

Маляренко А.А. SCAD Soft (Москва)

Криксунов Э.З. SCAD Soft (Киев)

Интегрированная система для расчета и проектирования конструкций зданий и сооружений SCAD Office

Состав системы и основное назначение ее компонент

Интегрированная система **SCAD Office** представляет собой набор программ, предназначенных для выполнения прочностных расчетов и проектирования различного вида строительных конструкций. В состав системы входят программы четырех видов:

вычислительный комплекс **Structure CAD (SCAD)**, который является ядром пакета и представляет собой универсальную расчетную систему конечноэлементного анализа конструкций, ориентированную на решение задач проектирования зданий и сооружений достаточно сложной структуры;

вспомогательные программы, предназначенные для «обслуживания» SCAD и обеспечивающие формирование и расчет геометрических характеристик различного вида сечений стержневых элементов (**Конструктор сечений, КОНСУЛ, ТОНУС, СЕЗАМ**), определения нагрузок и воздействий на проектируемое сооружение (**ВЕСТ**), вычисления коэффициентов постели, необходимых при расчете конструкций на упругом основании (**КРОСС**), а также препроцессор **ФОРУМ**, используемый для формирования укрупненных моделей и при импорте данных из архитектурных систем;

проектно-аналитические программы **КРИСТАЛЛ, АРБАТ** и **КАМИН**, которые предназначены для решения частных задач проверки и расчета элементов стальных, железобетонных и каменных конструкций в соответствии с требованиями нормативных документов (СНиП, ДБН, Eurocode и т.п.);

проектно-конструкторские программы **КОМЕТА** и **МОНОЛИТ**, предназначенные для разработки конструкторской документации на стадии детальной проработки проектного решения.

Вычислительный комплекс Structure CAD

Вычислительный комплекс Structure CAD (SCAD) реализован как система прочностного анализа и проектирования конструкций на основе метода конечных элементов и позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкций от статических и динамических воздействий, а также выполнить ряд функций проектирования элементов конструкций.

Проект

В основу комплекса положена система функциональных модулей, связанных между собой единой информационной средой. Эта среда называется проектом и содержит полную информацию о расчетной схеме, представленную во внутренних форматах комплекса. В процессе формирования расчетной схемы проект наполняется информацией и сохраняется на диске в файле (с расширением SPR). Имена проекта и файла задаются при создании новой схемы.

Исходные данные для выполнения расчета могут быть подготовлены как с помощью интерактивных графических средств, так и путем их описания в текстовом формате. Текстовый файл является удобным форматом для хранения данных. Он хорошо поддается сжатию с помощью известных программ архивации и при необходимости может быть преобразован в форматы стандартного проекта комплекса SCAD. Второй привлекательной чертой текстового формата является его совместимость с DOS-версией

комплекса, что позволяет использовать его при проведении проверочных расчетов ранее спроектированных объектов.

Следует отметить, что в существующей версии комплекса вся входная информация, необходимая для выполнения подавляющего большинства практических расчетов, может быть подготовлена в “графике” и к тестовому описанию приходится прибегать только при выполнении уникальных расчетов.

Функциональные модули

Функциональные модули SCAD делятся на четыре группы. В первую группу входят модули, обеспечивающие ввод исходных данных в интерактивном графическом режиме (графические препроцессоры) и графический анализ результатов расчета (графический постпроцессор).

Модули второй группы служат для выполнения статического и динамического расчетов (процессор), вычисления расчетных сочетаний усилий, комбинаций загружений, главных и эквивалентных напряжений, реакций, нагрузок от фрагмента схемы, а также анализа устойчивости, построения спектров ответа и амплитудно-частотных характеристик узлов. Эти модули условно называются расчетными постпроцессорами.

Все функциональные модули реализованы в единой графической среде. Интерфейс, сценарии взаимодействия пользователя с системой, функции контроля исходных данных и анализа результатов полностью унифицированы, что обеспечивает минимальное время освоения комплекса и логичную последовательность выполнения операций.

Структура комплекса и оперативные связи между его компонентами внутри трех относительно независимых разделов (Подготовка исходных данных, расчет, анализ результатов) показана на рисунке 2.

