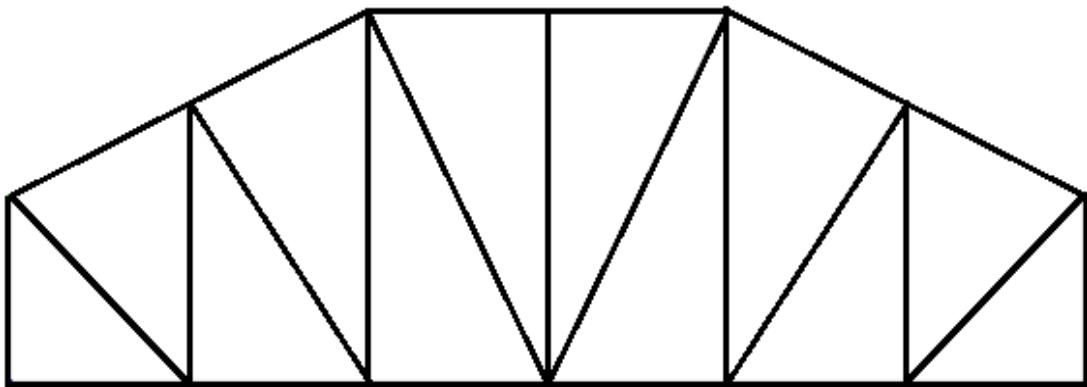


**Рис. 3. Импортирование файла формата dxf в ПК ЛИРА-САПР:**

- 1 – выпадающая вкладка «Меню приложений»; 2 – вкладка «Импортировать задачу»; 3 – «Поэтажный план DXF»

Для импортирования файла с геометрической моделью фермы в рабочее пространство ПК ЛИРА-САПР следует выполнить следующие действия: 1) нажать на выпадающую вкладку «Меню приложений»; 2) открыть вкладку «Импортировать задачу»; 3) «Поэтажный план DXF». На рисунке 3 представлен схематичный ход действий.

После импортирования файла геометрической модели фермы в ПК ЛИРА-САПР, модель появляется в рабочем пространстве. На рисунке 4 представлена данная конструкция.



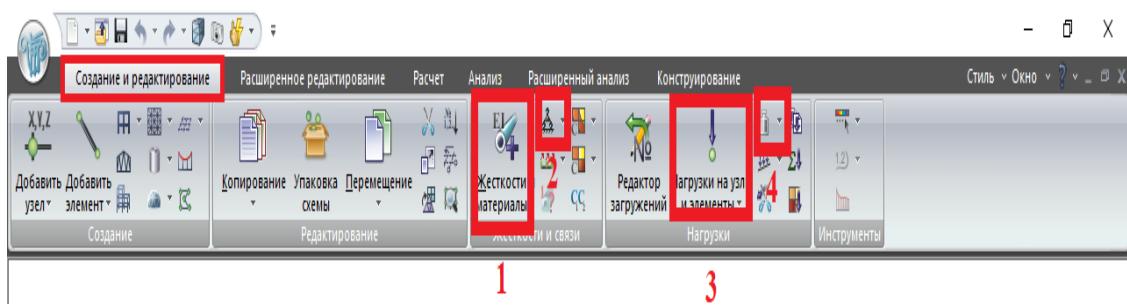
**Рис. 4. Исходная схема фермы в ПК ЛИРА-САПР**

При помощи нижней панели задач выбираем инструмент «Отметка элементов (PageUp)» (Рис. 5) и выделяем верхний пояс конструкции (Рис. 6).



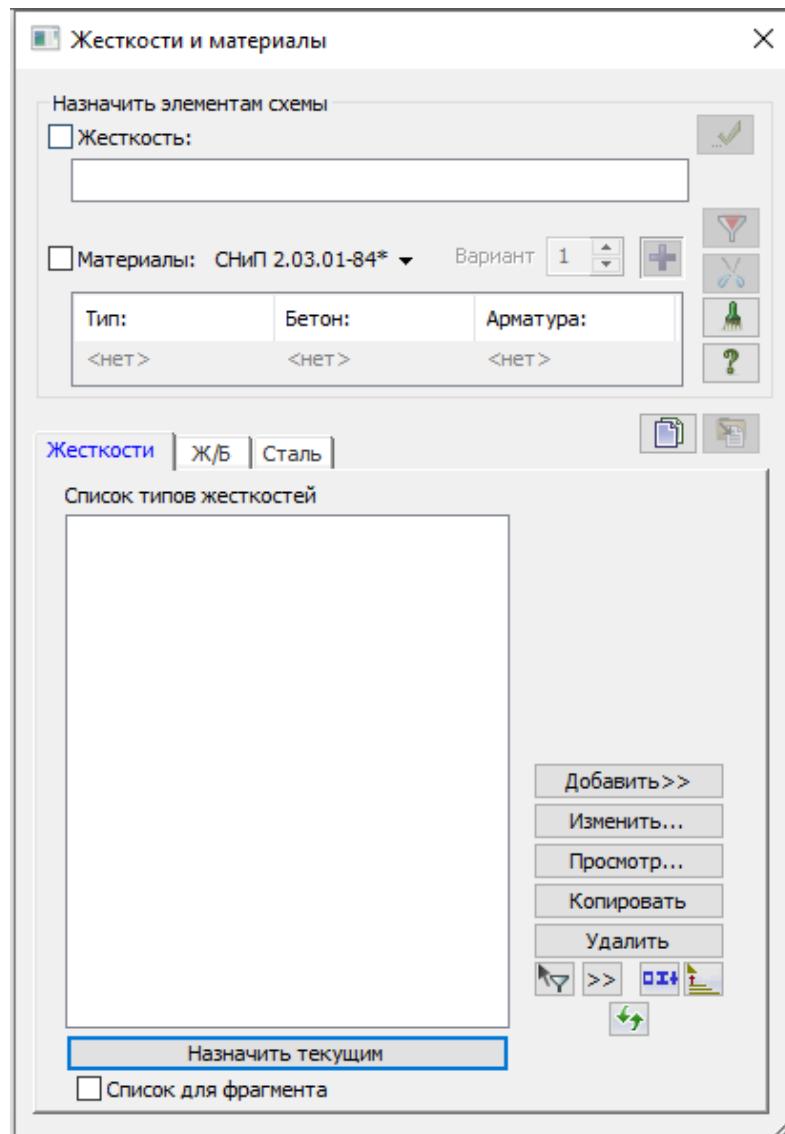
**Рис. 5. Рабочее пространство с отметкой нижней панели задач:**  
1 – выделение любых элементов; 2 – выделение узловых и стержневых элементов

После выделения всех элементов необходимо перейти во вкладку «Создание и редактирование» (рис. 6) и на панели инструментов выбрать «Жесткости и материалы элементов» (рис. 7).



**Рис. 6. Рабочие элементы панели инструментов  
«Создание и редактирование»:**

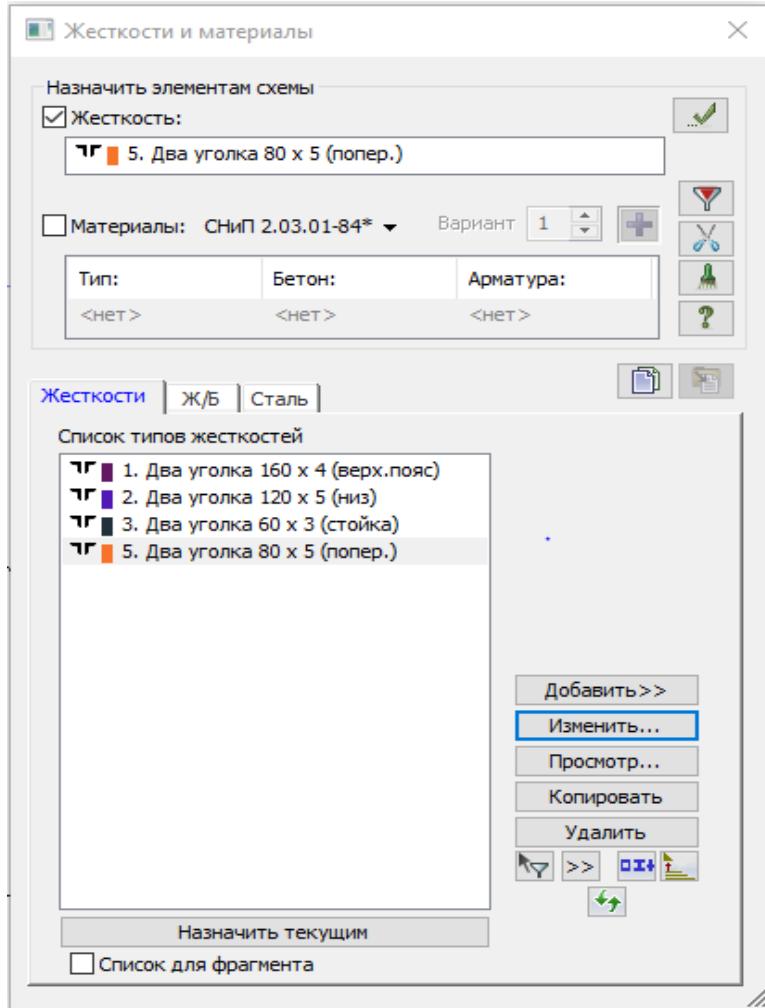
1 – вкладка «Жесткости и материалы»; 2 – вкладка «Связи»; 3 – вкладка «Нагрузки на узлы и элементы»; 4 – вкладка «Добавить собственный вес»



