

УДК 69:004.65

С.А. Синенко, Г.Г. Малыха, М.С. Вайнштейн, О.Б. Гусева

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В САПР

Определены задачи в области разработки и моделирования САПР, обозначая основные методы формализации, используемые в строительном проектировании. Рассмотрен процесс разработки программного и информационного обеспечения для таких систем.

Ключевые слова: строительство, САПР, системы обработки данных, программное обеспечение для САПР, информационное обеспечение для САПР.

Задачи разработки и моделирования в САПР. Отечественные программные разработки строительного направления вначале были посвящены решению сложных вычислительных задач (строительной механики, теплофизики и др.) численными методами, и только позже (примерно с 1980-х гг.) были начаты разработки собственных программных продуктов в области система автоматизации проектирования (САПР). Поэтому математическое обеспечение отечественных систем обычно опережало разработки в области графического ввода-вывода информации, диалога и геометрического моделирования. Этому способствовало сравнительно четкая алгоритмизация вычислительных задач и вынужденное изолирование разработчиков отечественных систем от зарубежных достижений в области аппаратного обеспечения.

Теория построения и разработки САПР интенсивно развивалась в последние десятилетия трудами отечественных и зарубежных ученых, среди которых можно назвать имена В.М. Глушкова, Э.П. Григорьева, А.А. Гусакова, И.П. Норенкова, А.И. Петренко, П. Хилла, М. Принса, Дж. Аллана, К. МакКаллума и др. С научных позиций рассматривались вопросы анализа процессов проектирования, структуры и общих принципов построения САПР, разработки различных видов обеспечения САПР. В зарубежных исследованиях большое внимание уделялось графическим подсистемам САПР.

Автоматизированные системы, создаваемые для различных видов деятельности (в т. ч. для строительного проектирования), содержат организационное, техническое, информационное, программное, математическое, а в ряде случаев также методическое, метрологическое, правовое и лингвистическое обеспечение. В ряде случаев практическое развитие отдельных видов обеспечения (например, технического) опережает научные разработки, и некоторые достижения устаревают «на глазах». Так, в свое время много сил было потрачено на оптимизацию алгоритмов и программ с точки зрения экономного расходования памяти и уменьшения времени расчетов. В связи с резким ростом технических характеристик компьютеров (удвоение за каждые полтора года) эти исследования во многом потеряли актуальность.

Достаточно сложными и ответственными этапами являются разработка всех видов обеспечения САПР, однако для конкретных приложений, в частности, для строительства, наиболее важными следует считать информационное, программное и лингвистическое обеспечение.

При разработке *программного* обеспечения САПР решаются вопросы:

внутренней архитектуры программного обеспечения;

применения методов организации программирования (подпрограммного, иерархического, объектно-ориентированного);

применения геометрической модели и основных алгоритмов обработки геометрических данных (аффинных преобразований, закраски, расчета сплайнов, удаления невидимых линий и пр.);

применения расчетных методов и алгоритмов;

проектирования интерактивного диалога с пользователем, системы аварийных и предупреждающих сообщений;

выбора структуры справочной системы и др.

При разработке *информационного* обеспечения решаются вопросы:

описания предметной области;

составления инфологической модели процесса проектирования;

проектирования структуры исходных, временных и постоянно используемых данных;

авторизации и доступа к данным;

экспорта и импорта данных.

При разработке *лингвистического* обеспечения решаются вопросы:

выбора языка программирования основных модулей;

разработки управляющего языка для общения человека с компьютером;

выбора протоколов обмена данными между программными модулями, а также между различными составными частями информационной технологии.

Эти задачи являются взаимосвязанными и требуют комплексного системного подхода. В настоящее время наиболее сложными проблемами при разработке САПР являются формализация процесса проектирования, надежность программного обеспечения и совместимость передаваемых данных.

