

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ РАМЫ СТЕРЖНЕВЫМИ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	6
1.1. Цель работы	6
1.2. Запуск и настройка основных параметров ВК SCAD	6
1.3. Создание нового проекта	8
1.4. Создание элементов рамы	9
1.5. Упаковка данных	23
1.6. Установка внутренних связей	27
1.7. Установка внешних связей	30
1.8. Назначение нагрузок	41
1.9. Линейный расчет	48
1.10. Оформление результатов расчета	56
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АРКИ ПЛАСТИНЧАТЫМИ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ	59
2.1. Цель работы	59
2.2. Обзор возможностей SCAD++ по интеграции с САПР	59
2.3. Обзор возможностей AutoCAD при моделировании расчетных схем	60
2.4. Подготовка исходных данных для построения одной ветви арки	63
2.5. Создание модели арки в AutoCAD	66
2.6. Триангуляция модели арки в AutoCAD	71
2.7. Корректировка модели арки в SCAD++	80
2.8. Задание внешних связей и ориентации направления вывода усилий в КЭ	96
2.9. Оформление результатов работы	102
Библиографический список	103
ПРИЛОЖЕНИЯ	104

ВВЕДЕНИЕ

В учебно-методическом пособии «Основы моделирования несущих систем зданий и сооружений» представлены комплексные методы и подходы для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство и 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений. Основное внимание уделяется развитию навыков работы с современными программно-вычислительными комплексами, в частности SCAD, для эффективного моделирования конструкций зданий и сооружений.

Учебно-методическое пособие состоит из двух разделов, в каждом из которых анализируются ключевые аспекты моделирования различных типов конструкций: от плоских рам до сложных пространственных арок. Первый раздел посвящен моделированию плоской рамы с использованием стержневых конечных элементов (КЭ), что является основой для понимания принципов работы с программными комплексами. Во втором разделе детально рассматривается процесс создания пространственной арки с применением пластинчатых КЭ, включая интеграцию с CAD-системами.

Цель данного пособия — не только познакомить обучающихся с теоретическими основами моделирования, но и развить у них практические навыки работы с программным обеспечением, что повысит их квалификацию и подготовит к решению сложных инженерных задач в будущей профессиональной деятельности.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ РАМЫ СТЕРЖНЕВЫМИ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основная цель данного раздела учебно-методического пособия — познакомить обучающихся с программным комплексом (ПК) SCAD в процессе выполнения первой самостоятельной работы. Задача — рассчитать плоскую раму (прил. 1) с использованием стержневых КЭ в условиях статического загружения. Итог работы — отчет, в котором обучающийся демонстрирует навыки геометрического моделирования и строит эпюры внутренних усилий (продольные силы N , изгибающие моменты M_y , поперечные силы Q_z) для следующих вариантов загружения:

- действие всех равномерно распределенных нагрузок от собственного веса элементов рамы;
- действие всех сосредоточенных сил;
- действие всех изгибающих моментов;
- действие всех равномерно распределенных нагрузок;
- смещение опор;
- совместное действие всех перечисленных выше нагрузок.

Представленные в прил. 1 варианты плоских рам включают общие и переменные параметры, обозначенные следующим образом:

- L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 — линейные размеры (расстояния в осях) стержней;
- F_1, F_2 — внешние сосредоточенные силы с заданными направлениями и местами приложения. При отсутствии указания углов направления нагрузки силы прикладываются вертикально или горизонтально;
- M_1, M_2 — внешние изгибающие моменты с заданными направлениями и местами приложения;
- q_1, q_2 — равномерно распределенные нагрузки, приложенные нормально по длине элемента рамы;
- dF — упругая внутренняя линейная связь типа «линейная пружина»;
- dM — упругая внутренняя угловая связь типа «спиральная пружина»;
- dL — нагрузка на внешнюю связь в виде линейного перемещения опоры по заданному направлению смещения.

Значения этих параметров подбираются индивидуально для каждого обучающегося в соответствии с прил. 2.

Общие параметры для всех вариантов рам:

- вертикальные элементы первого яруса имеют сечение 400×400 мм;
- вертикальные элементы второго яруса имеют сечение 300×300 мм;
- остальные элементы рамы имеют сечение 300×600 мм;
- конструктивный материал — бетон класса В30.

1.2. ЗАПУСК И НАСТРОЙКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВК SCAD

Вычислительный комплекс (ВК) SCAD — это интегрированная система для прочностного анализа и проектирования конструкций с использованием метода конечных элементов (МКЭ) в терминах перемещений. Она позволяет определять напряженно-деформированное состояние конструкций под статическими и динамическими воздействиями, а также выполнять проектирование элементов. ВК SCAD включает основную программу для моделирования конструктивных систем любой сложности (SCAD++) и 27 вспомогательных программ для локальных расчетов и справочной информации (рис. 1).