**Рис. 7. Жесткости и материалы**

Для добавления материалов и элементов с определенным поперечным сечением (профилем) необходимо щелкнуть «Добавить» и перейти во вкладку «База металлических сечений», где можно выбрать профиль, например, из двух сваренных уголков. В каталоге профилей выбираем «Уголки стальные гнутые равнополочные» с сечением 160 x 4 и нажимаем кнопки «Добавить» и «Применить» (в верхнем углу). После данной процедуры, стержни в ферме станут черными.

Аналогичным способом выбираем нижний пояс или другие элементы, которым необходимо задать параметры (которые необходимы для расчета). На рисунке 8 приведен пример 4 видов сечений для конструкции фермы.



**Рис. 8. Список типов жесткости**

Для задания способов заделки и связей необходимо использование вкладки «Связи» (рис. 6, позиция 2). Для задания данных элементов вначале необходимо выделить необходимые узловые элементы (рис. 5, позиция 2). При их выделении они должны иметь зеленую цветовую гамму. На рисунке 9 приведено окошко для назначения перемещений в различных направлениях относительно глобальной системы координат.



**Рис. 9. Назначение связей в узлах**

Для добавления собственного веса конструкции необходимо также вначале выделить верхний пояс стержней и во вкладке «Создание и редактирование» найти инструмент «Добавить собственный вес» (рис. 6 позиция 4). После открытия окна необходимо нажать клавишу «Применить» (рис. 10). При желании данную функцию можно применить и для элементов с различными видами жесткости.

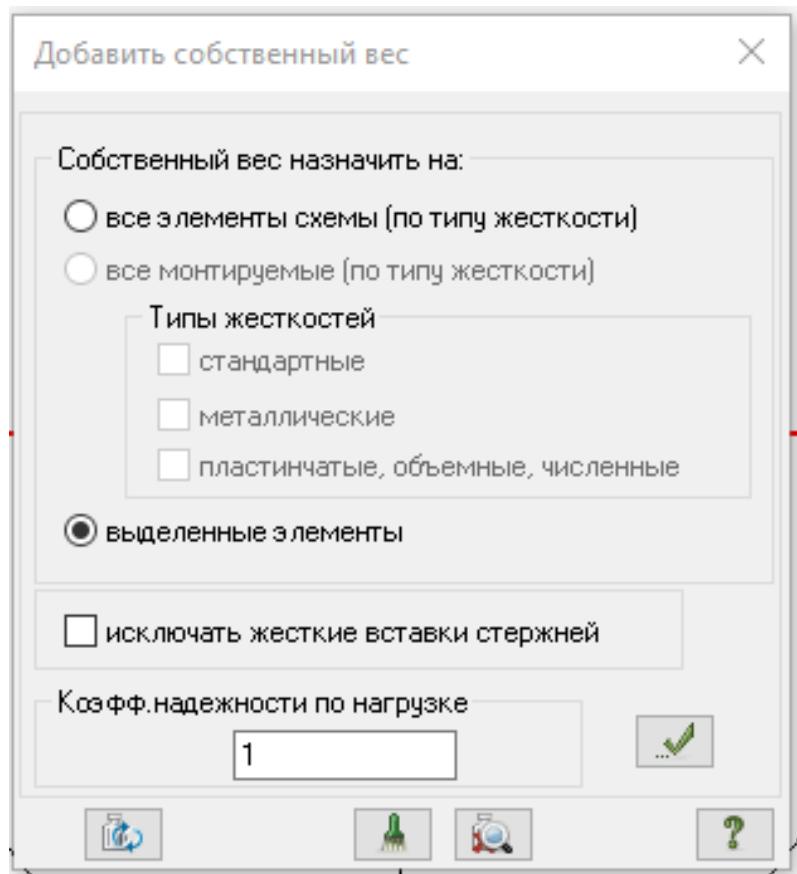
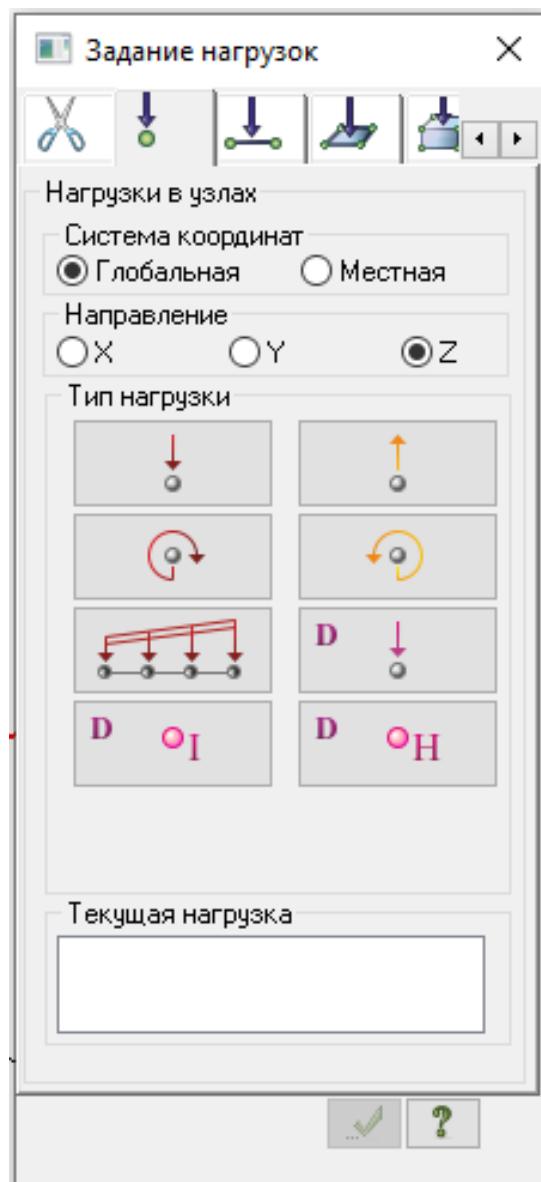


Рис. 10. Окно «Добавить собственный вес»

Для добавления точечных и равно распределенных нагрузок необходимо выбрать инструмент «Отметка узлов (Page + Up)» и выделить нижний пояс или иные элементы на которые приложена нагрузка (рис. 5, позиция 2). Затем пользователю необходимо перейти во вкладку «Создание и редактирование» и вкладку «Нагрузки» (рис. 6, позиция 3). После открытия вкладки «Нагрузки», откроется окно, которое указано на рисунке 11. В нём желательно отметить, что узловая нагрузка всегда задается относительно общей системы координат и всегда направлена вниз, но в некоторых случаях данный показатель возможно изменить.



**Рис. 11. Задание загрузок**

При выборе сосредоточенной нагрузки выбираем «Сосредоточенную силу на узлы» и выбираем направление нагрузки. На рисунке 12 приведено направление нагрузки по оси Y и её значение равное 60 кН.