Формализация процесса строительного проектирования. Разработка проектно-сметной документации является одним из важнейших этапов инвестиционного цикла. Хотя по стоимости этот этап невелик (порядка 3...7 % общих инвестиций), но по протяженности он самый значительный, так как начинается задолго до строительства и заканчивается практически одновременно с ним. Согласно нормативным документам по строительству, проектирование осуществляется в одну (рабочий проект) или в две стадии (проект и рабочая документация). Учитывая сложности с экспертизой проекта и возрастание объема предпроектных проработок, на практике намечается тенденция к двухстадийному проектированию.

При появлении идеи инвестиций составляется бизнес-план, служащий для предварительного обоснования необходимого объема инвестиций, кредитов и общей оценки эффективности проекта для инвестора. Затем составляется ходатайство о намерениях инвестиций в строительство, которое подается в местные органы власти. После получения разрешения на строительство выполняется обоснование инвестиций.

Следует отметить, что в нормативной литературе имеются разночтения по поводу места и роли бизнес-плана в структуре инвестиционного цикла. Так, в СП 11-101-95 указывается, что бизнес-план выполняется по итогам обоснования инвестиций. В «Правилах организации строительных работ в Москве» бизнес-план входит в состав проектной документации как раздел по обоснованию экономической целесообразности инвестирования строительства объекта.

В соответствии с действующим законодательством по градостроительству на *предпроектном* этапе оформляются права на выбранный земельный участок, согласовывают вид его разрешенного использования, получают технические условия на подключение к сетям инженерного обеспечения, составляют градостроительный план земельного участка. При этом проводятся предварительные градостроительные и архитектурно-строительные проработки, определяются ориентировочные технико-экономические показатели объекта и условия инженерного обеспечения объекта.

На этапе *проектирования* составляется проектная документация: рабочий проект с выделением утверждаемой части либо проект (в составе генерального плана, архитектурно-строительных решений, решений по инженерному оборудованию, системам и сетям, сметной документации и других разделов). Рабочая документация выполняется в соответствии со стандартами систем проектной документации для строительства (СПДС); значительную долю в ее составе составляют рабочие чертежи железобетонных и металлических конструкций и инженерных сетей.

Понятие «проектно-изыскательские работы» (ПИР) охватывает много разновидностей. Примерный перечень видов проектно-изыскательских работ (по данным Федерального лицензионного центра) приведен в таблице.

Основные виды проектно-изыскательских работ

Вид деятельности	Содержание работ
Инженерные изыскания для строительства	Работы по созданию опорных и съемочных геодезических сетей; топографические съемки, специальные инженерно-геодезические и топографические работы; инженерно-гидрографические работы; геодезические работы, связанные с технологией строительства и эксплуатацией зданий и сооружений; инженерно-геологические изыскания; инженерно-гидрометеорологические изыскания; инженерно-экологические изыскания и др.
Архитектурная деятельность	Архитектурное проектирование зданий и сооружений; проектирование генеральных планов объектов застройки; архитектурная планировка городов, садов и парков, объектов благоустройства; оформление интерьеров зданий
Разработка градостроительной документации	Разработка территориальных комплексных схем развития территорий; разработка генеральных планов городских и сельских поселений; разработка схем и проектов развития инфраструктуры; разработка проектов планировки, застройки, благоустройства и др.
Геодезическая и картографическая деятельность	Сбор и обработка материалов инженерных изысканий; ведение планов существующей застройки; инвентаризация земель и объектов недвижимости; картографо-геодезические работы
Деятельность по проектированию зданий и сооружений	Архитектурно-строительное проектирование зданий и сооружений; строительное конструирование (фундаменты, несущие и ограждающие конструкции); технологическое проектирование для различных отраслей; проектирование инженерных сетей и коммуникаций (вентиляция и кондиционирование, водоснабжение и канализация, отопление, теплоснабжение, газоснабжение, холодоснабжение, электроснабжение, автоматизация и КИП, связь, радио, телевидение, системы наружного и внутреннего видеонаблюдения и контроля, системы охранной и пожарной сигнализации, механизация и внутриобъектный транспорт, ливневая канализация и дренажные системы); обследование технического состояния зданий и сооружений и др.
Осуществление функций генпроектировщика	Оформление исходно-разрешительной документации; разработка инвестиционных намерений и обоснований; координация разработки проектной документации; разработка тендерной документации для подрядных торгов

За рубежом также фактически проводится многостадийное проектирование. При этом организация проектирования подчинена в основном идее своевременного согласования проекта и проведения подрядного тендера. Поэтому организатором проектирования (архитектором) выполняется проект для утверждения и тендерная документация, основная задача которой — правильно определить перечень и объемы работ. Затем разрабатывается рабочая документация, причем зачастую она выполняется силами подрядной (проектно-строительной) организации.