Процессор и библиотека конечных элементов

Высокопроизводительный процессор позволяет решать задачи статики и динамики с большим количеством степеней свободы (до 392000). Расчет сопровождается подробным протоколом, который может быть проанализирован как по ходу выполнения расчета, так и после его завершения. Система контроля исходных данных выполняет проверку расчетной схемы и фиксирует все обнаруженные ошибки и предупреждения.

Библиотека конечных элементов содержит различные виды стержневых элементов, включая шарнирно-стержневые, рамные, балочного роставерка на упругом основании, позволяет учитывать сдвиг в сечении стержня. Пластинчатые элементы, которые представлены трех- и четырехузловыми элементами плит, оболочек и балок-стенок, могут содержать дополнительные узлы на ребрах и обеспечивают решение задач для материалов с различными свойствами (с учетом ортотропии, изотропии и анизотропии). Кроме того библиотека включает различные виды объемных элементов, набор трех- и четырехузловых многослойных и осесимметричных конечных элементов, а также специальные элементы для моделирования связей конечной жесткости, упругих связей и другие.

Графические средства формирования расчетной схемы

В комплексе SCAD реализованы два вида графических модулей создания расчетных схем. К ним относятся традиционный для конечноэлементных систем графический препроцессор, в котором основным «строительным материалом» для формирования расчетной схемы являются конечные элементы, и препроцессор ФОРУМ для формирования укрупненных моделей.

В традиционном препроцессоре предусмотрена широкая гамма средств для создания моделей, которые включают функции формирования схем по параметрическим прототипам конструкций, генерации сеток элементов на плоскости и в пространстве, копирования фрагментов схем, сборки из подсхем и групп, различные функции геометрических преобразований. В режиме графического диалога задаются все основные параметры схем, включая жесткостные характеристики элементов, условия опирания и примыкания, статические и динамические нагрузки и др. Графический интерфейс максимально приближен именно к технологии создания и модификации расчетных схем и учитывает особенности обработки информации этого вида.

В комплекс включены параметрические прототипы многоэтажных и одноэтажных рам, ферм с различным очертанием поясов и решеток, балочные ростверки, а также поверхности вращения (цилиндр, конус, сфера и тор). В процессе их формирования могут быть автоматически назначены условия опирания, типы и жесткости конечных элементов.

Специальные средства предусмотрены для создания расчетных моделей, поверхность которых описывается аналитически. Эти средства позволяют автоматически генерировать сетку элементов на поверхности, заданной как функция двух и трех переменных. Для формирования произвольных сеток на плоскости используется автоматическая триангуляция, с помощью которой сетка может быть нанесена на любую область расчетной схемы.

Укрупненные расчетные модели и связь с другими системами

Формирование расчетной схемы или ее части может быть выполнено и на основе информации, импортируемой из таких популярных архитектурных систем как **ALLPLAN**, **ArchiCAD** и **МАЭСТРО**, систем проектирования стальных конструкций, например, **StruCAD**, **HyperSteel**, **RealSteel**, а также путем импорта файлов в форматах DXF и DWG системы **AutoCAD** и ряда других форматов.

Очевидно, что архитектурная модель не может быть полностью автоматически преобразована в расчетную схему. Это обусловлено наличием в ней "архитектурных излишеств", которые не являются элементами расчетной модели и не влияют на результаты расчета, не всегда аккуратным сопряжением элементов модели, отсутствием данных об условиях примыкания и опирания элементов, нагрузках, материалах и т.п. Трудоемкость доведения полученной в результате импорта модели до уровня расчетной схемы чаще всего зависит от согласованности действий архитектора и конструктора на стадии создания архитектурной модели.