### Параметры нагрузки

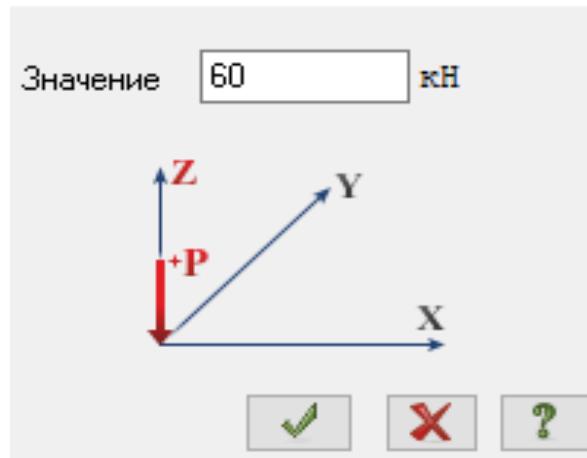


Рис. 12. Параметры загрузки

Для подтверждения, выбранных действий, необходимо нажать кнопки «Подтвердить» и закрыть окно.

Для расчета нагрузок и перемещений элементов фермы переходим во вкладку «Расчет» и находим вкладку «Выполнить полный расчет» (рис. 13). Приложение произведет расчет, программа закроется и откроется заново.

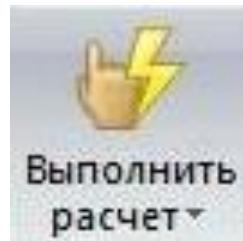


Рис. 13. Вкладка выполнения расчета

После выполнения расчета, происходит открытие вкладки «Анализ». В этой вкладке пользователь может увидеть состояние фермы при заданной нагрузке. Если нажать на инструмент «Мозаика перемещений в глобальной системе» то пользователь сможет провести анализ перемещения каждого элемента конструкции (рис. 14).

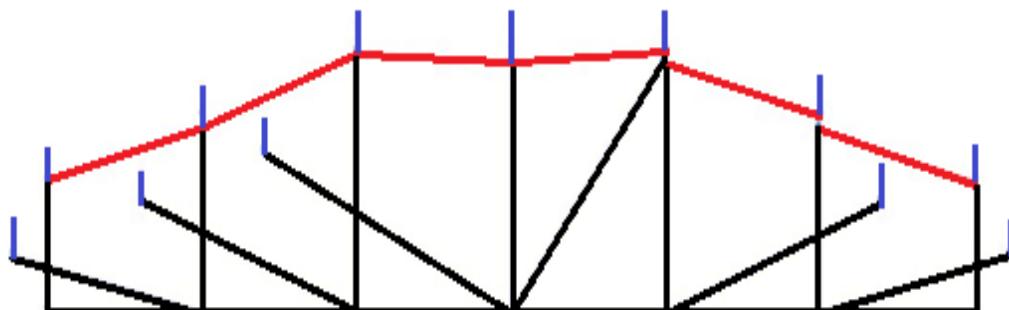


Рис. 14. Мозаика перемещений по оси Y

С помощью инструмента «Эпюры усилий в стержнях» пользователь сможет увидеть, где будет максимальное усилие, а где минимальное. В ходе данной работы можно сделать вывод, что данная ферма не выдержит такую нагрузку и рассчитана на меньшие нагрузки. На рисунке 15 приведен пример с другим сочетанием нагрузок.

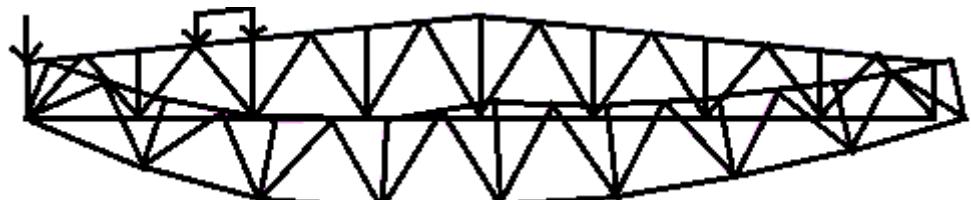


Рис. 15. Эпюры усилий

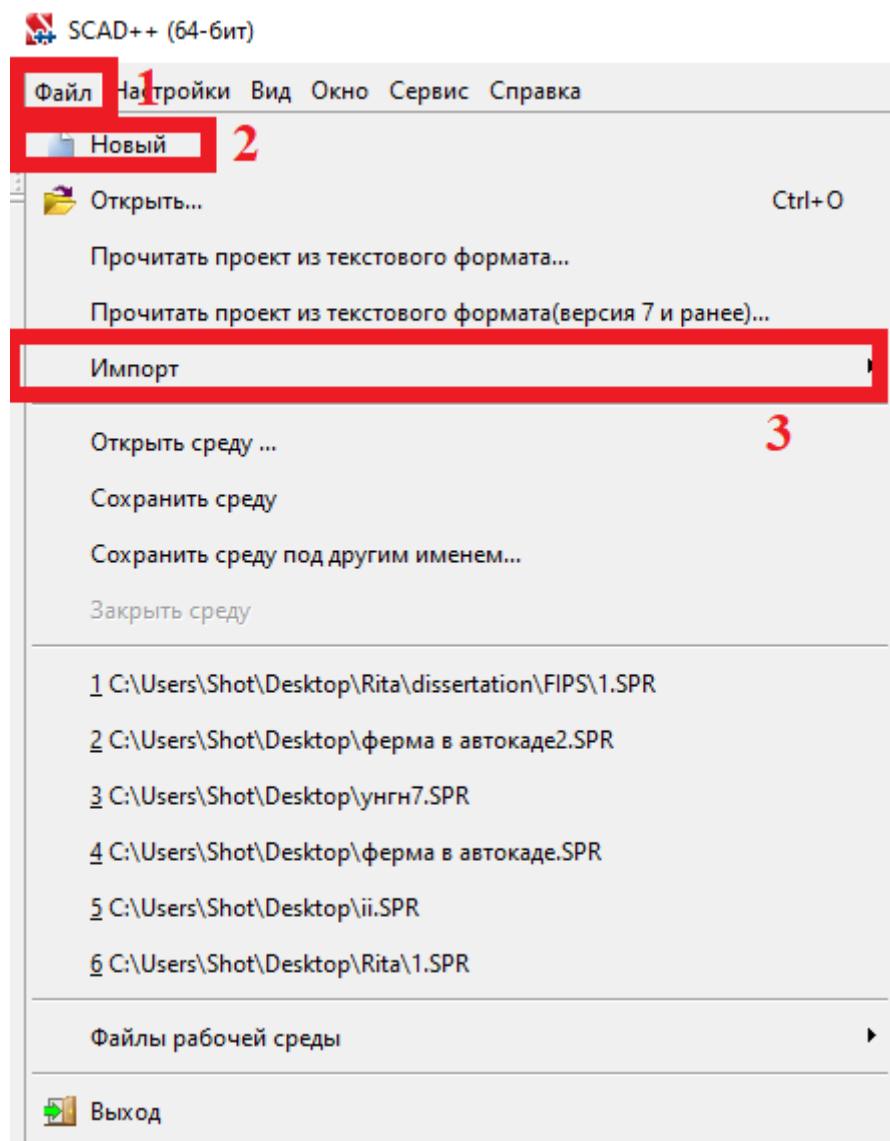
## **2. РАСЧЕТ ФЕРМЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SCAD**

### **2.1. Теоретические основы программного комплекса SCAD**

Вычислительный комплекс SCAD реализован в виде системы прочностного анализа и проектирования конструкций на основе метода конечных элементов. Он включает развитую библиотеку конечных элементов для моделирования следующих видов элементов и конструкций: стержневые, пластиинчатые, твердотельные и комбинированные конструкции. В составе комплекса также существуют модули анализа устойчивости, формирования расчетных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния элементов конструкций по различным теориям прочности, определения усилий взаимодействия фрагмента с остальной конструкцией, вычисления усилий и перемещений от комбинаций загружений. Отдельно следует отметить программы подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций и проверки сечений элементов металлоконструкций, которые ускоряют процесс проектирования.