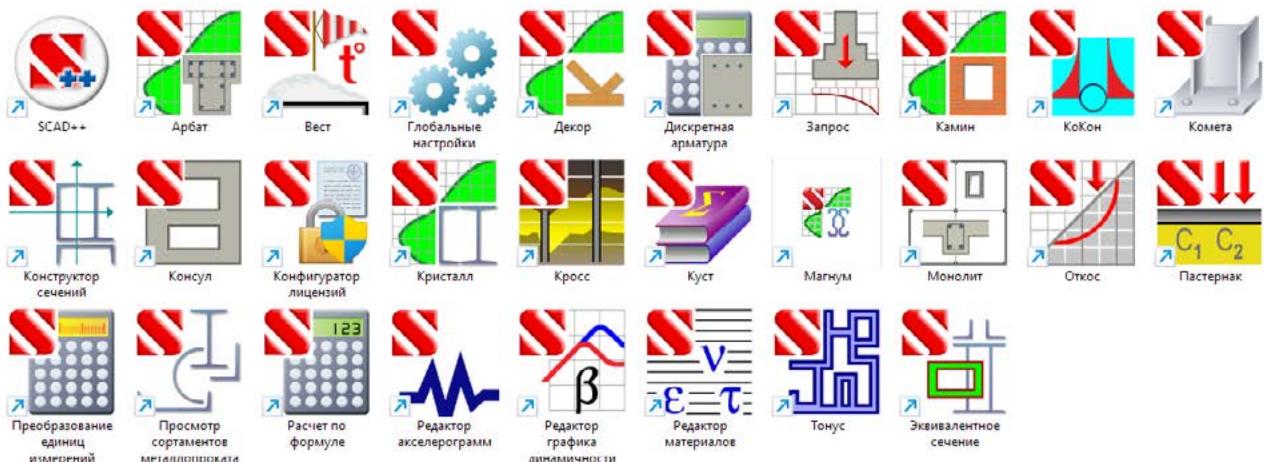


Рис. 1. Иконки BK SCAD с выделением иконки SCAD++

После запуска SCAD++ откроется окно интегрированного интерфейса (рис. 2). Поскольку программа поддерживает расчеты в различных единицах измерения, перед началом работы рекомендуется выполнить экспресс-настройку единиц и цветовой схемы интерфейса (рис. 3, 4).

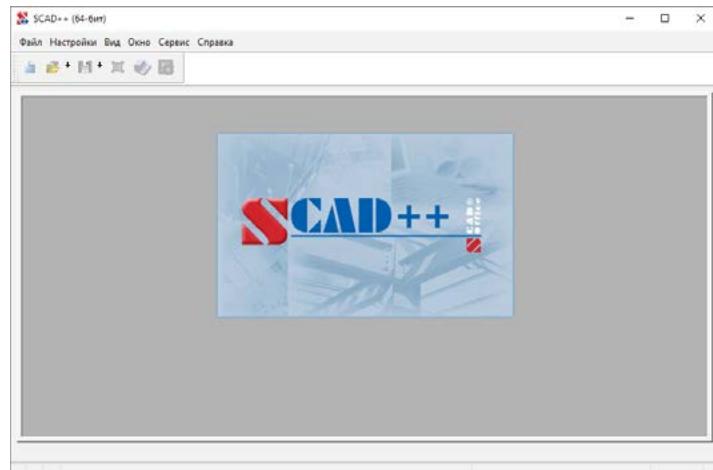


Рис. 2. Вид интегрирующего окна программы SCAD++ в начальный момент

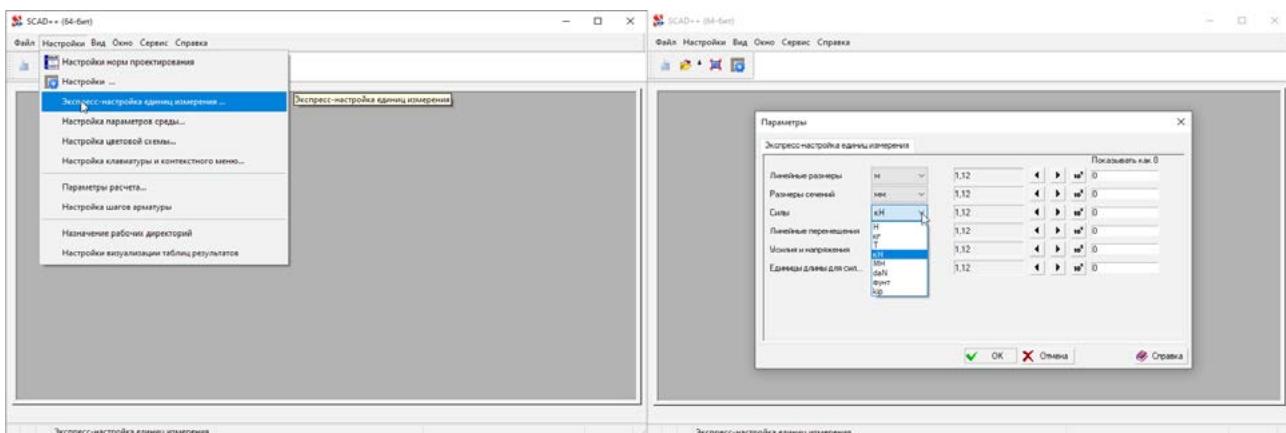


Рис. 3. Расположение пункта меню в программе SCAD++:

а — для экспресс-настройки единиц измерения;

