



## ArchiCAD – Structure CAD (SCAD)

### Переход от архитектурного решения к расчетной схеме

Создание расчетной схемы для прочностного анализа несущих конструкций зданий и сооружений — задача достаточно сложная. Потому так актуальна автоматизация перехода от архитектурного решения здания к расчетной модели. Использование в архитектурном проектировании специализированных программных систем позволяет задействовать при построении расчетных схем уже имеющиеся архитектурные модели объекта: организуется доступ к архитектурной информации, и на ее основе автоматически строится расчетная схема.

Одним из самых популярных инструментов для архитектурного проектирования стала разработанная фирмой Graphisoft система ArchiCAD. Внутреннее представление данных содержит здесь достаточно информации для построения расчетной модели, а наличие специальных инструментальных средств доступа к этим данным **АС API** (ArchiCAD Application Program Interface) облегчает разработку программ экспорта информации в программы прочностного анализа конструкций. Принятая в ArchiCAD классификация объектов в целом совпадает с их классификацией при выполнении расчетов и конструировании. Разделение на колонны, балки, стены, перекрытия и крыши позволяет достаточно точно представить их аналоги в расчетной модели.

Естественно, расчетная схема — это не копия архитектурного решения, но основные размеры, привяз-

ки колонн и несущих стен, очертания перекрытий, положение проемов и отверстий в основном повторяют заданное архитектором. На основе данных архитектурного решения удастся выполнить автоматизированное построение только укрупненной расчетной модели, фактически — описание геометрии несущих конструкций сооружения. Детальную же расчетную схему на базе этой модели должен создать инженер. Автоматическое построение детальной расчетной схемы (с генерацией, если используется метод конечных элементов, сетки таких элементов) на основе укрупненной возможно — и то не полностью — лишь для очень небольшого числа простых объектов. Связано это с тем, что для расчетной схемы, помимо заимствованных из архитектурного проекта геометрических данных, требуется еще задать условия опирания и примыкания, данные о физико-механических характеристиках материалов, а также сведения о нагрузках. Эта дополнительная информация необходима для выполнения прочностного расчета.

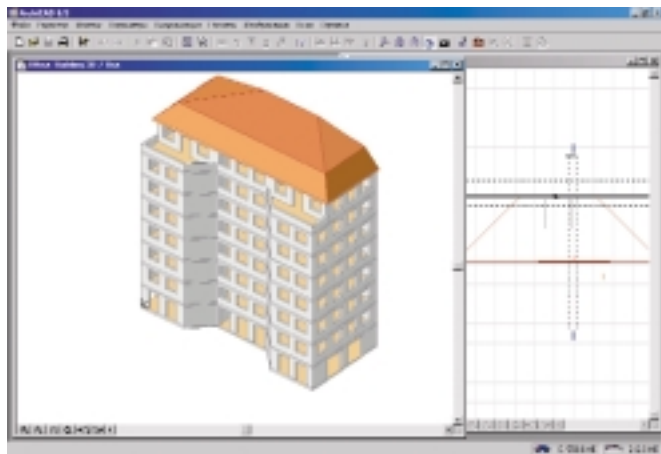
Импорт данных из системы ArchiCAD в SCAD разработан на основе **АС API**. В SCAD формируется файл проекта, содержащий описание укрупненной конструктивной модели здания. В процессе импорта выполняются операции преобразования дугообразных стен в многогранные, а также формирование в них проемов под окна и двери. Переход от архитектурного

решения к расчетной схеме можно представить как следующую последовательность операций:

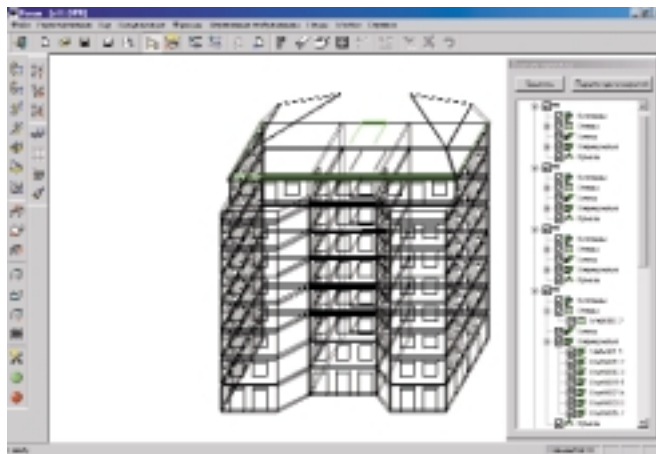
1. построение (на основе внутреннего представления данных архитектурной системы) укрупненной конструктивной модели здания, состоящей из таких объектов, как колонны, балки, стены, перекрытия (плиты) и крыши;
2. удаление из конструктивной модели объектов, которые не включаются в расчетную схему: перегородок, элементов ограждения, архитектурных деталей и т. п.;
3. уточнение, если это необходимо, положения объектов в конструктивной модели и дополнение ее новыми элементами, не учтенными в архитектурном решении;
4. автоматическое или управляемое пользователем построение сетки конечных элементов. Одновременно им назначаются жесткостные характеристики;
5. задание условий опирания и примыкания элементов;
6. ввод нагрузок и специальных исходных данных.