Система САПР строительных объектов отражает сложность и многостадийность проектирования. Схема строительной подсистемы САПР приводится в ряде работ. Например, в некоторых работах под схемой САПР понимается блок-схема выработки проектного решения. Развернуто структура САПР рассматривается как взаимодействие различных подсистем и обеспечения информационной технологии.

В частности, в строительную систему САПР могут входить следующие составные части: ввод исходных данных; общая компоновка объекта; предварительное конструирование, анализ и расчет объекта; детальное конструирование; оценка выбора решений; экономико-организационные разделы; вывод проектной документации.

Из рассмотренного видно, что САПР представляют собой сложные динамические открытые системы. Современный процесс проектирования имеет все основные системообразующие признаки. В частности, целью проектирования является создание высокоэффективной проектно-сметной документации в срок и с минимальным количеством ошибок. Стратегией развития проектирования является внедрение информационных технологий как при разработке документации, так и при организации процесса проектирования. САПР состоит, как правило, из взаимодействующих подсистем, обладающих четко выраженной функциональной специализацией.

Методы разработки программного обеспечения САПР. Для разработки программного обеспечения (ПО) САПР применяются обычно те же языки и методы программирования, что и для разработки прикладного ПО общего назначения. Языки программирования могут быть разделены на следующие группы:

языки операционной системы (применялись, например, для описания заданий при пакетной обработке программ);

машинно-ориентированные языки (например, Ассемблер);

проблемно-ориентированные специализированные языки (например, языки программирования графики, языки взаимодействия с базами данных — SQL, языки обработки текстовой информации в Интернет: Perl и др.);

универсальные процедурные языки высокого уровня (Алгол, Фортран, Паскаль, Си и др., распространенные в 1970—1980 гг.);

объектно-ориентированные языки (Лисп, Smalltalk, Object Pascal, C++, Java, Python и др.).

Программы, составленные на процедурных языках, содержали главную подпрограмму, которая в определенной последовательности вызывала другие подпрограммы (процедуры) и т.д. При большом размере таких программ было неизбежным значительное количество ошибок, а также трудности дальнейшего развития и сопровождения программ. При объектно-ориентированном программировании (ООП) повышается качество разработки программ и улучшается технология их разработки и сопровождения. В частности, программирование отдельных объектов может быть параллельно поручено разным программистам, которые могут не знать о конкретном содержимом других объектов.

Среди методов разработки ПО можно выделить восходящее проектирование (от вспомогательных подпрограмм к главной), нисходящее проектирование (от главной программы к подпрограммам), объектное проектирование (относительно независимая разработка функционирования объектов). При объектном проектировании необходимо предварительное составление так называемого «интерфейса», или «протокола» объектов.

Важное место уделяется организации разработки ПО. В настоящее время программные комплексы разрабатываются зачастую весьма крупными коллективами, состоящими из собственно программистов, специалистов по проверке программ, по маркетингу, по обучению и сопровождению программ, менеджеров и др. При этом программисты могут быть разделены на ведущих специалистов, в задачу которых входит определение структуры классов и спецификации, и рядовых специалистов, которые создают подробную внутреннюю структуру классов и методов.

Для обеспечения надежности ПО применяются специальные средства «управления знаниями», в частности, программные системы, обеспечивающие сохранность программных кодов от случайных изменений самими программистами при модификации программ, например, «SourceSave».