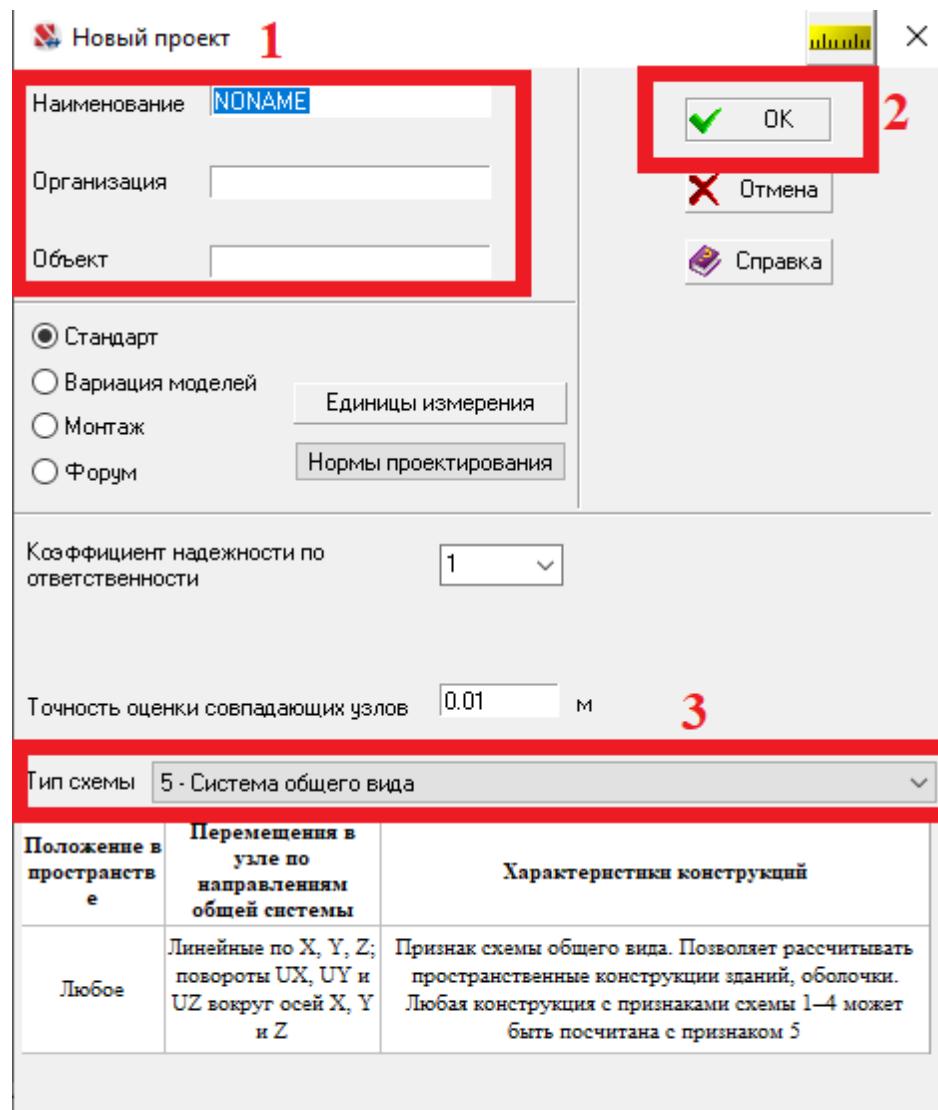
### **2.2. Моделирование стержневой конструкции в программном комплексе SCAD**

Для начала работы в данной программе необходимо создание расчетной геометрической модели. Процесс создания модели выполняется по аналогичной схеме, которая была выполнена для системы ЛИРА-САПР. В ПК SCAD также можно спроектировать модель непосредственно в самом программном комплексе. Ниже будет описан процесс моделирования конструкции при импортировании файла из стороннего программного комплекса. После создания модели в стороннем программном комплексе, необходим запуск программы SCAD и создание нового проекта. На рисунках 16 и 17 представлен интерфейс ПК SCAD и условные обозначения.



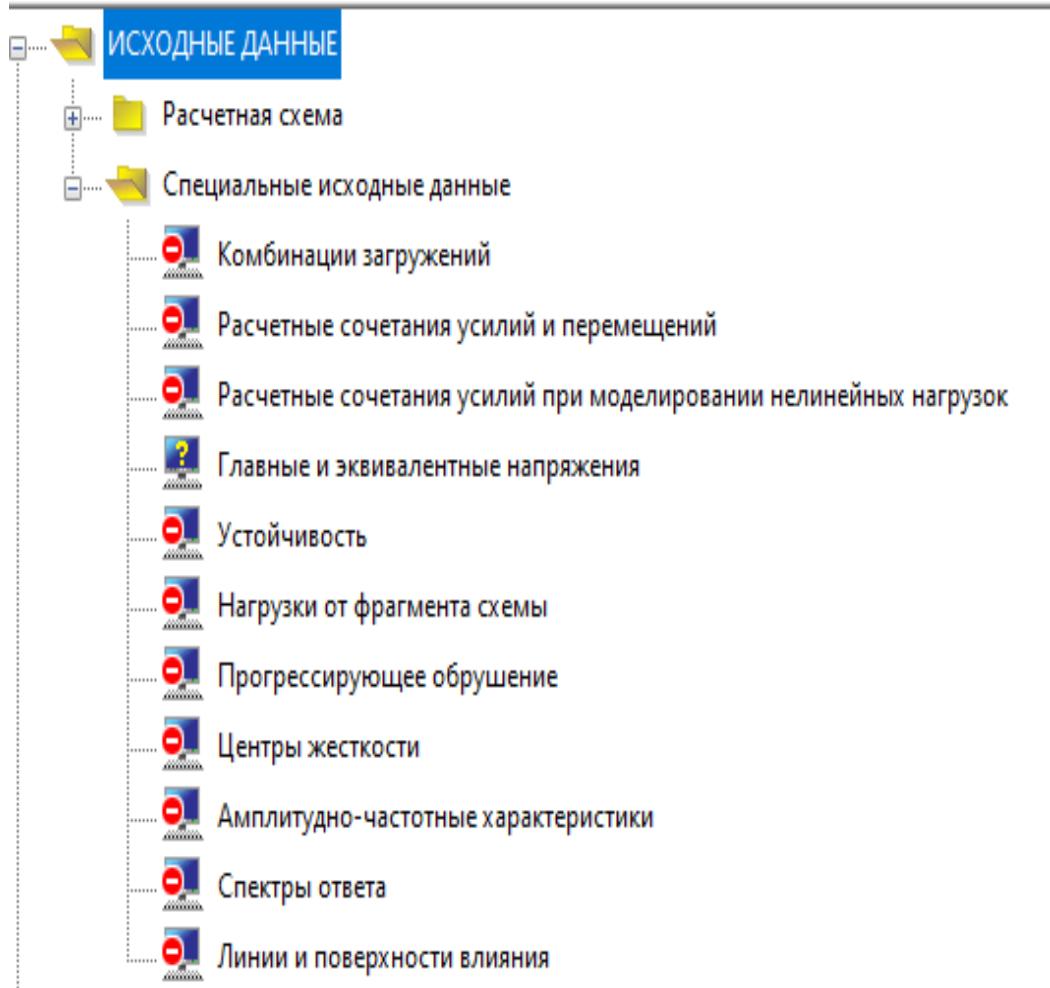
**Рис. 16. Интерфейс ПК SCAD:**

1 – выпадающая вкладки «Файл»; 2 – вкладка «Новый документ»;  
3 – вкладка «Импорт»