Работа с укрупненной моделью расчетной схемы в SCAD (версия 7.29) реализована следующим образом:

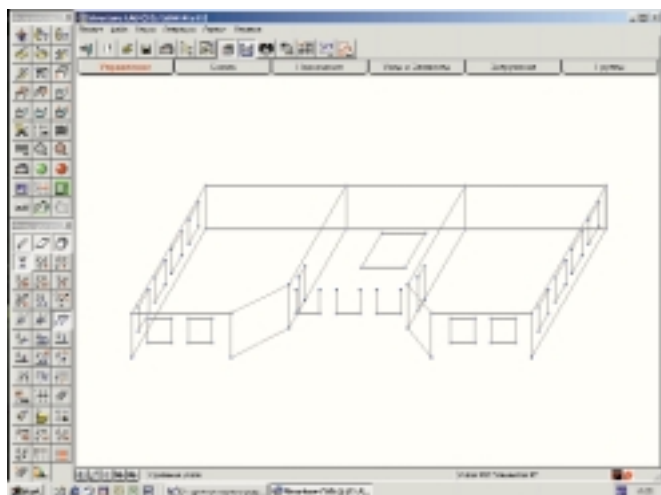
- в препроцессор подготовки данных системы введены специальные типы элементов — стена, перекрытие, крыша, колонна и балка, которые задаются в виде контуров. На каждом из них пользователь имеет возмож-



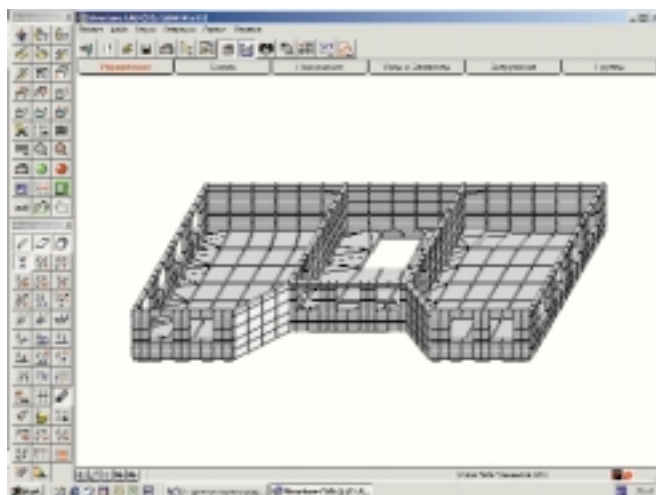
Проект "Office Building" в системе ArchiCAD



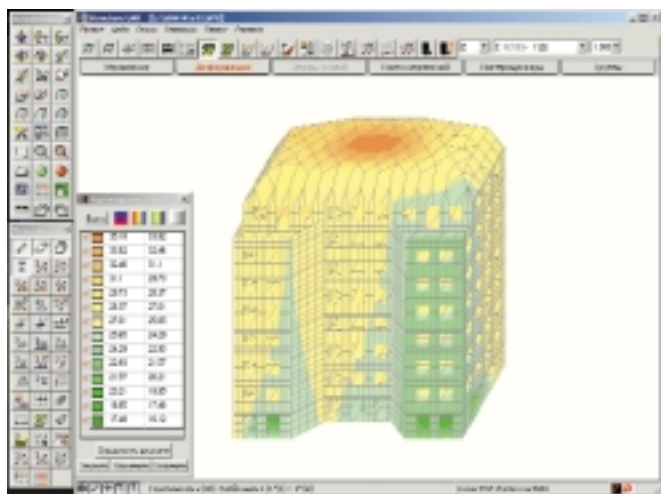
Укрупненная модель проекта в препроцессоре "Форум"



Контурные элементы в препроцессоре комплекса SCAD



Сетка конечных элементов



Изополя перемещений

здания схем из перечисленных выше объектов предусмотрена работа с данными, поступающими из системы ArchiCAD, и автоматизированное построение сетки конечных элементов на всей расчетной схеме.