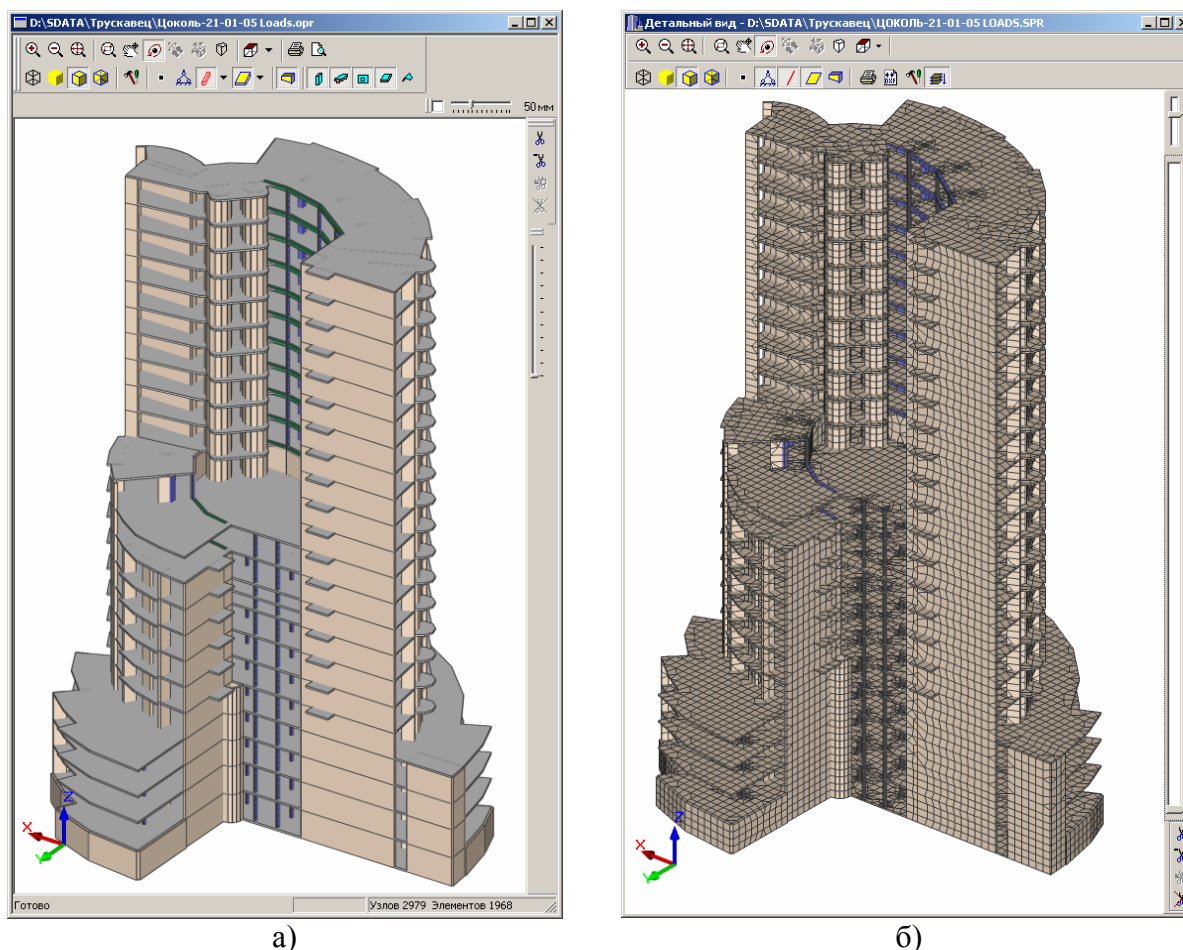


Рис. 1

Для упрощения этого процесса в состав вычислительного комплекса SCAD включен специальный препроцессор ФОРУМ, в котором для формирования расчетной модели используются объекты, максимально приближенными по назначению и наименованию к объектам архитектурной модели. К ним относятся колонны, балки, перекрытия, стены и крыши. Представление геометрии расчетной схемы в препроцессоре ФОРУМ (рис. 1а) обеспечивает возможность как создания структурированной расчетной модели из укрупненных элементов, так и сохранения структуры объекта, заданной в архитектурной модели, а также передачу структуры объекта в конечноэлементный препроцессор комплекса SCAD, используя для этого автоматическое преобразование (триангуляцию) укрупненной модели в расчетную схему метода конечных элементов и механизм групп (рис 1б).

Группы

Особую роль при формировании расчетной схемы и анализе результатов играют группы узлов и элементов. Группы – это именованные наборы узлов или элементов, которые могут неоднократно использоваться для выполнения различных операций. Процесс объединения объектов в группы полностью регулируется пользователем. Это могут быть характерные участки конструкции, например, междуэтажные перекрытия, элементы пространственного каркаса, стены или другие наборы объектов. Главное, что группы доступны на всех этапах работы со схемой – при формировании модели, анализе и документировании результатов расчета. Графическая среда построена таким образом, что всегда можно локализовать информацию в рамках одной или нескольких групп узлов и элементов.