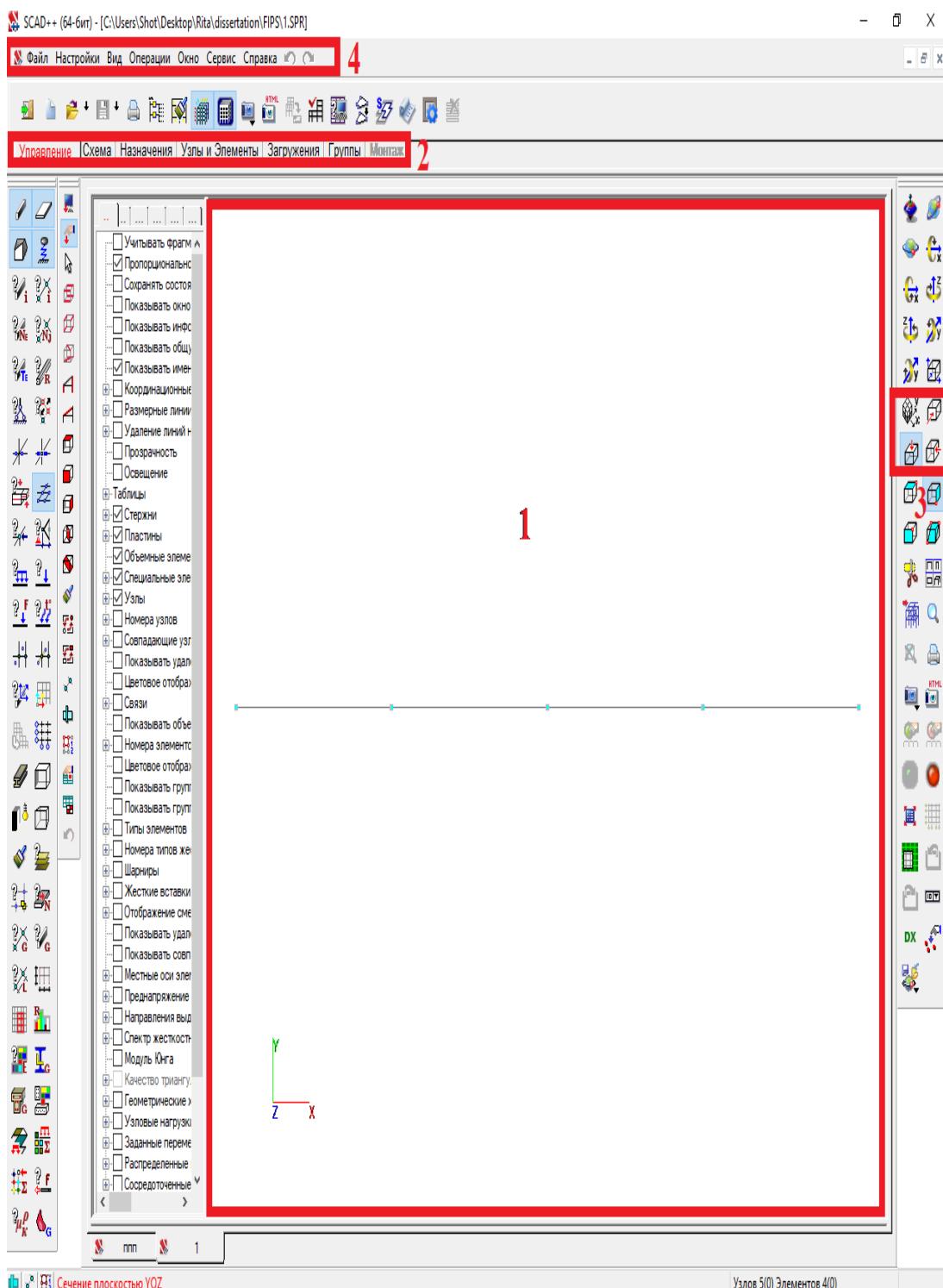
**Рис. 17. Создание названия проекта в ПК SCAD:**  
 1 – основные характеристики проекта; 2 – кнопка «OK»;  
 3 – вкладка для принятой системы с определенными степенями свободы (вкладка «Тип схемы»)

Тип схемы рекомендуется принимать общего вида (№5), так как это универсальная система координат, позволяющая рассчитывать пространственные конструкции. Затем заполняем поля «Наименование», «Организация» и «Объект» и нажимаем кнопку «OK». После данных действий открывается дерево процессов (рис.18).



**Рис. 18. Элемент дерева процессов**

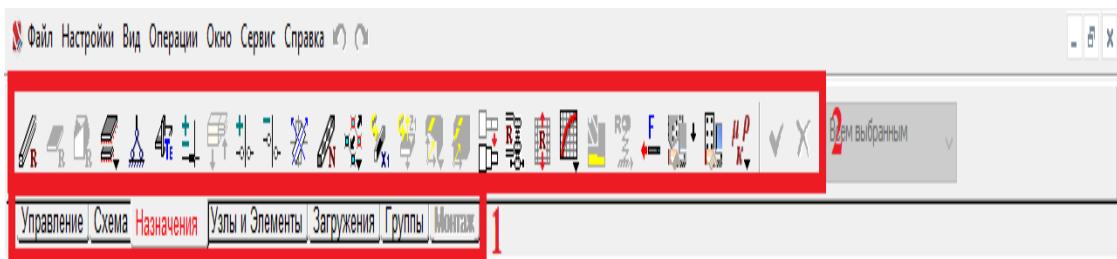
В нём необходимо выбрать вкладку «Расчетная схема» и перед пользователем откроется конструкция (рис.19). Возможен случай, когда ориентация конструкция в пространстве нестандартная. Тогда необходимо поменять вид с помощью специальных команд (рис. 19, позиция 3).



**Рис. 19. Интерфейс ПК SCAD:**

- 1 – основное рабочее пространство;
- 2 – основные вкладки;
- 3 – инструменты для корректировки расположения конструкции в пространстве;
- 4 – вкладки проекта

Для задания жесткости конструкции необходимо использование вкладок «Назначение» и «Жесткость стержневых элементов» (рис. 20 и 21).



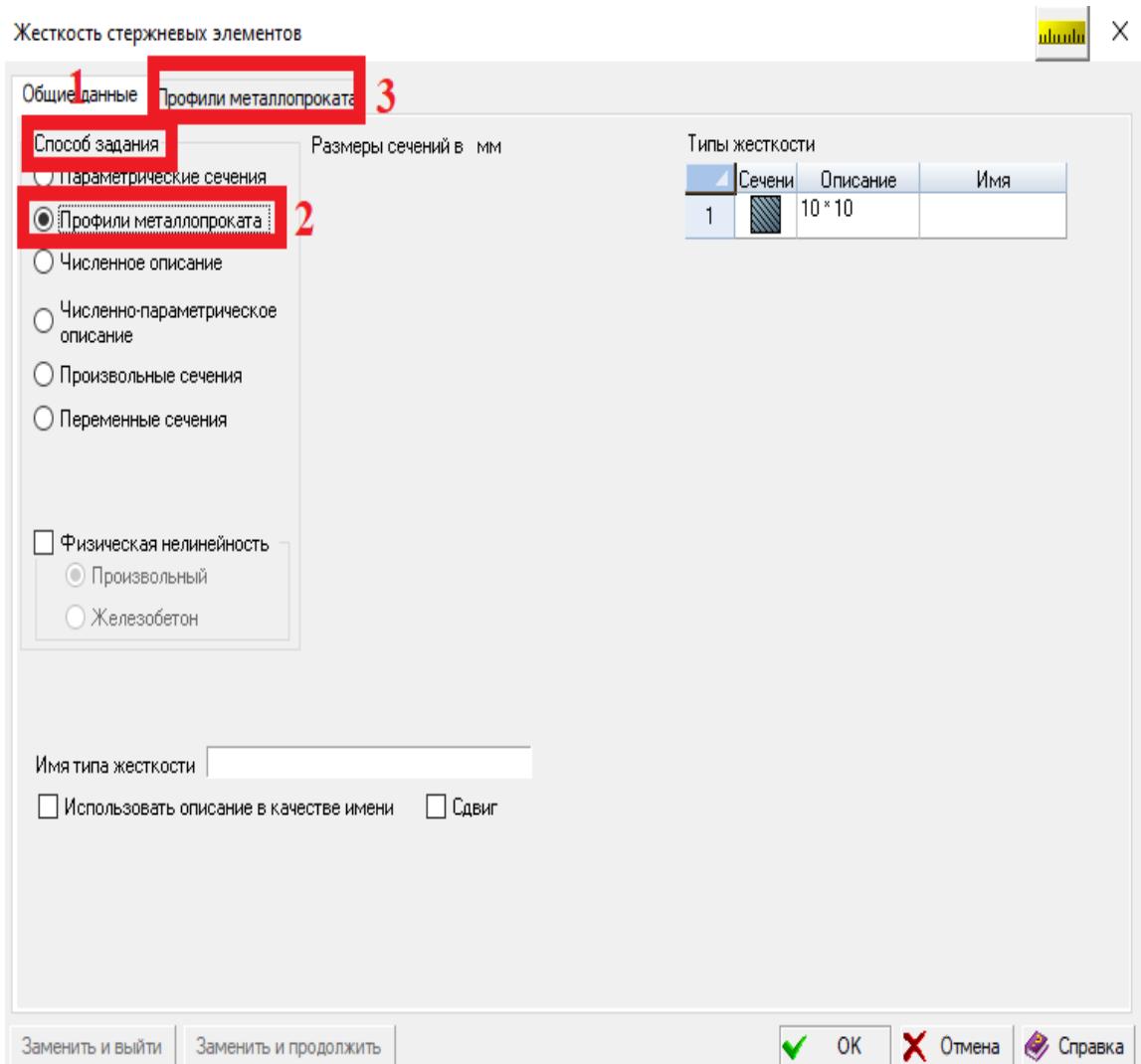
**Рис. 20. Интерфейс ПК SCAD:**

1 – основные вкладки; 2 – дополнительные вкладки проекта



**Рис. 21. Иконка «Жесткость стержневых элементов»**

Перед пользователем открывается окошко «Жесткость стержневых элементов». В разделе «Способ задания» выбираем элемент «Профили металлопроката» и затем переходим во вкладку «Профили металлопроката», и выбираем необходимый профиль, например, «Тавр РА по NF A 45-205» Евростандарта OTUA (рис. 22).