В проекте "Office Building" построение сетки конечных элементов для стен выполнено путем деления контуров на прямоугольные участки с последующим дроблением их на прямоугольные элементы. Сетка перекрытий сформирована посредством автоматической триангуляции. Рас-

четная схема характеризуется следующими параметрами: количество узлов — 5404, количество элементов — 6061, порядок системы уравнений — 31000, ширина ленты после оптимизации — 1570, время решения задачи — 13 мин. (процессор Pentium II, 350 МГц).

## Препроцессор "Форум"

Об особенностях реализации препроцессора "Форум" в режиме импорта данных из ArchiCAD поговорим подробнее.

Препроцессор реализует объектно-ориентированный подход при формировании многоуровневых моделей из объектов. Структура модели может включать объекты трех уровней — секции, блоки и элементы.

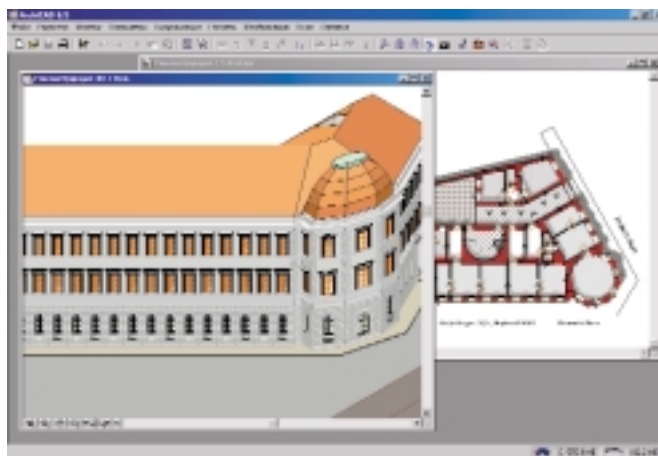
**Секция** — геометрически изолированная часть здания или сооружения, имеющая собственную сис-

тность сгенерировать сетку конечных элементов;

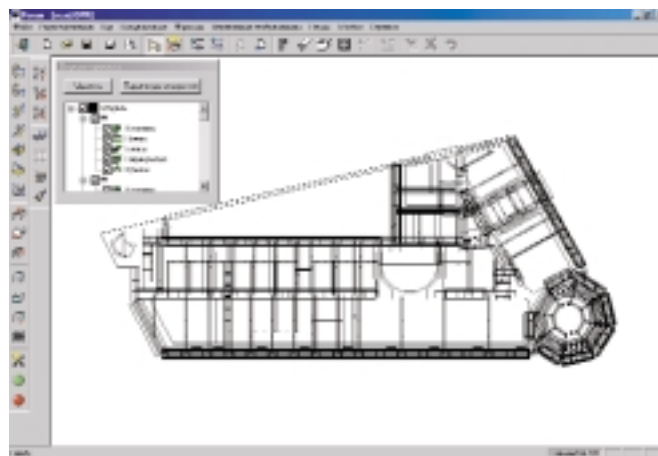
- создан специальный препроцессор "Форум" (формирование укрупненных моделей), где наряду с собственными средствами со-

полнено путем деления контуров на прямоугольные участки с последующим дроблением их на прямоугольные элементы. Сетка перекрытий сформирована посредством автоматической триангуляции. Рас-



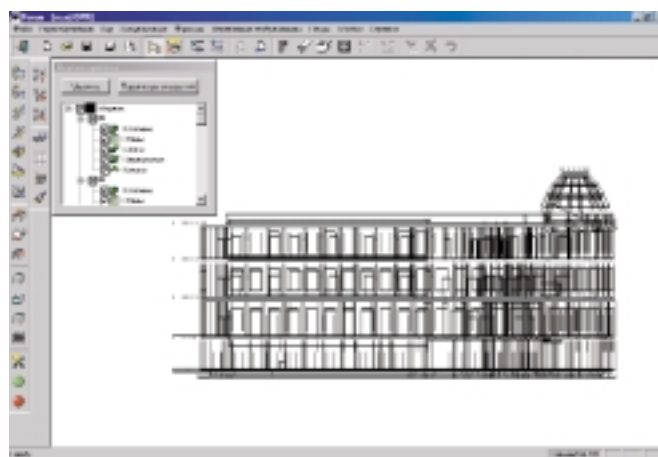


а)



б)

Проект "Реконструкция":  
а) в системе ArchiCAD;  
б) вид сверху в препроцессоре "Форум";  
в) фронтальная проекция в препроцессоре "Форум".