В то же время существующие методы разработки ПО и языки программирования не в полной мере отражают потребности современных САПР. Так, не унифицирована иерархия объектов, даже в такой универсальной области, как топологическое и геометрическое моделирование твердотельных объектов. В связи с этим разработчики решают представление тел каждый раз заново. В языках программирования не существует методов динамического образования классов во время работы программ, что не позволяет организовать полноценную обработку поступающей информации.

Методы информационного обеспечения САПР. Основу информационного обеспечения (ИО) САПР составляют базы данных и их системы управления (СУБД). Поскольку базой данных являются любая упорядоченная и управляемая совокупность данных, то в САПР под базами данных часто имеют в виду как информацию общего пользования (нормативы, библиотеки и т.д.), так и данные о разрабатываемом объекте (например, файл чертежа). В то же время подходы к организации данных в этих двух случаях могут быть различны вследствие различной частоты и различных способов обращения к ним.

Информация в САПР может быть представлена на различных уровнях. Часто выделяют внешний (пользовательский), концептуальный (объективный) и внутренний (физический) уровень представления данных. Концептуальная модель служит промежуточным уровнем между реальной предметной областью и внутренней компьютерной записью. Отметим, что при проектировании баз данных выделяют также концептуальный, логический и физический этапы разработки.

При проектировании ИО существует ряд способов формализации данных, которые сводятся к построению инфологических и даталогических моделей предметной области на внешнем и концептуальном уровне. При этом инфологические (концептуальные) модели являются независимыми от СУБД средствами описания данных. Среди инфологических моделей простейшими являются синтаксические модели, которые реализуют внешнее (формальное) представление единиц данных, не анализируя заложенный в них смысл свойств и отношений объектов. При этом смысловая интерпретация полностью ложится на взаимодействующие с СУБД программы-приложения. К «классическим» синтаксическим моделям относятся иерархические, сетевые (графовые) и реляционные (табличные) модели.

Современные СУБД обычно поддерживают базы данных *реляционного типа* (РБД) вследствие высокой скорости обращения и устоявшихся стандартизованных методов запроса. Однако для целей автоматизированного проектирования РБД мало пригодны. В частности, большие трудности вызывает хранение топологических и геометрических данных, поскольку соотношение количества точек, граней, поверхностей в объекте произвольно меняется и компактную систему таблиц, содержащих эти данные построить невозможно.

Более «интеллектуальными» являются модели *семантического класса*. Они характеризуются наличием средств выражения семантических отношений между объектами, таких, как сущность, связь, свойство и др. Близкими к семантическим моделям можно считать объектно-ориентированные базы данных (ООБД), которые хранят данные в виде объектов. У ООБД нет такого математического аппарата, каким являлась теория множеств у реляционных СУБД. Поэтому какой-либо единой теоретической модели ООБД до настоящего времени не создано, однако имеются различные коммерческие приложения (например, ООБД ObjectStore фирмы Object Design, GemStone фирмы Servio Logic, O2 консорциума Altair, ORION фирмы MCC и др.).

В большинстве ООБД описание структуры объекта (то есть перечень данных и их типов, а также взаимосвязей между ними) сохраняется в особой области базы данных или в отдельной схеме, а сами данные хранятся в виде иерархической структуры, доступной через ее корень. Очень важным для САПР является тот факт, что ООБД не требуют модификации СУБД при добавлении нового типа данных — в этом случае

модифицируется только схема. Такие системы могут хранить графическую, звуковую и видеоинформацию наряду с обычными типами значений. Однако применение объектных моделей часто приводит к замедлению работы приложений. В связи с этим были созданы гибридные объектно-реляционные СУБД, объединяющие преимущества систем обоих типов. Практически эти системы создают объектную надстройку над ранее созданной реляционной базой данных.

Имеются примеры так называемых *постреляционных* баз данных, реализующих не двумерные, а многомерные таблицы (например, Cache' компании InterSystems Corp.). Такая система поддерживает одновременно прямой, реляционный и объектный доступ к данным. СУБД Cache' может также преобразовывать и хранить данные, представленные на языке XML.