**Рис. 22. Интерфейс вкладки «Жесткость стержневых элементов»:**  
 1 – раздел «Способ задания»; 2 – элемент «Профили металлопроката»;  
 3 – вкладка «Профили металлопроката»

Пользователь выбирает характерные размеры элемента, например, «Тавр 80», и принимает эти действия с помощью кнопки «OK». Для введения выбранных элементов в модель требуется выделить все необходимые стержневые элементы и нажать «Enter». При выборе элемента перед нажатием кнопки «Enter», он меняет цвет и становится красным. После нажатия кнопки «Enter» выделенные элементы станут обратно белыми. После данных действий можно повторно открыть вкладку «Жесткость стержневых элементов» и увидеть табличку в которой собраны все выбранные типы сечений (рис. 23).

Типы жесткости			
	Сечени	Описание	Имя
1		80	
2		80	
3		120	
4		160	

Рис. 23. Пример обновленной таблицы «Типы жесткости»

Для задания способов заделки и связей необходимо использование вкладки «Установка связей в узлах» (рис. 19, позиция 2). Необходимо выделить «Направления связей» в зависимости от степеней свободы и нажать кнопку «OK» (рис. 24).

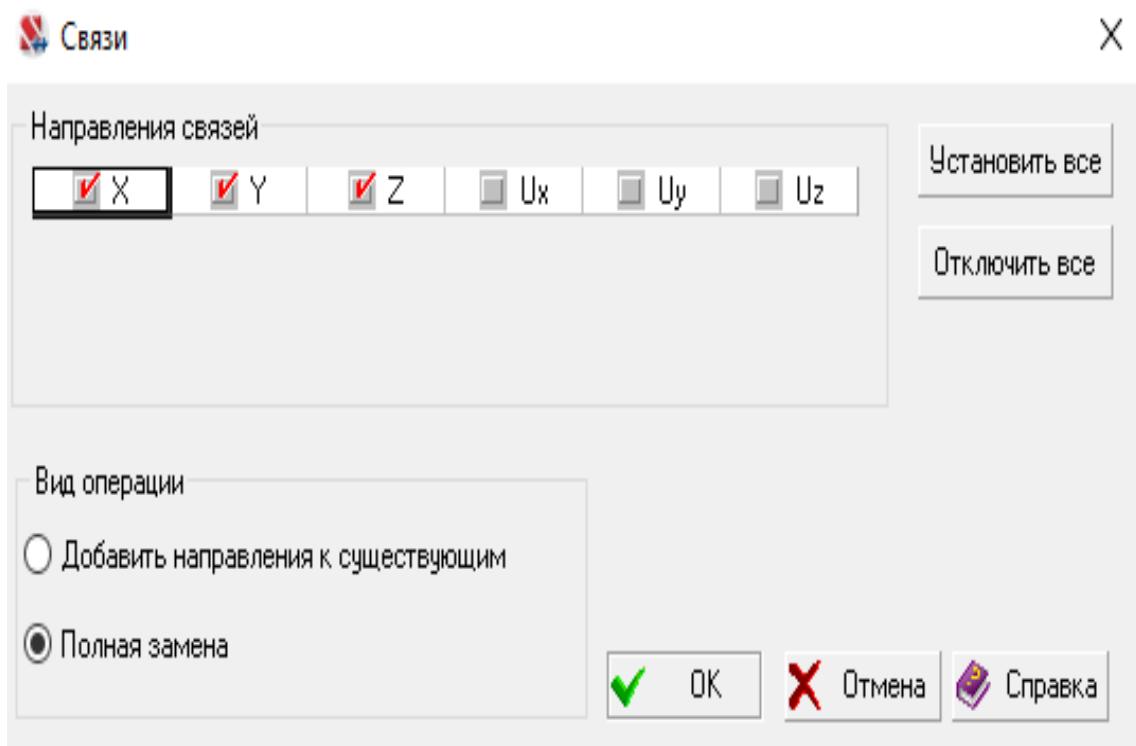
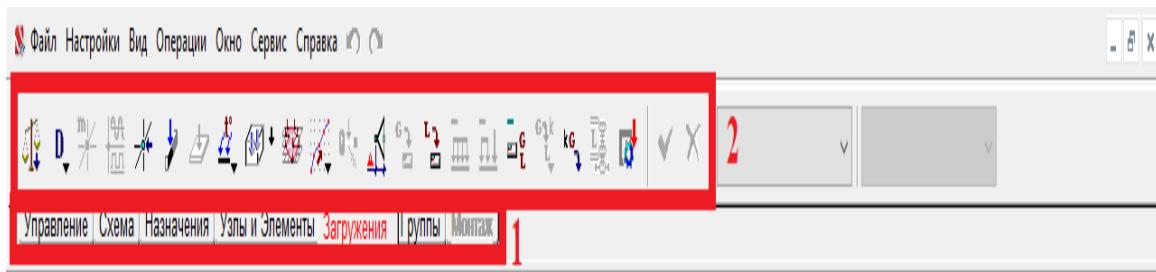


Рис. 24. Вкладка «Связи»

Следующим действием необходимо выделить узловые элементы, к которым пользователь должен применить выбранные виды связей. Эта последовательность является отличительной чертой данного программного комплекса от ПК ЛИРА-САПР. При их выделении они должны изменить цветовую гамму.

Для моделирования приложенных сил пользователю необходимо задать нагрузки на узлы или стержни (рис.25). Данный шаг выполняется с помощью вкладок «Загружения» и «Ввод узловых нагрузок» (  ) или «Нагрузки на стержни» (  ). В открывшемся окне пользователь должен указать нагрузку и направление её действия. После ввода данных нажимаем «OK» выбираем узлы (стержни). Для подтверждения выбранных действий необходимо нажатие клавиши «Enter».