в)

тему координат и разбивочных осей, привязанную к началу общей системы координат здания. Состоит из блоков.

**Блок** — часть секции (как правило, в этом качестве выступает этаж). Начало системы координат блока привязано в местной системе координат секции. Состоит из элементов.

**Элементы** — это элементарные объекты: стена, перекрытие (плита), крыша, балка и колонна. Стены и перекрытия могут иметь проемы и отверстия, привязка которых выполняется в местной системе координат элементов.

В системе ArchiCAD различают два уровня объектов в классификации препроцессора "Форум": этажи (блоки) и элементы. При импорте данных структура модели состоит именно из них.

Для удобства работы с объектами в препроцессоре предусмотрено автоматическое построение дерева проекта — туда записывается каждый новый объект. Структура дерева повторяет структуру модели, что позволяет включать (делать види-

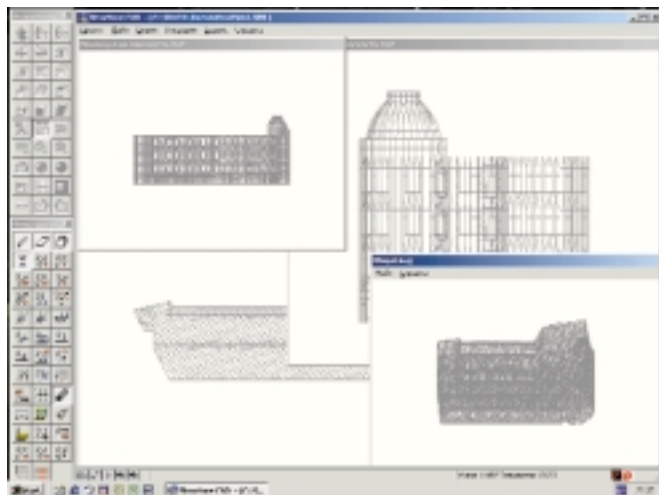
мыми) или исключать из отображения модели любые объекты, а также удалять их или модифицировать, обращаясь к ним непосредственно из дерева. Выбор объекта в дереве одновременно вызывает его цветовую маркировку на отображении модели, что исключает случайные удаление или исправления. Все объекты сохраняют в дереве имена, присвоенные им при создании или в процессе импорта из ArchiCAD.

"Форум" весьма разнообразен в средствах корректировки геометрии объектов (стена, перекрытие, крыша). Эти средства позволяют изменить форму объекта, исключить или добавить проемы и отверстия, изменить их положение, размеры, очертания. При наличии одинаковых этажей можно использовать функции копирования и переноса, что позволяет автоматически повторять на других этажах единовременно внесенные изменения. Если нужно, модель дополняется сеткой разбивочных осей.

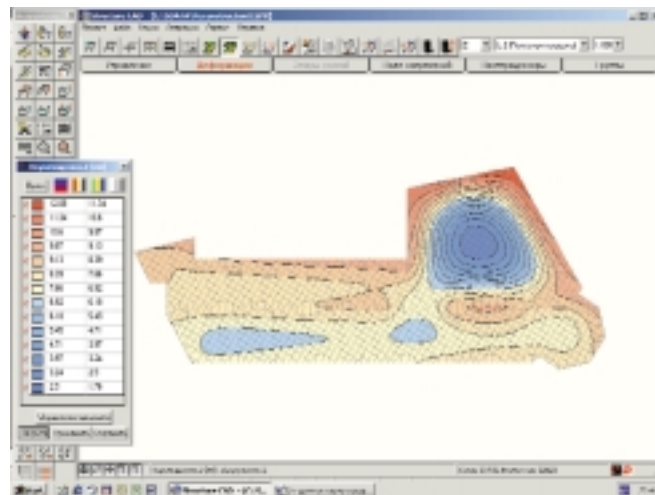
На основе откорректированной модели может быть сформирован стандартный файл проекта комплекса SCAD или файл укрупненной модели. В первом случае выполняется автоматическое построение сетки конечных элементов с заданным шагом, а дальнейшая корректировка схемы и дополнение ее необходимыми данными осуществляется средствами препроцессора комплекса. При передаче в препроцессор файла укрупненной модели операции по формированию сетки конечных элементов выполняются под управлением пользователя.