Фильтры

В последнее время наметилась тенденция, связанная с усложнением расчетных моделей и, как следствие, увеличением количества узлов и элементов в расчетных схемах. Существенное увеличение размерности задач потребовало пересмотра главных критериев эффективности процесса и методов создания расчетных схем, а также анализа результатов расчета. В условиях столь больших и насыщенных схем естественным стал перенос акцентов от функций формирования (хотя их роль несколько не снизилась) к функциям контроля созданной схемы. Главную роль здесь играет реализованная в SCAD развитая система фильтров, с помощью которых устанавливаются правила отображения информации на схеме, а также функции визуализации и фрагментации схемы. Фильтры позволяют отобрать для отображения информацию о расчетной схеме по десяткам критериев. При этом широко используются цветовые средства отображения информации, которые совместно с фрагментацией позволяют “добраться” до любых параметров независимо от размерности модели.

Графический постпроцессор

В больших расчетных моделях объемы возможной результирующей информации, как правило, намного превышают возможности человека по ее осмыслению и анализу. Поэтому здесь наряду с решением чисто технических задач по улучшению временных факторов (реакция системы на запрос пользователя или время удаления линий невидимого контура при построении изолиний и изополей) проявляются проблемы, связанные с поиском среди тысяч элементов и узлов объектов с критическими для данной задачи значениями анализируемого фактора. Реализованные в комплексе система фильтров, функции фрагментации и настраиваемые цветовые шкалы обеспечивают оперативный доступ ко всем видам результирующей информации. Важно, что при этом имеется возможность выделить ту часть расчетной схемы, на которой реализовались результаты (усилия, перемещения) из заданного диапазона величин, “отодвинув в тень” остальную часть схемы.

Результаты расчета могут быть представлены в виде схем перемещений и прогибов, эпюр, изолиний и изополей. Одновременно на схему могут выводиться и числовые значения факторов. Для статических и динамических загрузений предусмотрена возможность анимации процесса деформирования схемы и записи этого процесса в формате видеоклипа (AVI). Любая графическая информация может выводиться на печать или сохраняться в формате Windows метафайла (WMF). Наряду с результатами расчета средства графического анализа позволяют отобразить на схеме в виде эпюр (для стержневых элементов) или изолиний и изополей (для пластин) результаты работы модуля подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций, включая такую информацию, как площадь арматуры в заданном направлении, ширину раскрытия трещин, процент армирования и др. Это приближает форму представления результатов к привычному для инженера виду и создает для него дополнительный комфорт.

Документирование результатов

Модули документирования результатов расчета позволяют сформировать таблицы с исходными данными и результатами в текстовом формате или графическом формате, а также экспортировать их в **MS Word** или **MS Excel**. Формирование таблиц выполняется с учетом групп узлов и элементов, таблицы можно дополнить комментариями и включить в них графическую информацию. Таким образом, отчетный документ может редактироваться средствами MS Word и приобретать удобную для конкретного пользователя форму (например, в соответствии с принятым в его фирме стандартом), а экспорт в MS Excel дает возможность последующей нестандартной обработки результатов применительно к конкретным обстоятельствам использования.

Проектно-аналитические программы

Проектно-аналитические программы КРИСТАЛЛ, АРБАТ и КАМИН предназначены для выполнения проверок и расчета элементов и соединений стальных железобетонных и каменных конструкций на соответствие требованиям нормативных документов. Связь с ВК SCAD осуществляется путем передачи значений расчетных сочетаний усилий конкретного элемента.

Программа КРИСТАЛЛ

Программа (рис 2) предназначена для выполнения проверок элементов и соединений стальных конструкций на соответствие требованиям СНиП II-23-81* “Стальные конструкции. Нормы проектирования”. Кроме того, при создании программы использовались связанные со СНиП II-23-81* государственные стандарты, а также “Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / ЦНИИСК им. Кучеренко”.

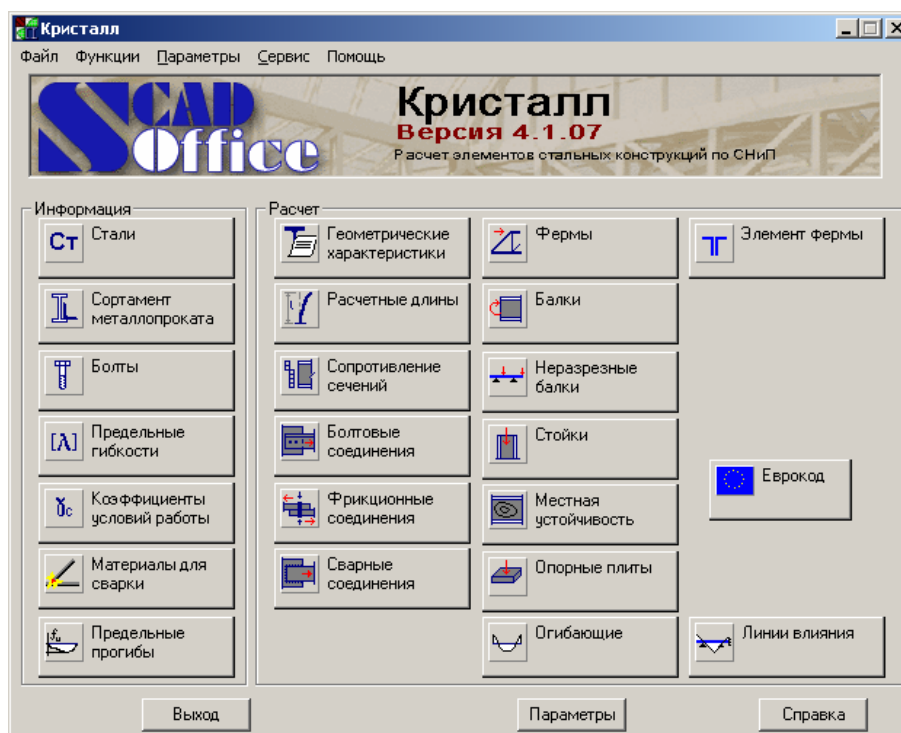


Рис. 2

Программа АРБАТ

Программа (рис. 3) предназначена для подбора и проверки существующей арматуры в элементах железобетонных конструкций (неразрезные балки и колонны), а также для вычисления прогибов в железобетонных балках согласно требованиям СНиП 2.03.01-84* “Бетонные и железобетонные конструкции”. Расчет выполняется по предельным состояниям первой и второй группы для расчетных сочетаний усилий (PCY), выбираемых автоматически в зависимости от заданных нагрузок в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85* “Нагрузки и воздействия”. Подбор и проверки выполняются для железобетонных конструкций из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов с применением арматурной стали класса А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI, А400С и А500С, а также арматурной проволоки класса ВР-I.

Заканчивается отладка модулей, реализующих проверки элементов конструкций согласно указаниям СНиП 52-01-2003 и рекомендациям СП 52-101-2003.



Рис. 3

Программа КАМИН

Программа (рис. 4) предназначена для выполнения конструктивных расчетов и проверок элементов каменных и армокаменных конструкций на соответствие требованиям СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции». При ее создании использовались связанные со СНиП II-22-81 и предыдущей редакцией норм проектирования руководства и пособия.

В состав проверяемых элементов включены центрально и внецентренно нагруженные столбы различного поперечного сечения в плане, рядовые, клинчатые и арочные перемычки, наружные и внутренние стены здания с проемами и без проемов, стены подвалов.

Кроме проверки общей прочности и устойчивости элементов выполняется экспертиза местной прочности в местах опирания балок, прогонов и других элементов на стены и столбы.

Экспертиза выполняется как для неповрежденных конструктивных элементов, так и для элементов, имеющих трещины в каменной кладке и огневые повреждения вследствие воздействия температуры (например, в результате пожара).

Решается задача проверки несущей способности центрально и внецентренно нагруженных элементов, усиленных стальными обоями, а также стен, ослабленных дополнительно образованными проемами.

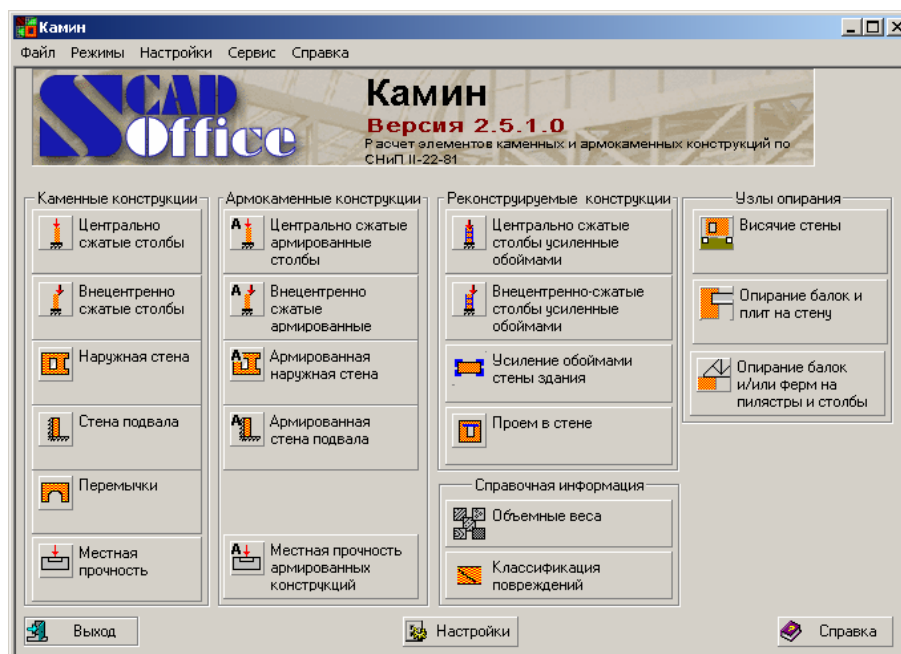


Рис. 4

Проектно-конструкторские программы

Проектно-конструкторские программы **МОНОЛИТ** и **КОМЕТА** служат для разработки конструкторской документации на стадии детальной проработки проектного решения.

Программа МОНОЛИТ

Программа предназначена для проектирования железобетонных монолитных ребристых перекрытий, образованных системой плит и балок, опирающихся на колонны и/или стены, и разработана в соответствии с требованиями действующих норм.

Общая схема перекрытия компонуется на ортогональной сетке узлов, имеющих последовательную нумерацию. Плиты перекрытия постоянной толщины приняты расположенными в уровне верхней или нижней граней балок. Балки прямоугольного сечения подразделяются на второстепенные, воспринимающие равномерно распределенную нагрузку от плит перекрытия, и главные, несущие нагрузку от второстепенных балок перпендикулярного направления. Опорами перекрытия служат несущие стены здания и/или колонны монолитного каркаса.

Результатом работы программы является необходимый комплект рабочих чертежей перекрытия: опалубочный план с характерными сечениями, планы верхней и нижней арматуры плиты (раскладка арматурных сеток), арматурные чертежи балок, чертежи сварных каркасов и сеток, использованных для армирования плит и балок, ведомость деталей, ведомости расхода стали по балкам, плитам и сводная, а также спецификации по балкам, плитам и сводная, приводятся необходимые примечания. Предусмотрена полная унификация арматурных изделий.

Все выходные документы готовятся в стандартных форматах большинства используемых печатающих устройств А3 и А4. Но можно выводить их и на устройства другого формата, а также плоттер. Для доработки выходных документов предусмотрена возможность импорта результатов в форматы DXF-файлов системы AutoCAD.

Программа КОМЕТА

Программа предназначена для расчета и проектирования узлов стальных конструкций зданий и сооружений. Реализован подход, в котором при проектировании используется набор параметризованных конструктивных решений узлов (прототипов). В процессе проектирования параметры прототипов изменяются в зависимости от заданных условий применения (усилий, материала и т.п.) и установленных норм проектирования.

Основной задачей, решаемой программой, является получение технического решения узла, соответствующего выбранному варианту норм проектирования, которое удовлетворяет заданным условиям применения. Результатом работы является чертеж узла и данные о прочности его отдельных элементов (деталей конструкции, сварных швов, болтов и т.д.). Последние дают возможность пользователю оценить качество полученного технического решения и, при желании, изменить некоторые из параметров конструкции.

Вспомогательные программы

Программа Конструктор сечений

Программа предназначена для формирования произвольных составных сечений из стальных прокатных профилей и листов, а также расчета их геометрических характеристик, необходимых для выполнения расчета конструкций. Вычисления выполняются по обычным правилам сопротивления материалов, при этом момент инерции при свободном кручении приближенно определен как сумма моментов инерции свободного кручения профилей, составляющих сечение.

Результаты расчета геометрических характеристик могут экспортироваться в вычислительный комплекс SCAD, а также в программу КРИСТАЛЛ.

Программа КОНСУЛ

Программа предназначена для формирования произвольных сечений, а также расчета их геометрических характеристик, исходя из теории сплошных стержней.

В результате расчета могут быть получены следующие основные характеристики — площадь поперечного сечения, значения моментов инерции, радиусы инерции, моменты сопротивления, крутильные и секториальные характеристики, координаты центра изгиба.

Программа ТОНУС

Программа предназначена для формирования сечений, а также расчета их геометрических характеристик, исходя из теории тонкостенных стержней.

Графические интерактивные средства обеспечивают формирование произвольных (в том числе открыто-замкнутых) тонкостенных сечений. В программе предусмотрен импорт сечений из файлов форматов DXF и DWG, а также работа с параметрическими сечениями, заданными пользователем.

В результате расчета могут быть получены следующие основные характеристики — площадь поперечного сечения, значения моментов инерции, радиусы инерции, моменты сопротивления, крутильные и секториальные характеристики, координаты центра изгиба.

Программа СЕЗАМ

Программа предназначена для поиска сечения типа коробка, двутавр, тавр или швеллер, наиболее близко аппроксимирующего заданное произвольное сечение по геометрическим характеристикам. Учитывая, что все нормативные документы ориентированы на проверку сечений только определенного типа, полученное в результате аппроксимации сечение может быть использовано в расчетных программах для учета упругопластической стадии работы, проверки устойчивости плоской формы изгиба, выпучивания из силовой плоскости и других проверок.

Исходное сечение может быть задано как файл, полученный в результате работы программ Конструктор сечений, КОНСУЛ и ТОНУС, набором геометрических характеристик или как составное сечение из предлагаемого в программе набора прототипов (например, два швеллера, два двутавра, и т.д.).

Для заданного сечения аппроксимируются следующие характеристики — площадь, главные моменты инерции, моменты сопротивления.

Программа КРОСС

Программа (рис. 5) предназначена для определения коэффициентов постели для расчета фундаментных конструкций на упругом винклеровском основании на основе моделирования работы многослойного грунтового массива. Геологическая структура грунтового массива предполагается произвольной и восстанавливается по данным инженерно-геологических изысканий. Рассматривается площадка строительства, на которой расположены проектируемое сооружение и другие объекты, влияющие на него в том смысле, что нагрузки на грунт, передаваемые этими объектами, могут привести к осадкам проектируемого фундамента.

Результатом работы программы являются значения коэффициентов постели в любой точке основания проектируемого сооружения. Предусмотрены режимы автоматической передачи геометрии основания из комплекса SCAD и возврат результатов расчета в комплекс.

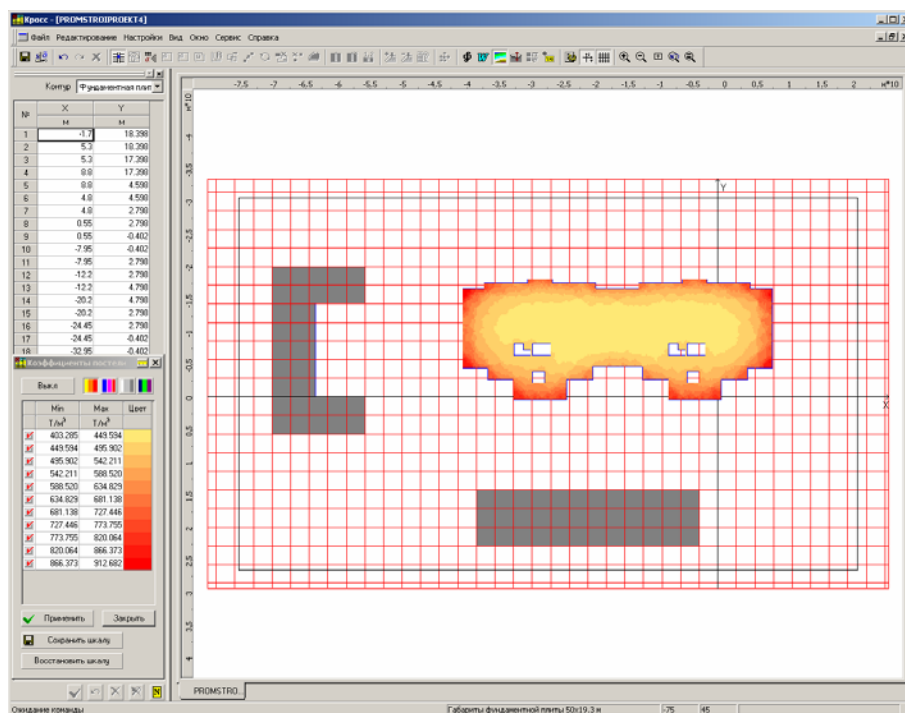


Рис. 5

Программа ВЕСТ

Программа (рис. 6) предназначена для выполнения расчетов, связанных с определением нагрузок и воздействий на строительные конструкции в соответствии с рекомендациями СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия".

Расчетные режимы включают:

Собственный вес — определение значений нагрузки, приходящейся на единицу площади, от собственного веса многослойного пакета из различных материалов;

Временные — определяются значения равномерно распределенных временных нагрузок (полные и пониженные значения) в различных помещениях в соответствии с указаниями таблицы 3 СНиП;

Ветер — вычисление статической и динамической компоненты ветровых нагрузок для сооружений различного типа из числа предусмотренных приложением 4 СНиП;

Снег — вычисление снеговых нагрузок для сооружений различного типа из числа предусмотренных приложением 3 СНиП;

Температура — определение температурных воздействий по СНиП;

Гололед на провода и тросы.

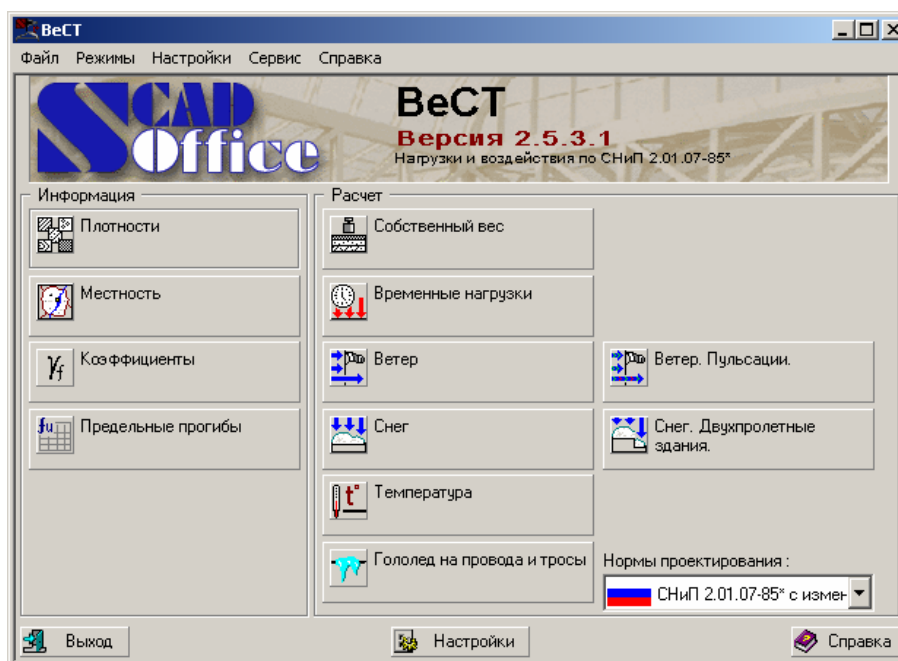


Рис. 6

Таким образом программные компоненты системы SCAD Office могут использоваться практически на всех этапах проектирования конструкций как для выполнения прочностных расчетов, так и для получения отдельных видов проектной документации. Предусмотренные в системе средства обмена данными с другими проектирующими программами позволяют использовать ее в качестве базовой для организации САПР несущих конструкций зданий и сооружений.