б — расстраиваемые параметры

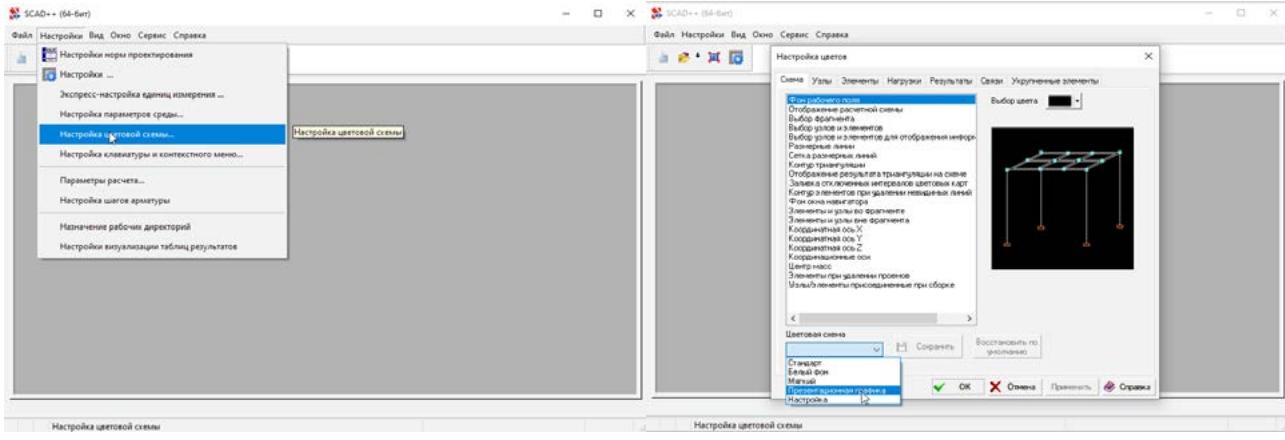


Рис. 4. Настройка цветовой схемы интерфейса программы SCAD++:
 а — расположение пункта меню для настройки цветовой схемы интерфейса;
 б — соответствующее диалоговое окно

1.3. СОЗДАНИЕ НОВОГО ПРОЕКТА

Необходимо создать новый проект и выбрать второй тип расчетной схемы — плоская рама (рис. 5). По умолчанию при создании нового проекта предлагается пятый тип расчетной схемы — схема общего вида (пространственная модель), который используется для большинства расчетов. Плоскую раму, рассматриваемую в рамках первой домашней работы, можно рассчитать и в схеме общего вида, но для этого нужно будет задать дополнительные граничные условия, запрещающие повороты и перемещения вне плоскости рамы. Однако, поскольку предполагается отсутствие опыта работы с программой SCAD++, целесообразно выполнить первый расчет в упрощенной постановке, т.е. с использованием расчетной схемы второго типа.

В этом окне также указывается название проекта и информация о нем (название можно изменить в любой момент). После подтверждения кнопкой *OK* задается имя файла и путь к нему, выполняется сохранение (рис. 6).

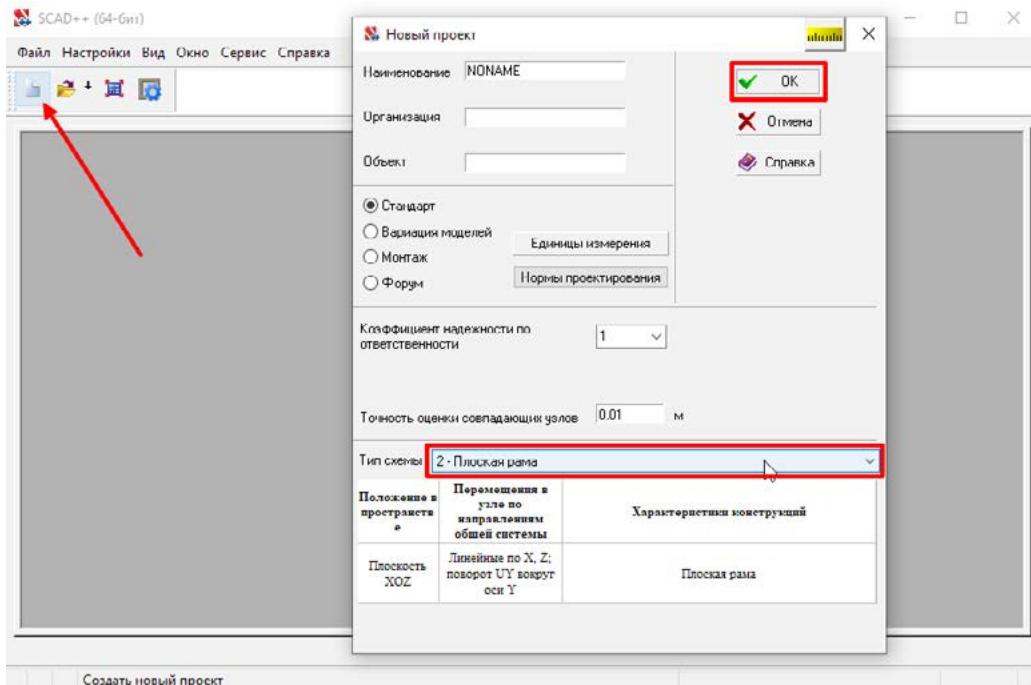


Рис. 5. Диалоговое окно создания нового проекта с использованием второго типа расчетной схемы — плоская рама