## Работа с укрупненной моделью в препроцессоре SCAD

Автоматическое формирование сетки конечных элементов не всегда позволяет получить рациональную расчетную схему. Использование для всех объектов схемы единого шага построения сетки часто приводит к неоправданно большим



Расчетная схема, полученная на основании архитектурной модели проекта "Реконструкция"



Изополя перемещений в фундаментной плите

размерам модели. Как следствие, затрудняется контроль исходных данных, увеличивается время счета; невелики в такой ситуации и возможности глубокого анализа результатов. Для анализа наиболее ответственных участков конструкции опытные расчетчики гибко используют возможность локального сгущения сетки. И применяют весьма крупные конечные элементы на тех участках, для которых главным является, например, сбор нагрузок.

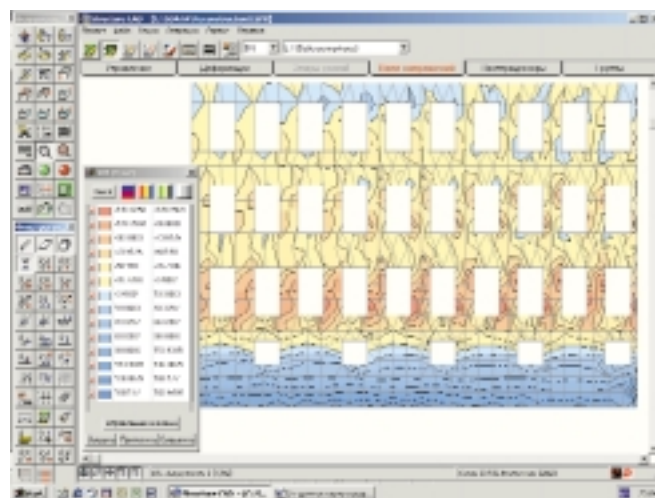
Для реализации такого дифференцированного подхода в препроцессоре предусмотрен режим преобразования плоскостных объектов типа стена, перекрытие (плита) и крыша в контурные элементы, которые могут иметь произвольную конфигурацию и включать отверстия любой формы. В режиме генерации сетки конечных элементов для каждого контура может быть назначен свой шаг разбиения — при этом узлы, попавшие на границы смежных контуров, автоматически включаются в процесс формирования сетки. В препроцессоре предусмотрены и другие методы построения сеток: например, контур может быть разделен на прямоугольные участки, каждый из которых дробится на прямоугольные элементы.

При формировании расчетной схемы проекта "Реконструкция" использовано автоматическое построение сетки конечных элемен-

тов с постоянным шагом (шаг сетки 0,7 м). Расчетная схема характеризуется следующими параметрами: количество узлов — 11492, количество элементов — 12623, порядок системы уравнений — 57457, ширина ленты после оптимизации — 1460, время решения задачи — 50 мин. (процессор Pentium II, 350 МГц).

## Перспективы развития

В первую версию программы импорта не вошли функции подрезки стен по линиям пересечения с крышами, автоматическое сведение этажей в случаях, когда расстояние между ними на укрупненной модели определяется толщиной перекрытия. Эти функции будут реализованы в следующих версиях программы. Открытыми остаются вопросы импорта многоугольных (полигональных) в плане стен, некоторых элементов библиотеки объектов (например, колонн и балок из прокатных профилей). Развиваются функции автоматической генерации сетки, включая специальные методы разбиения в местах



Изополя нормальных напряжений (фрагмент стены)

опирания колонн на перекрытия и плиты.

## От авторов

Авторы выражают благодарность сотрудникам фирмы Graphisoft роспоже Judit Sliz, росподам Attila Bardos и Gabor Jasz за внимание и квалифицированные консультации при разработке программы импорта.

Е. Зеливянский,  
В. Карпиловский,

Э. Криксунов  
SCAD SOFT

Тел.: (095) 261-3510

E-mail: [scad-soft@mtu-net.ru](mailto:scad-soft@mtu-net.ru)

Internet: <http://www.scadgroup.com>