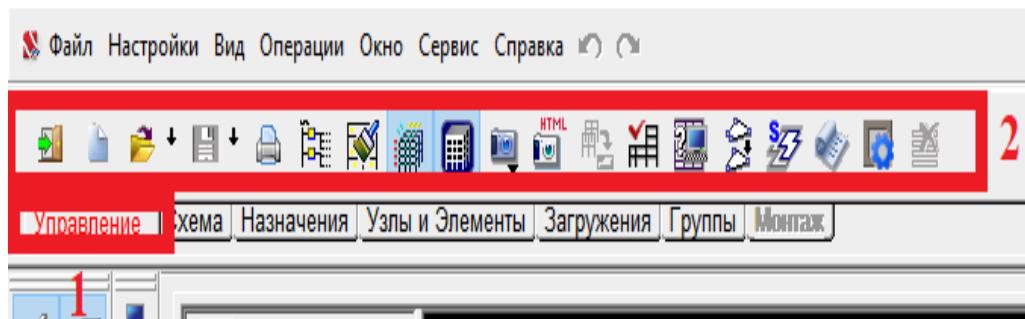


**Рис. 25. Вкладка «Загружения»:**

1 – основные вкладки; 2 – дополнительные вкладки

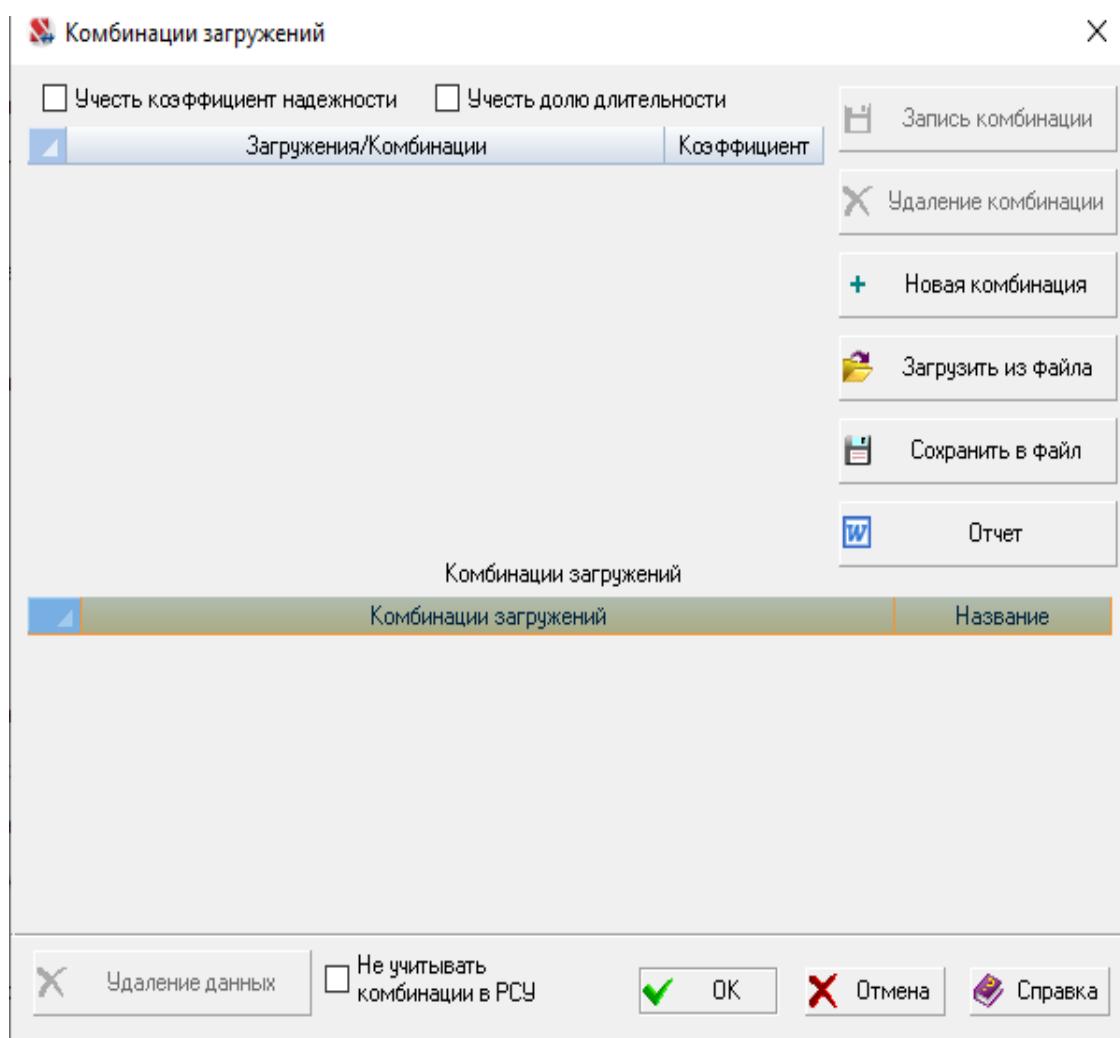
Для задания собственного веса конструкции в вкладке «Загружения» необходимо выбрать дополнительную вкладку «Собственный вес» (  ). В открывшемся окне вводим данные и нажимаем кнопку «OK».

Для подтверждения всех приложенных нагрузок в вкладке «Загружения» нажимаем на дополнительную вкладку «Сохранение нагрузок» (  ). В появившемся окне выбираем в типе загружения «Постоянная нагрузка» и нажимаем «Записать как новое». Для подтверждения действий нажимаем кнопку «OK». После того, как мы задали все нагрузки можно приступать к расчетам. Для этого переходим во вкладку «Управление» и нажимаем на дополнительную вкладку «Выйти на экран управления проектом» (  ) (рис. 26). Перед пользователем откроется дерево процессов (рис.18). В нём находим папку «Специальные исходные данные» и нажимаем на элемент «Комбинация загружений». На рисунке 27 приведен пример данного процесса.



**Рис. 26. Вкладка «Загружениия»:**

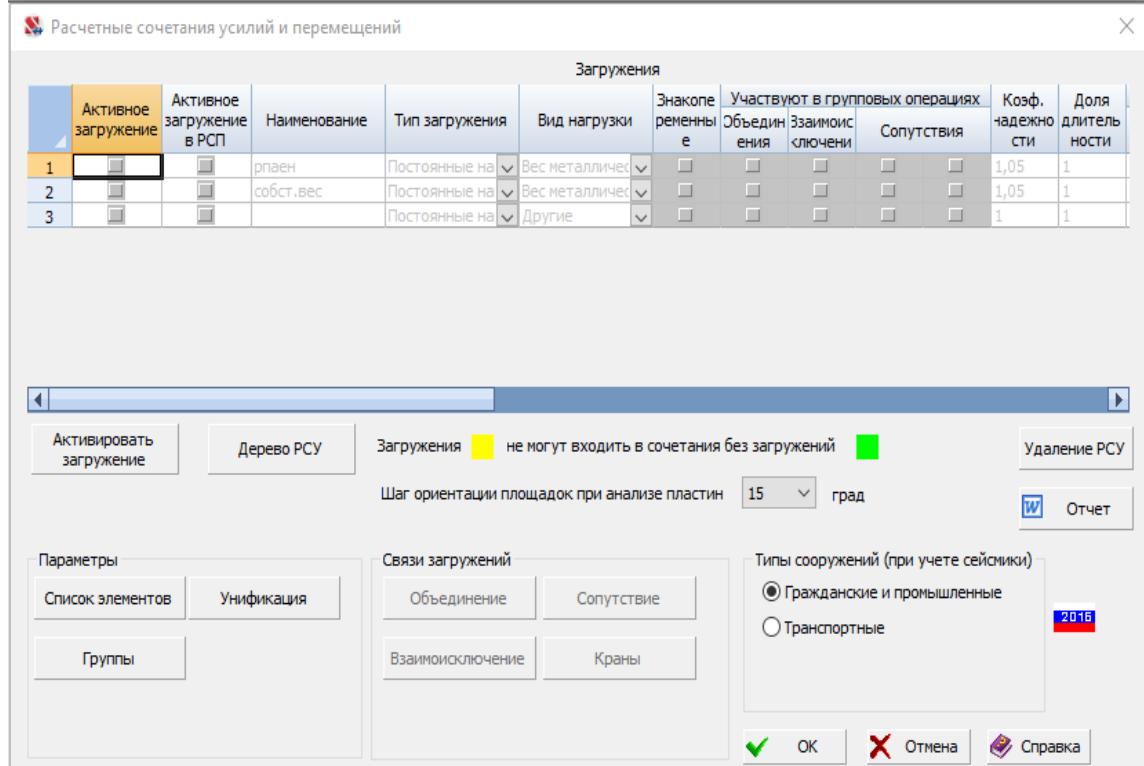
1 – основные вкладки; 2 – дополнительные вкладки



**Рис. 27. Комбинации загружений**

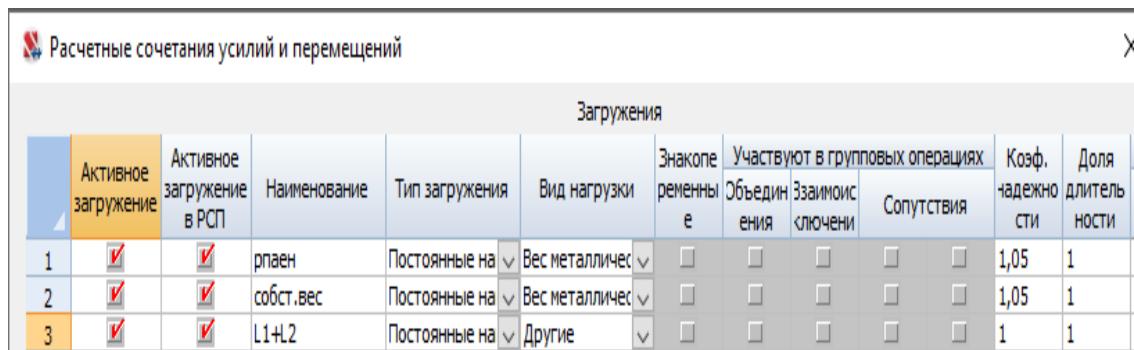
В новом окне нажимаем на элемент «Новая комбинация» и ждём появления элемента Загружениия / Комбинации. В столбике «Коэффициент» возможно добавить дополнительные нагрузки, которые и учитывает данный коэффициент. При первичном

моделировании его можно принять равным единице для всех типов нагрузок. При проектировании зданий и сооружений данный коэффициент нормируется актуальными нормативными документами. Подтверждением принятых значений является кнопка «OK». Следующим шагом является переход во вкладку «Расчетные сочетания усилий и перемещений». При нажатии на данную вкладку откроется дополнительное окно, которое представлено на рисунке 28.