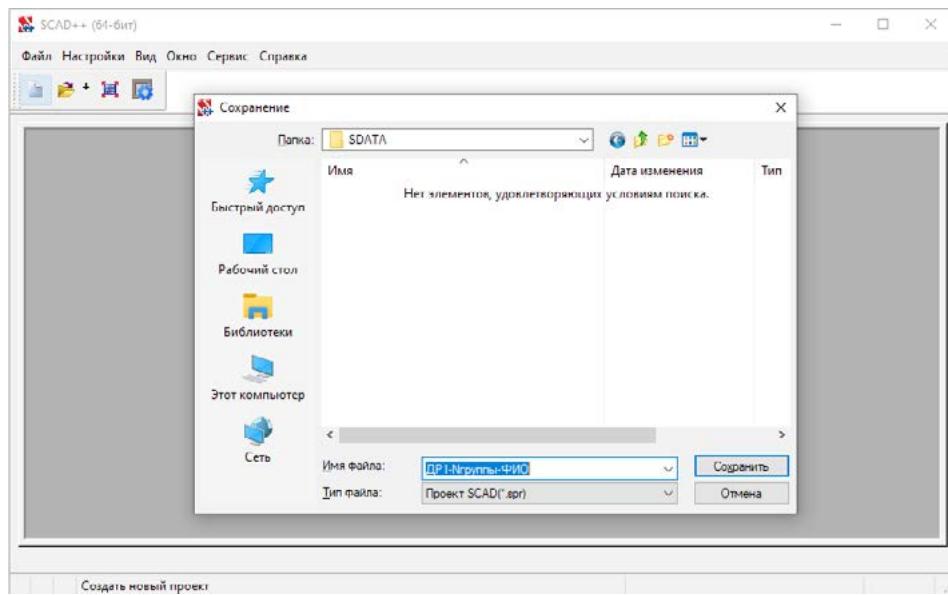
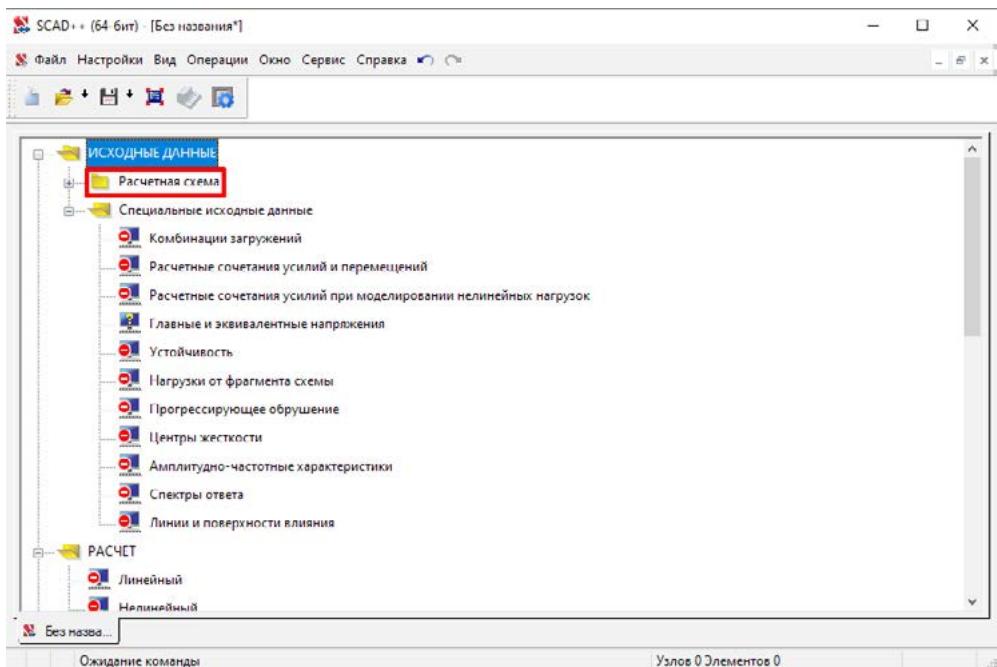