Семантические модели являются переходным шагом от базы данных к базам знаний. Базы знаний, которые уже можно назвать элементами искусственного интеллекта, отличаются от баз данных наличием нескольких особых свойств:

- не зависимой от приложения интерпретируемостью;
- классифицирующими отношениями, хранимыми отдельно от объектов;
- ситуативными связями, позволяющими анализировать факты.

Для баз данных, моделирующих проектируемый объект, характерен индивидуальный, специфический подход к описанию предметной области и необходимость достаточно быстрого доступа к данным. Например, структура данных в строительных САПР, как правило, отражает геометрическое описание конструкций, их материал, нагрузки и воздействия, разбиение на конечные элементы, способы взаимодействия конструкций и т.д. Такие базы могут иметь различную структуру, в т. ч. и объектно-ориентированную. Они обычно управляются СУБД, встроенными в программу-приложение (двухзвенная модель), или стандартными СУБД, являющимися переходным звеном (трехзвенная модель).

При проектировании инфологической модели находят также применение так называемые CASE-средства (Computer Added Software Engineering). Эта технология была вначале создана как средство автоматизированной разработки компьютерных программ (отсюда название), затем — баз данных, а в настоящее время широко используется и в других областях информационных технологий, прежде всего — в описании бизнес-процессов. CASE-средства представляют собой графически-ориентированные инструменты поддержки жизненного цикла ИТ. Они объединяют средства хранения информации о проектируемом объекте, средства ввода и вывода информации, средства анализа, проектирования и разработки. Как правило, с помощью CASE-средств проектируют диаграммы потоков данных, моделей данных, моделей поведения и структурные диаграммы.

Для разработки САПР наибольшее значение имеют диаграммы моделей данных. Стандартизованным средством разработки и наглядного представления таких моделей является так называемая ER-модель, т.е. модель сущность — связь (Entity — Relationship), предложенная П. Пин-Шен Ченом в 1976 г. В графической интерпретации этой модели сущности (эквивалентно классам в ПО) представляются прямоугольниками, а связи (отношения, ссылки, ассоциации и т.п.) — ромбами. Линии, соединяющие элементы диаграммы, показывают принадлежность объектов определенным отношениям. При этом на линии указывается количественная мера отношения (кардинальность), например, «0 или более». Таким образом, отношения в ER-диаграмме являются объективированными, что согласуется с объектно-ориентированной природой современного ИО.

Дальнейшее развитие ER-моделирование в целях концептуальной разработки реляционных баз данных получило в работах Рудольфа Баркера. Однако он отказался от объективированного подхода и заменил отношения и связи одним обозначением — прямоугольником.

Американский стандарт Информационной службы IDEF1X (определение интеграции для функционального моделирования — Integration Definition method for Semantic Data Modeling), вышедший в 1993 г. и ставший фактически международным, описывает семантику и синтаксис языка разработки логических моделей. В основном он используется для логического проектирования реляционных баз данных. Аналогичный стандарт IDEF0 (Integration Definition method for Function Modeling) используется для построения функциональных диаграмм и диаграмм информационных потоков, стандарт IDEF4 (Integration Definition method for Object Oriented Design) для разработки объектно-ориентированных моделей, IDEF5 (Ontology Description Capture Method) — для визуализации баз знаний.

Для объектно-ориентированного подхода ER-модели не вполне подходят, так как не отражают основные свойства программных объектов: наследование, полиморфизм, инкапсуляцию методов и др. В связи с этим для создания объектно-ориентированных программ был разработан специальный графический язык UML (Unified Modeling Language). Эта универсальная нотация для моделирования объектов разработана виднейшими специалистами в области ООП Г. Бучем, Рамбо и Джекобсоном.

Как видно из изложенного и работ [1—3], значительное внимание при разработке ИО уделяется наглядности и графическому представлению структур предметной области. Этот факт объясним тем, что наглядность на концептуальной фазе разработки существенно снижает возможность серьезных ошибок. В то же время для ИО строительных САПР упомянутые выше достаточно мощные и развитые средства моделирования применяются мало, что связано, видимо, с тем, что предметная область строительства еще мало классифицирована и формализована.