**Рис. 28. Расчетные сочетания усилий и перемещений**

Для подтверждения нагрузок пользователь ставит галочки в столбике «Активное загружение» и нажимает на кнопку «OK» (рис.29).

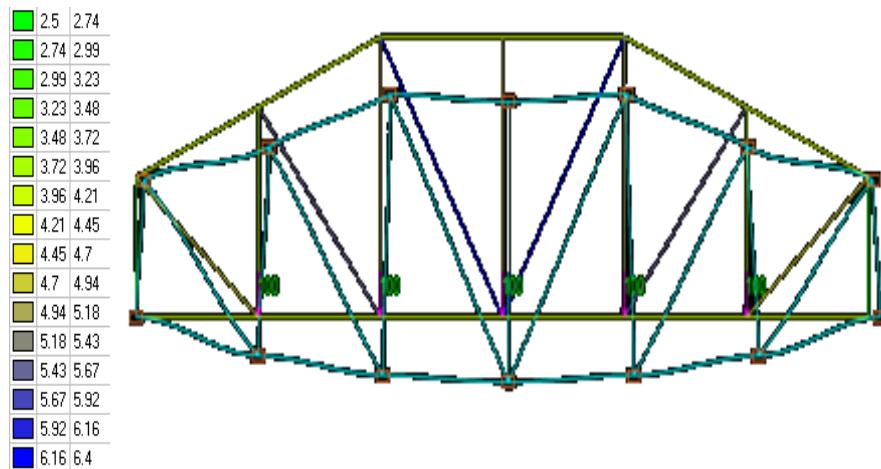


**Рис. 29. Пример Активных загружений**

Затем необходимо произвести моделирование посредством вкладки «Расчет». Существует несколько видов расчетов, но для

первоначального моделирования необходимо выбрать «Линейный» тип. Выбираем его и нажимаем «OK». После завершения расчета, в верхнем левом углу появится красный крест. Пользователю необходимо нажать на него и перейти во вкладку «Результат». В данной вкладке ищем вкладку «Графический анализ» и нажимаем на неё.

В новой вкладке пользователь может наглядно увидеть все деформации и перемещения узлов стержневой конструкции (рис. 30).

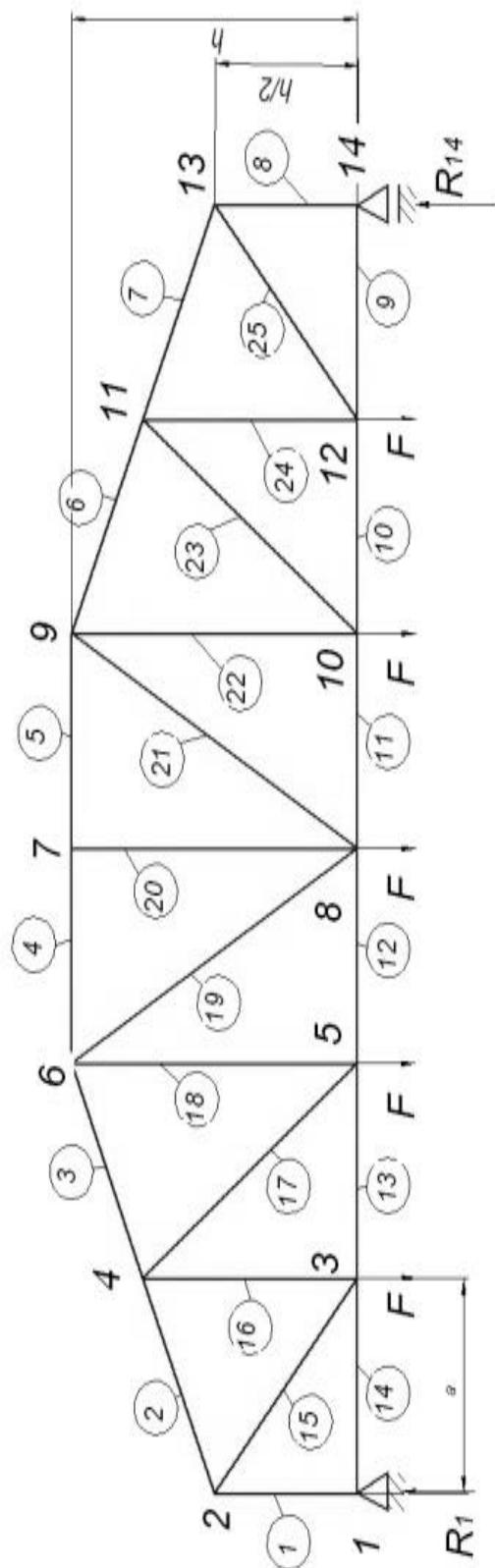


**Рис. 30. Пример перемещения узлов с другими исходными данными**

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лешихина, И. Е.Разработка двумерных геометрических моделей средствами САПР AutoCAD : практикум / И.Е. Лешихина – 1-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2018. – 64 с. – URL: <https://opac.mpei.ru/OpacUnicode/app/webroot/index.php?url=/notices/index/IdNotice:240770/Source:default>
2. Стрелец–Стрелецкий, Е.Б. ЛИРА–САПР. Книга I. Основы: учебное пособие / Е.Б Стрелец–Стрелецкий, А.В. Журавлев, Р.Ю. Водопьянов; ред. академик РААСН, докт. техн. наук, проф. А.С. Городецкий. – М.: LIRALAND, 2019. – 154 с. – URL: [https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book\\_lirasapr\\_the\\_basics\\_2019.pdf](https://rflira.ru/files/lira-sapr/Book_lirasapr_the_basics_2019.pdf)
3. Вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Статический расчет: Учебное пособие. / А.А. Семенов, А.И. Габитов, А.А. Маляренко и др. – М.: АСВ; СКАД СОФТ, 2013. – 238 с. – URL: <https://scadhelp.com/content/downloads/books/s11.pdf>

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВОЙ  
 КОНСТРУКЦИИ**



**Рис. П.1. Плоская ферма:**

$a$  – длина стержня фермы;  $h$  – высота фермы;  $F$  – сосредоточенная сила

Таблица П.1  
Исходные данные для расчета плоской фермы

Параметры						
Вар	a, м	h, м	F, кН	D, м	μ	E, ГПа
1	3	3	100	0,1	0,25	220
2	4	5	50	0,2	0,26	
3	4	4	60	0,3	0,28	
4	3	5	70	0,2	0,27	
5	3	3	85	0,3	0,28	
6	4	4	90	0,1	0,26	
7	4	5	80	0,2	0,25	

**Разаков** Мухаммет Азатович  
**Разакова** Рио-Рита Вадимовна

## **РАСЧЕТ ФЕРМЫ В ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЛИРА-САПР И SCAD**

Практическое электронное издание

*Редактор Е.Б. Бурдюкова*

### **Минимальные системные требования:**

Тип ЭВМ: ПК на базе Pentium IV и выше.

ОС: Windows XP и выше.

Веб-браузер: Google Chrome, Internet Explorer.

Программное обеспечение: AdobeAir

Дата подписания – 05.12.2022

Объем издания – 1,13 Мбайт.

Тираж – 10 электронных оптических дисков (CD-ROM)

Издательство МЭИ  
111250, Москва, Красноказарменная, д. 14.  
[izdatmpei@gmail.com](mailto:izdatmpei@gmail.com)