Рис. 6. Диалоговое окно сохранения файла с исходными данными проекта

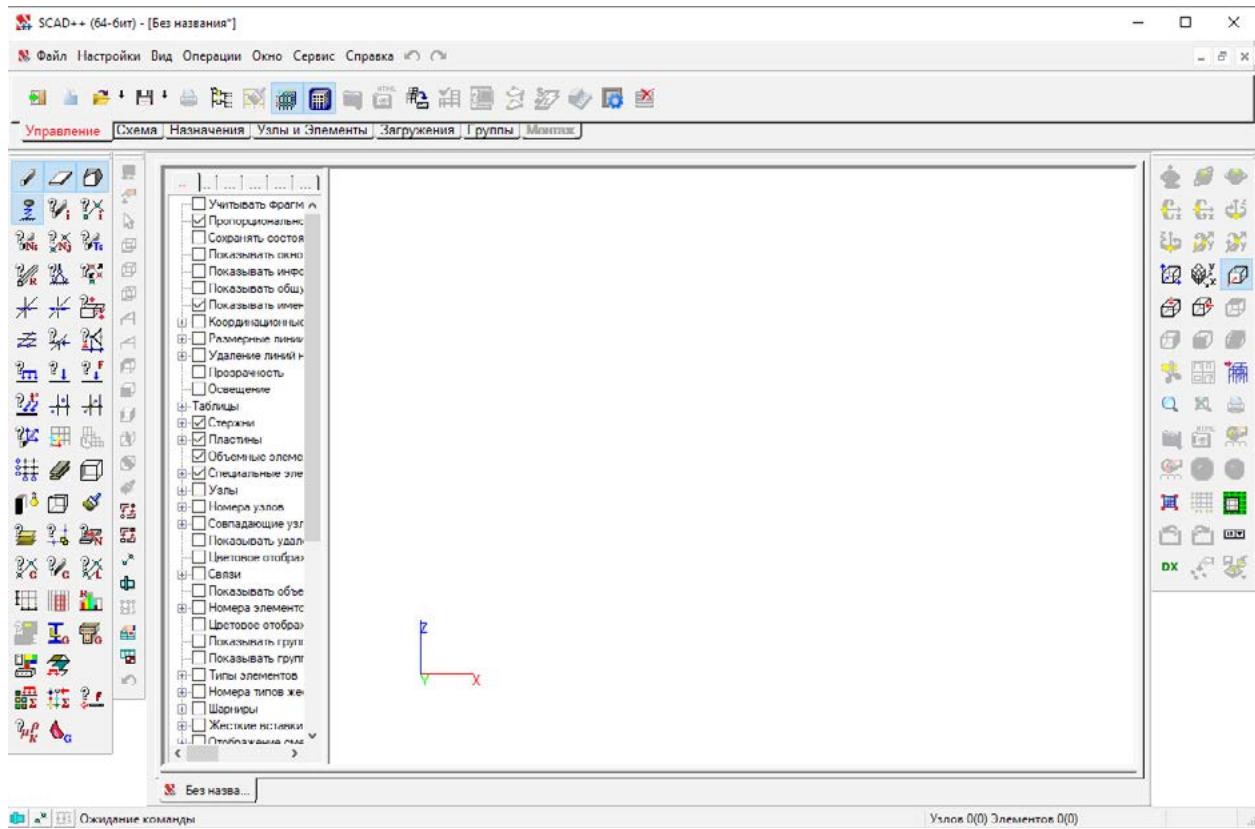
1.4. СОЗДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РАМЫ

После сохранения файла откроется окно интегрирующего интерфейса (рис. 7, *a*). В SCAD++ через это окно, выполненное в виде корневого каталога, можно выбрать один из трех процессов: подготовка исходных данных (препроцессор), выполнение расчета (процессор) и вывод результатов (постпроцессор). Для каждого процесса доступен более детальный переход через соответствующую папку. При этом к каждому процессору можно обратиться, более адресно раскрыв соответствующую папку. В начале работы воспользуемся препроцессором (рис. 7, *б*) и создадим расчетную схему.

В рабочем окне доступна панель таблиц с рядом вкладок (например «Фильтры отображения», «Узлы», «Элементы»). Ее удобно использовать для редактирования введенных данных. С целью экономии места панель можно скрыть, сдвинув разделитель окна влево. Все данные в панели таблиц редактируются стандартными инструментами на любом этапе работы с проектом.



a



б

Рис. 7. Окно: а — интегрирующего интерфейса; б — препроцессора

Основное окно препроцессора (см. рис. 7, б) содержит инструментальную панель с активной вкладкой «Управление», на которой находится иконка с деревом проекта, позволяющая вернуться из препроцессора в интегрирующий интерфейс для управления проектом.

В SCAD++, как и в других расчетных программах, одну и ту же операцию можно выполнить разными способами. В данном пособии приведены наиболее эффективные методы, подходящие для текущей задачи. Например для создания расчетной схемы плоской рамы рекомендуется использовать инструмент «Генерация прототипа рамы», расположенный на вкладке «Схема» (рис. 8, а). Также возможно построить раму вручную, задав узлы по координатам и соединив их стержневыми элементами.

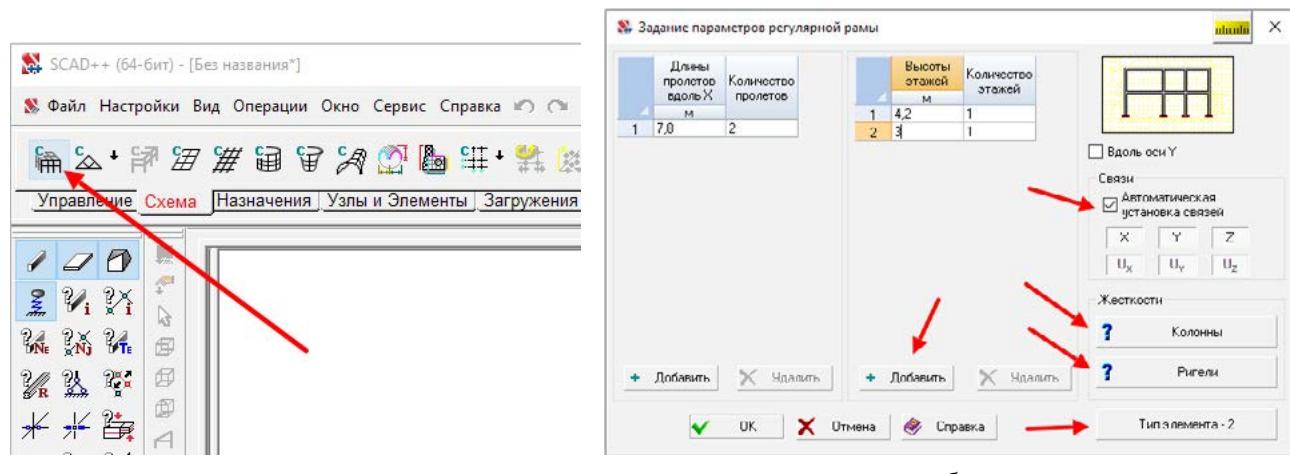


Рис. 8. Инструмент «Генерация прототипа рамы»:
а — расположение иконки на панели инструментов препроцессора;
б — диалоговое окно управления этим процессом