Библиографический список

1. *Малыха Г.Г.* Научно-методологические основы автоматизации проектирования в международных строительных проектах [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук. М. : МГСУ, 1999. 299 с.
2. *Павлов А.С.* Научные основы передачи информации и распознавания объектов в системах строительного проектирования [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук. М. : МГСУ, 2003. 357 с.
3. *Вайнштейн М.С.* Методология многофункциональной автоматизации поэлементно-инвариантного проектирования зданий и сооружений [Текст] : дисс. ... д-ра техн. наук. М. : МГСУ, 2005. 377 с.

Поступила в редакцию в декабре 2011 г.

Об авторах: **Синенко Сергей Анатольевич** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, **ФГБОУ ВПО «МГСУ»**, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, 8-(499)-183-49-06, sasin50@mail.ru;

Малыха Галина Геннадьевна — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительной информатики, **ФГБОУ ВПО «МГСУ»**, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, 8-(499)-188-51-10, ksi@mgsu.ru;

Вайнштейн Михаил Семенович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве, **ФГБОУ ВПО «МГСУ»**, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, 8-(499)-183-49-06, office@mosproject.ru;

Гусева Ольга Борисовна — доцент кафедры строительной информатики, **ФГБОУ ВПО «МГСУ»**, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, 8-(499)-188-51-10, ksi@mgsu.ru.

Для цитирования: Системы обработки данных в САПР / С.А. Синенко, Г.Г. Малыха, М.С. Вайнштейн, О.Б. Гусева // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 164—171.

S.A. Sinenko, G.G. Malykha, M.S. Vainstein, O.B. Guseva

DATA PROCESSING SYSTEM IN CAD SYSTEMS

The authors determine the problems in the field of CAD systems development and modeling showing general formalization methods used in structural design. The paper also considers software and dataware development for these systems.

Key words: construction, CAD system, data processing systems, software and dataware for CAD systems.

References

1. Malykha G.G. *Nauchno-metodologicheskie osnovy avtomatizacii proektirovaniya v mezhdunarodnykh stroitel'nykh proektakh* [Scientific and methodological principles of design automation in international construction projects], Moscow, MSUCE, 1999, 299 p.
2. Pavlov A.S. *Nauchnye osnovy peredachi informacii i raspoznavaniya objektov v sistemah stroitel'nogo proektirovaniya* [Scientific principles of information transmission and objects identification in construction computer aided design systems], Moscow, MSUCE, 2003, 357 p.
3. Vainstein M.S. *Metodologiya mnogofunkcional'noj avtomatizacii pojelementno-invariantnogo proektirovaniya zdaniy i sooruzhenij* [Methodology of multifunctional automation of elemental and invariant design process of structures and buildings], Moscow, MSUCE, 2005, 377 p.

About authors: **Sinenko Sergey Anatol'evich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor information systems, technology and automation in construction, **MSUCE**, 129337, Moscow, Yaroslavskoje sh., 26, 8-(499)-183-49-06, sasin50@mail.ru;

Malykha Galina Gennad'evna — Doctor of Technical Sciences, professor, head Department of Civil Engineering Informatics, **MSUCE**, 129337, Moscow, Yaroslavskoje sh., 26, 8-(499)-188-51-10, ksi@mgsu.ru;

Vainstein Michael Semenovitch — Doctor of Technical Sciences, professor of information systems, technology and automation in construction, **MSUCE**, 129337, Moscow, Yaroslavskoje sh., 26, 8-(499)-183-49-06, office@mosproject.ru;

Guseva Olga Borisovna — Associate Professor of Computer Science Building, **MSUCE**, 129337, Moscow, Yaroslavskoje sh., 26, 8-(499)-188-51-10, ksi@mgsu.ru, malykha.

For citation: Sinenko S.A., Malykha G.G., Vainstein M.S., Guseva O.B. *Sistemy obrabotki dannykh v SAPR* [Data processing system in CAD systems]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering], 2012, no 1, Pp. 164—171.