Для примера создадим плоскую раму для варианта 9 (табл. прил. 1) с геометрическими параметрами: $L_1 = 7,8$ м; $L_2 = 7,8$ м; $L_4 = 4,2$ м; $L_5 = 3,0$ м. На рис. 8, б приведено диалоговое окно генерации прототипа рамы, где добавлено необходимое количество строк для задания шагов рамы по длине и высоте. В этом примере длины L_1 и L_2 одинаковы, что позволило для их задания использовать одну строку. Для указания высоты рамы требуется добавить еще одну строку, так как значения L_4 и L_5 различаются. Диалоговое окно с параметрами в виде формул и результат генерации представлены на рис. 10, 11 соответственно.

Интерфейс этого инструмента позволяет в рамках одной команды выполнить несколько сопутствующих действий: задать условия закрепления рамы к основанию, а также жесткостные характеристики вертикальных (колонн) и горизонтальных (ригелей) элементов рамы. Рекомендуется эти действия выполнить сразу, но также их возможно сделать на более позднем этапе. Готовая рама представлена на рис. 9.

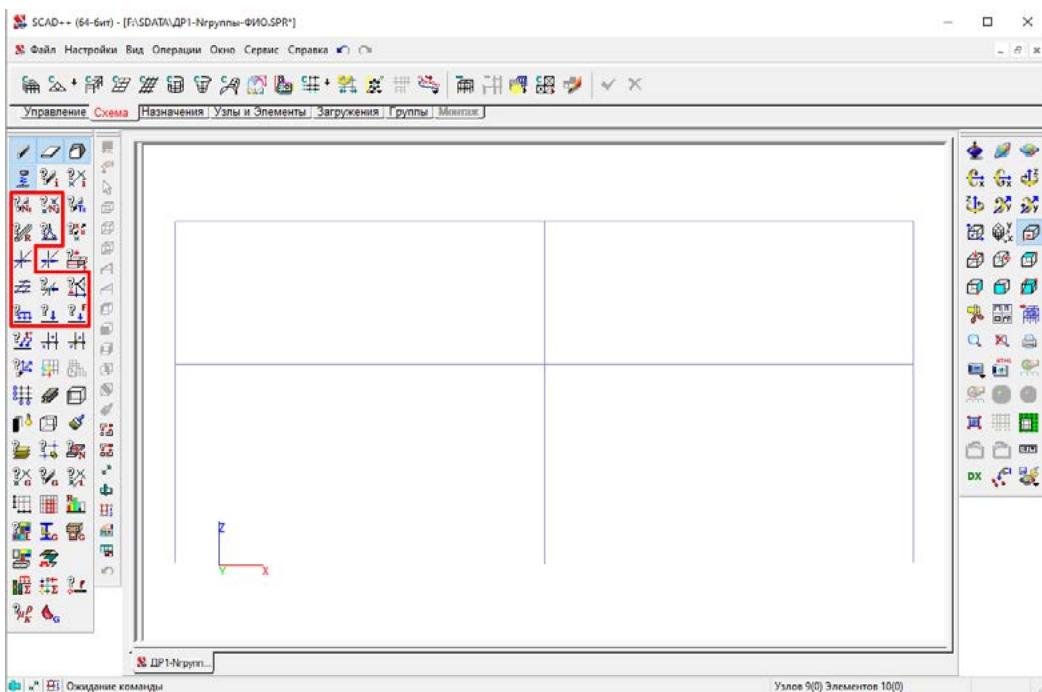


Рис. 9. Результат построения плоской рамы

При необходимости в любой момент работы над проектом можно воспользоваться стандартной командой «Отменить последнее действие» (откатиться назад) посредством нажатия комбинации клавиш *CTRL+Z*. Полное удаление схемы выполняется при помощи соответствующей иконки  , которая находится на панели инструментов препроцессора SCAD++ на вкладке «Схема», при этом остаются настройки цветовой схемы, индикационные данные проекта и другие фильтры.

В левой части рабочего окна препроцессора расположена «Панель фильтров» — мозаика интерактивных пиктограмм, которые можно включать или выключать для управления отображением исходных данных расчетной схемы. При нажатии правой кнопки мыши открывается диалоговое окно, где можно настроить параметры отображения нестандартным способом (подробности приведены далее). На рис. 9 выделены пиктограммы, которые рекомендуется активировать.

При задании нагрузок следует учитывать, что почти все элементы рамы имеют следующие точки приложения нагрузок либо в середине пролета, либо разделены на две неравные части. В случаях, когда нагрузки находятся внутри пролета элементов, на этапе генерации плоской рамы рекомендуется задать не два пролета по длине и высоте, а три или четыре. Это позволит создать раму с избыточным количеством колонн и балок, которые можно будет удалить, оставив в расчетной схеме только необходимые стержни.

Для создания рамы по второму варианту, где первый пролет рамы состоит из двух половинок L_2 и L_1 , а второй — из двух половинок L_1 и L_2 , в диалоговом окне генератора плоских рам создадим 3 дополнительные строки и в каждой укажем значения $L_2/2$, $L_1/2$, $L_1/2$ и $L_2/2$ соответственно (при этом выполнять деление не требуется). Для примера возьмем размеры рамы из первого варианта (табл. прил. 1) и сгенерируем раму второго варианта. Диалоговое окно с параметрами в виде формул и результат генерации представлены на рис. 10.

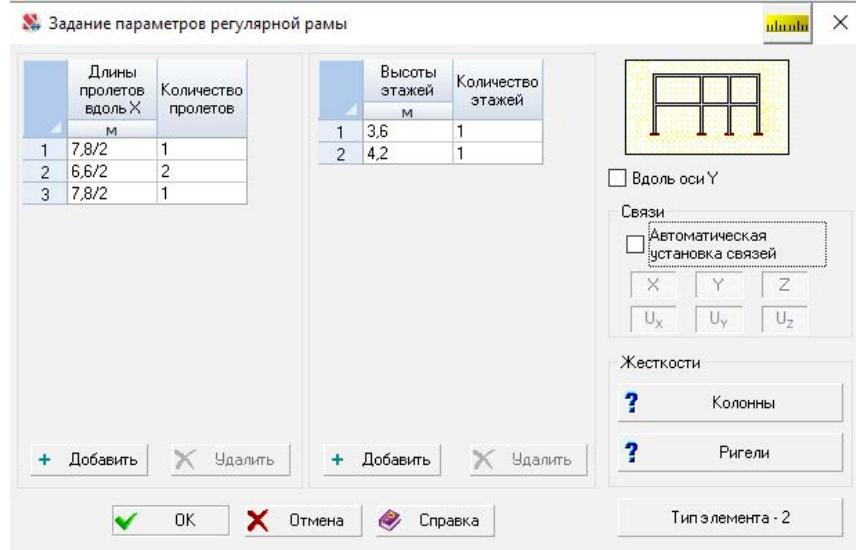


Рис. 10. Диалоговое окно генератора рам в момент задания параметра длины пролета вдоль оси X в виде формулы для ее расчета

На рис. 11 приведен пример сгенерированной плоской рамы с заданными параметрами

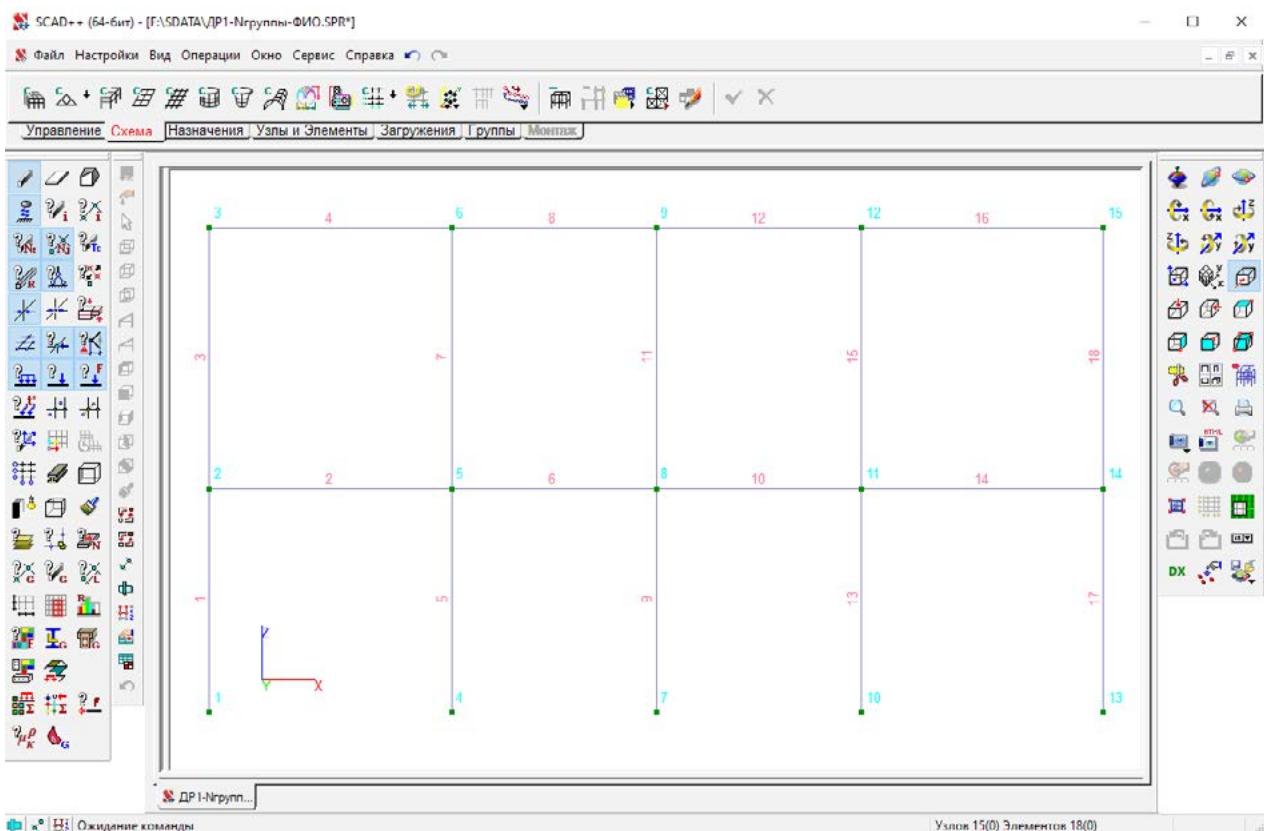


Рис. 11. Пример сгенерированной плоской рамы с заданными параметрами

Обратите внимание, что при генерации рамы была отключена опция автоматической установки связей (хотя она доступна в SCAD++). Это связано с логической ошибкой, возникающей при ее использовании в расчетной схеме второго типа. Команда может установить ограничения на перемещения узлов по направлениям, которые отсутствуют в расчетной схеме второго типа. Однако эта ошибка не критична и не влияет на результаты расчета. Есть также другая логическая ошибка, связанная с использованием команды «Генерация прототипа рамы» в расчетной схеме второго типа: если активировать опцию «Вдоль оси Y», (см. рис. 10), то рама будет построена с поворотом на 90° вокруг оси Z. В этом случае рамы, созданные с использованием КЭ второго типа, невозможно будет рассчитать, поскольку у этого типа КЭ есть ограничения по расположению в расчетном пространстве — они могут находиться только в плоскости, параллельной плоскости X0Z. Сгенерированные горизонтальные стержни рамы, использующие опцию «Вдоль оси Y», этим требованиям не соответствуют.

Промежуточные узлы для приложения нагрузок также можно задать и другим способом, разделив КЭ на части с помощью команды «Разбивка стержня». Этот метод предлагается обучающимся для самостоятельного освоения.

Чтобы завершить построение рамы, удалим лишние стержневые КЭ с номерами 1, 3, 4, 5, 7, 13, 15, 17 и 18. Для этого используем команду «Удаление элементов», иконка которой расположена на инструментальной панели препроцессора во вкладке «Узлы и элементы», являющейся основной для работы с инструментами геометрического моделирования расчетных схем.

Для удобства на вкладке «Узлы и элементы» есть три раскрывающиеся пиктограммы, в которых размещены иконки для запуска команд редактирования узлов, элементов и специальных элементов (рис. 12). Иконка для удаления КЭ находится в пиктограмме «Элементы» (рис. 13).

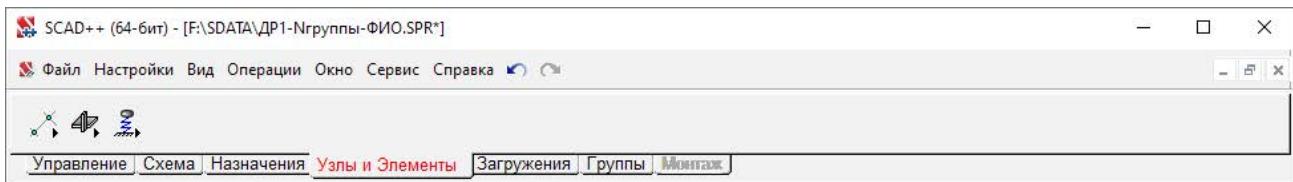


Рис. 12. Вид вкладки «Узлы и элементы» с раскрывающимися пиктограммами для ввода и редактирования узлов, элементов и специальных элементов расчетных схем

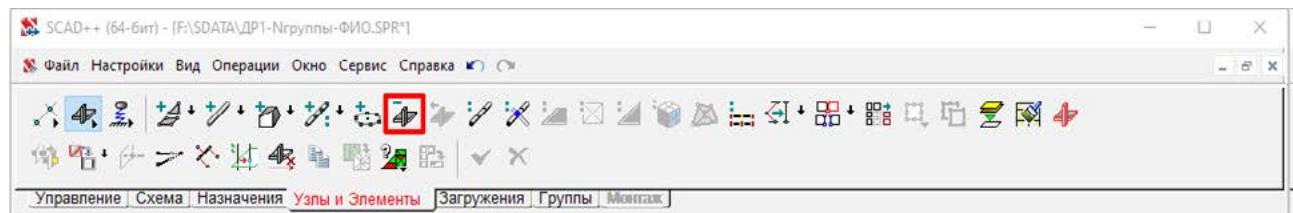


Рис. 13. Расположение иконки «Удаление элементов» на панели инструментов препроцессора SCAD++

Перед удалением лишних элементов сначала необходимо добавить недостающие элементы в нижнюю часть рамы. Это важно, поскольку при удалении стержневых КЭ также будут удалены узлы расчетной схемы, которые потребуются для добавления недостающих элементов рамы. Например, при удалении КЭ с номером 1 удаляется также узел с номером 1, который нужен для расчета (см. вариант 2 схемы прил. 1 и рис. 11). Если необходимо удалить все «лишние» элементы, потребуется заново ввести узел с координатой (0,000). Для добавления в расчетную схему недостающих КЭ используем функцию «Добавление элементов с учетом промежуточных узлов», позволяющую вводить сразу несколько стержней в рамках одной команды. Команда имеет две модификации: «Ввод стержней» и «Ввод последовательности стержней» (рис. 14).

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru