

Программные решения при разработке геоинформационной системы мониторинга сильно взаимосвязанных данных¹

© М.С. Агеев

Научно-исследовательский
вычислительный центр МГУ
им. М.В.Ломоносова,
АНО Центр Информационных
Исследований
ageev@mail.cir.ru

Б.В. Добров

Научно-исследовательский
вычислительный центр МГУ
им. М.В.Ломоносова,
АНО Центр Информационных
Исследований
dobroff@mail.cir.ru

А.В. Сидоров

АНО Центр
Информационных
Исследований
alexeys@mail.cir.ru

Аннотация

В статье описываются технологические решения, реализованные коллективом разработчиков программного обеспечения автоматизированной системы мониторинга реализации градостроительных планов. Система включает единое хранилище данных, систему расчета вычисляемых показателей, а также моделирование требований нормативно-правовых актов. Реализованная система допускает расширение для поддержки решения задач мониторинга в других предметных областях.

1 Введение

Регулирование градостроительной деятельности требует решения множества управленческих задач, среди которых можно отметить [4, 5]:

- выявление, анализ, оценка и прогнозирование тенденций развития с учетом социально-экономических, экологических и прочих факторов,
- обоснование необходимых мероприятий, планируемых при разработке и актуализации градостроительной документации,
- выявление необходимости обновления правовой, нормативной, научно-методической и информационно-технологической базы градостроительства.

По сложившейся практике на основе базовых нормативных документов выделяются основные направления развития территории, разрабатываются градостроительные (генеральные) планы развития

на 5-20 лет, где фиксируются значения показателей, которые требуется обеспечить в планируемый период.

После чего на основе отдельных планов производится строительство или реконструкция отдельных строений, застройка территорий и т.п.

Для поддержки принятия обоснованных управленческих решений в области регулирования градостроительной деятельности требуется автоматизация процесса сбора, анализа информации об объектах строительства, а также автоматизация процесса проверки соответствия параметров градостроительной деятельности действующим нормам законодательства.

Следует отметить, что задача осложняется противоречивостью [2] существующего федерального и регионального законодательства, недостаточности механизмов исправления нарушений реализации градостроительных планов. Огромной проблемой является существование организационных барьеров при обеспечении полноты требуемых данных.

С информационной точки зрения основные проблемы при реализации подобного рода систем состоят в необходимости учета большого количества сложных взаимосвязей, в том числе иерархических, при неполноте данных. В частности, изменение характеристик одного объекта (например, строительство высотного здания) может повлечь изменения характеристик территории на которой он расположен, что вызовет, в свою очередь, изменение характеристик и всех остальных объектов территории.

В данной работе описываются технологические решения, разработанные авторами, при создании совместно со специалистами ГУП ГНПП «Гранит-Центр» [3] в интересах префектуры Центрального административного округа г. Москвы программного обеспечения автоматизированной системы мониторинга реализации градостроительных планов (далее – АСМ).

2 Модель данных

Разработанная информационная система включает следующие основные компоненты:

- единое хранилище данных — параметров объектов градостроительной деятельности, картографической привязки, нормативных ограничений;
- подсистему ввода данных;
- подсистему выборки данных из хранилища и подготовки отчетов;
- подсистему расчета показателей объектов и территорий на основе взаимосвязей между показателями, с учетом географического местоположения объектов;
- подсистему ввода и учета нормативных требований.

Ключевым этапом разработки информационной системы является построение модели предметной области и структур данных для эффективного хранения и обработки информации.

Основными сущностями, которые образуют модель предметной области для АСМ, являются:

- объекты градостроительной деятельности;
- картографическая основа;
- перечень показателей объектов;
- значения показателей по временным срезам;
- правила вычисления показателей;
- правила оценки соответствия показателей нормативным ограничениям.

Рассмотрим указанные сущности подробнее.

2.1 Объекты градостроительной деятельности

Введем некоторые понятия:

Строение — именованный участок городской территории, имеющий свойство «адрес». Это обычно отдельное здание или сооружение.

Объект градостроительной деятельности (будем обозначать далее как **Объект**, с большой буквы) — именованный объект градостроительства — появляющийся и существующий в нормативных документах, регулирующих градостроительство. Объект может являться частью Строения, или, наоборот, состоять из нескольких Строений — например, строящийся спортивный комплекс — это Объект из нескольких Строений.

Территория — именованная (обычно в нормативных документах) территория района, где реализуются Объекты. Например, территориями являются районы, кварталы, участки внутри кварталов, придомовые территории, участки озеленения и т.п.

2.2 Картографическая основа

Представлена слоями векторной карты территории ЦАО г. Москвы.

Строения, Объекты и Территории представлены соответствующими слоями карты, с привязкой

шейпов к соответствующим объектам информационной системы.

В качестве ГИС-системы использовались Oracle Spatial — компонент СУБД Oracle, для обработки картографических данных, проведения вычислений, и Autodesk MapGuide — для визуального представления данных и создания пользовательского интерфейса.

2.3 Иерархическая система показателей

Любые данные, привязанные к Объекту, Строению или Территории, представляются в системе в виде значений показателей.

Значения показателей могут быть введены оператором системы, импортированы из других систем при помощи функций импорта-экспорта данных, а также рассчитаны с помощью правил вычисления показателей.

Показатели подразделяются по типу данных на

- 1) числовые;
- 2) строковые;
- 3) дата;
- 4) интервал чисел;
- 5) значение из списка.

Допускается создание показателей, которые могут иметь вектор значений — для любого из вышеперечисленных типов.

Показатели организованы в иерархическую структуру, в которой верхним уровне иерархии является тип привязываемого объекта: Строение, Объект или Территория.

Интерфейс пользователя позволяет настраивать список показателей, параметры отображения показателей, списки возможных значений показателей, допустимые правила агрегирования (суммирование, перечисление, экстремальные значения).

В процессе разработки системы первоначальное наполнение системы показателей составило около 300 показателей.

2.4 Временные срезы данных

Для каждого Объекта, Строения или Территории могут быть заданы значения показателей по временным срезам:

- Исходный срез значения показателя — значение показателя до принятия решения о производстве градостроительных работ;
- Фактический срез значения показателя — значение показателя в процессе реализации работ (изменяется во времени);
- Плановый срез значения показателя — значение показателя, которое требуется достичь на указанную дату согласно нормативным документам.

Допускается задание нескольких плановых срезов значений показателя — например, «план на 2010 год», «план на 2015 год».

3 Вычисляемые показатели

Важнейшим, и наиболее сложным компонентом системы является методология и подсистема расчета значений вычисляемых показателей.

Значение вычисляемого показателя может быть рассчитано на основе специально задаваемых правил расчета, учитывающих

- значения других показателей для данного Объекта (Строения, Территории);
- значения показателей для связанных Объектов;
- географическое расположение, шейпы объектов, хранящиеся в ГИС, близкорасположенные объекты.

Вычисляемые показатели могут задаваться для каждой пары «показатель - временной срез». В частности, вычисляемые показатели для нормативного среза могут определять нормативно допустимые значения показателей в зависимости от других показателей.

Для того, чтобы пользователь системы мог понять, каким образом было получено то или иное вычисленное значение, процедура вычисления создает текстовый комментарий, связанный с вычисленным значением. В текстовом комментарии может содержаться краткое пояснение, по какому правилу и на основе каких значений было вычислено данное значение показателя.

В процессе разработки системы было создано около 120 правил расчета вычисляемых показателей (в том числе, нормативных ограничений).

Основной проблемой при задании способа вычисления значений показателей является неполнота агрегируемых данных, частичное наличие данных. В такой ситуации может существовать несколько решений:

- не рассчитывать значение показателя, выработывая ответ «Нет данных»;
- рассчитывать значение показателя в «жестких» предположениях, считая что для Объекта (Строения, Территории), у которых нет данных, условия применения расчета не выполняются;
- рассчитывать значение показателя в «мягких» предположениях, считая что для Объекта (Строения, Территории), у которых нет данных, условия применения расчета выполняются;
- выкидывать из рассмотрения Объекта (Строения, Территории), у которых нет данных.

4 Подходы к заданию правил вычисления показателей

При проектировании системы задания правил вычисления показателей требуется учитывать два противоречивых требования.

С одной стороны, система задания правил должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечить возможность задания любых функций вычисления, которые могут понадобиться в данной предметной

области. В частности, необходимо обеспечить возможность формализации в рамках системы задания правил любых нормативных ограничений, которые можно вычислить на основе имеющихся данных.

С другой стороны, система задания правил должна быть простой, насколько это возможно, чтобы минимизировать трудозатраты на формирование конкретных правил вычисления показателей.

Естественно, пользователи информационной системы желают иметь инструмент, позволяющий прозрачно и легко задавать широкий набор правил.

Рассмотрим несколько примеров реальных подходов к задачам мониторинга в различных предметных областях

4.1 Задание правил вычисления сложных взаимосвязей в объектно-ориентированной модели данных

В работе [6] описывается объектно-ориентированный подход к поддержке градостроительной деятельности. При таком подходе выделяется ограниченное множество сущностей, все взаимосвязи между которыми прописываются путем достаточно низкоуровневого кодирования.

К достоинствам такого подхода можно отнести универсальность, возможность достижения высоких скоростных характеристик расчетов.

К недостаткам – чрезвычайную жесткость модели данных, необходимость при любых изменениях в модели данных вносить изменения в программный код, как следствие – полную зависимость потребителя от разработчика.

4.2 Моделирование теплогидравлики атомного реактора

Рассмотрим пример из другой предметной области.

Для анализа процессов, происходящих в ядерном реакторе применяются интегральные теплогидравлические коды – например, немецкий интегральный код ATHLET [8] (является обязательным для использования на АЭС ФРГ), американский код RELAP [7] и др. В этих задачах является характерным наличие набранных в течение длительного времени экспериментальных данных и наличие развитого комплекса физических моделей для взаимочета различных характеристик системы.

Указанные программные коды имеют свои развитые специализированные языки описания, так называемые, «входные наборы данных» (достигающих сотни тысяч строк для реальных установок). В частности, имеются развитые способы формирования пользователем описания способов функциональной связи между «сигналами», поступающих от различных компонентов.

Отметим, что при этом основные объекты этого мониторинга – «трубы», «теплообменники» и т.п.

задаются объектно – их обработка скрыта в программном коде.

Отличием от систем, аналогичных описанной в п.4.1, является существование перечня объектов, модели и свойства которых хорошо изучены, поэтому их скрытие в программном коде не является помехой пользователю.

Известны определенные особенности такого мониторинга:

- для некоторых типов объектов не существует адекватных моделей (течения в горизонтальных или наклонных трубах), что требует набора экспериментальных данных для конкретной арматуры;
- для ускорения расчетов широко используются корреляции – линейные приближения сложных процессов – коэффициенты которых также подбираются для конкретных конфигураций.

С точки зрения реализации необходимо отметить наличие специально обученных разработчиками кадров, так называемых, «драйверов», которые создают и настраивают наборы входных данных.

4.3 Мониторинг социально-экономических процессов

Рассмотрим еще один подход к мониторингу сложноорганизованных данных.

Для мониторинга социально-экономических процессов широко применяется система «Прогноз» [1], установленная во многих органах власти и управления РФ.

Для этой предметной области характерно:

- наличие хорошо заполненных временных рядов;
- обычно достаточно медленное изменение основных показателей.

Абсолютное большинство используемых моделей мониторинга формально представляет собой линейные суммы значений показателей линейные свертки), перемножаемых на специально подбираемые коэффициенты корреляции.

Задание тех или иных способов расчета определяется на этапе моделирования – организационно выделяется отдельная задача – создание модели, результатом этого этапа и является расчетная формула, причем коэффициенты должны иметь определенный экономический смысл.

Разработчик предоставляет пользователям весьма развитый аппарат задания такого рода линейных свертки (так называемый «визуальный конструктор»).

Однако, на практике практически 100% формул создается поставщиком решения. При этом модели создаются разработчиком и пользователем совместно.

5 Система задания правил в АСМ

Таким образом для реальных системах мониторинга сложно организованных данных не существует стандартного решения.

Задача мониторинга грамплана в текущей постановке может быть отнесена к области сложных слабоструктурированных задач по следующим причинам:

- существенная неполнота исходных данных, возможная противоречивость исходных данных;
- семантика характеристик объектов мониторинга задается недостаточно четко, недостаточно согласовано с имеющимися данными.

В этих условиях не представляется возможным задание способов расчета простыми средствами:

- простым специальным языком для задания формул простого вида над известными составляющими (сам список таких составляющих с их свойствами требует своего детального описания);
- простым интерфейсом подбора параметров.

Поэтому в АСМ был осуществлен выбор в пользу универсального решения – описание вычисляемых показателей на языке высокого уровня Oracle PL/SQL, непосредственно обращающегося к базе данных.

Имеются следующие достоинства такого решения:

- так как база данных АСМ хранится в Oracle, то можно добиться максимальной производительности при работе с данными;
- так как картографическая информация также имеет Oracle-интерфейс, то не требуется программных посредников для доступа к картографическим данным;
- язык PL/SQL является кратким и выразительным, что облегчает его использование.

Определенным недостатком такого решения является дополнительное требование к квалификации системного программиста, который должен быть специалистом в программировании на PL/SQL (Отметим здесь, что на рынке труда имеется достаточно широкое предложение специалистов такого рода).

6 Нормативные правила

Существенной характеристикой мониторинга является возможность оценки текущего или планируемого состояния городской среды.

Для этого вводится специальный «нормативный срез» значения показателя — моделирование правил/ограничений на значения показателя для Строения, Объекта или Территории, задаваемые требованиями законодательства.

ЗАКОН О ГЕНЕРАЛЬНОМ ПЛАНЕ ГОРОДА МОСКВЫ
(ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО
РАЗВИТИЯ ГОРОДА МОСКВЫ)

Статья 16. Градостроительные требования к
использованию и застройке территории города
Москвы

1. Установить следующие допустимые показатели
(в процентах) соотношений площадей, занимаемых
планировочными районами различных типов
функционального назначения, и площади
территории города Москвы, равной 100%:

- 1) тип А - природные - не менее 21%;
- 2) тип Б - общественные - не менее 5%;
- 3) тип В - жилые - 21-25%;
- 4) тип Г - производственные - 11-15%;
- 5) тип БВ - общественно-жилые - не менее
15%;
- 6) тип БГ - общественно-производственные -
не менее 3%;
- 7) тип ВГ - производственно-жилые - 1-3%;
- 8) тип БВГ - общественно-производственно-
жилые - не более 1%;
- 9) тип АВ - природно-общественные - 4-6%;

...

Определение:

Квартал смешанного природно-общественного
назначения (АБ):

- участки общественного и природного
типа занимают более 25% территории
каждый,
- а участки других типов - менее 25%
каждый.
- При этом участки коммунально-
складского и промышленного видов
назначения должны занимать не более
10% территории.

Рис. 1

Нормативные ограничения устанавливаются
нормативными актами, это, в первую очередь,
«Нормы и правила проектирования планировки и
застройки г. Москвы» (МГСН), а также ряд других
документов, в которых устанавливаются
нормативы, и на которые ссылается МГСН:
СанПиН, СНиП, ГОСТ, СН, ОНД-86, ВСН 62-91.

Контроль соответствия показателей объектов
нормативным ограничениям осуществляется при
помощи задания ограничений на значения
показателя в нормативном срезе.

Нормативное ограничение значений показателя
может иметь вид:

- интервала допустимых значений числового
показателя;
- объединения интервалов;
- перечня допустимых значений для нечисловых
показателей.

В большинстве случаев нормативное
ограничение на значение показателя зависит от
различных показателей данного объекта, либо
значений показателей связанных объектов.
Соответственно, для задания таких ограничений
используется механизм задания вычисляемых
показателей.

6.1 Совмещение разных оценок

Следует отметить, что допускается
одновременная применимость нескольких

нормативных правил для оценки значения
выбранного среза данных показателя конкретного
Объекта (Строения, Территории), причем оценка по
разным нормативным правилам может быть
различна:

- может быть выполнение требований норматива
- оценка нейтральная или «позитивная» -
имеется «ресурс» по данному показателю;
- может быть отклонение от требований
норматива – оценка «негативная».

Величину оценки можно рассчитывать как
сравнение с ближайшей границей интервала.

Существует непростой вопрос выработки единой
интегральной оценки на основе данных об оценках
для отдельных нормативных требований.

Эта задача близка задаче многокритериального
оценивания, про которую известно, что, так
называемые, Парето-оптимальные решения (их
нельзя улучшить изменяя только несколько из
набора показателей), могут быть приближены
линейной сверткой – линейной комбинацией
критериев оценивания.

К сожалению, для подбора коэффициентов в
общем случае отсутствуют эффективные
конструктивные методы.

Поэтому в разработанной системе, хотя и
используется линейная свертка оценок отдельных
показателей, и значение свертки выводится в
итоговой таблице оценки, следует интерпретировать
его только как признак наличия/отсутствия
позитивного/негативного значения оценки.

Основной формой для интерпретации оценки
являются таблицы подробной оценки, в которых
приводятся и объяснения каждого расчета.

6.2 Пример 1. Проверка соответствия нормативов застройки кварталов в зависимости от функционального назначения

Приведем (Рис.1) выдержку из Закона города
Москвы, устанавливающего ряд ограничений на
застройку территорий кварталов.

Отметим здесь, что приведенные требования
закона очевидно поддаются алгоритмическому
описанию, однако, при планировании застройки,
проверку выполнения всех требований только для
данного закона (только в статье 16 насчитывается
несколько десятков требований) практически
невозможно выполнить вручную.

В АСМ введен вычисляемый показатель
«расчетное функциональное назначение кварталов
(на основе участков)». Программа вычисления этого
показателя использует в качестве входных данных
(рис. 1):

- номер и шейп (географические данные)
квартала, для которого необходимо проверить
функциональное назначение;
- шейпы и данные о функциональном назначении
участков, составляющих данный квартал;

- данные о нормативных ограничениях на размеры площадей, выделенные из Закона и представленные в реляционном виде.

Значением данного вычисляемого показателя является список функциональных назначений, для которых данный квартал удовлетворяет нормативным ограничением.

6.3 Пример 2. Проверка соответствия нормативов на количество машиномест для объекта, в зависимости от количества жителей

Нормы законодательства устанавливают необходимый минимум обеспеченности объектов машиноместами (Рис.2):

9.3.16. В пределах жилых территорий следует предусматривать открытые площадки (гостевые автостоянки) для парковки легковых автомобилей посетителей, из расчета 40 машиномест на 1000 жителей, удаленные от подъездов обслуживаемых жилых домов не более чем на 200 м.

Рис.2 (МГСН 1.01-99 п.9.3.16)

Соответственно, в АСМ введены следующие показатели:

- «количество машиномест на объекте» - количество машиномест в соответствии с градпланом;
- вычисляемый показатель «МГСН 1.01-99 п.9.3.16 машиноместа жилых территорий».

Для нормативного среза показателя «количество машиномест на объекте» установлена связь со значением соответствующего вычисляемого показателя «машиноместа жилых территорий».

Соответственно, АСМ позволяет сравнить количество машиномест в соответствии с градпланом и количество машиномест, которое необходимо для объекта данной мощности (рис. 3).

7 Функции системы

Рассмотрим основные функции системы АСМ. Эти функции можно разделить на:

- функции администрирования системы;
- функции ввода данных в систему;
- функции анализа данных с использованием средств системы и подготовки отчетов.

7.1 Сбор данных

Для ввода данных в систему можно воспользоваться

- средствами ручного ввода данных;
- программы импорта-экспорта данных из других информационных систем посредством XML-файлов;
- импорт слоев картографических данных в формате ГИС-систем, привязка картографических объектов к объектам информационной системы.

7.2 Функции администрирования

Включают в себя средства для настройки

- перечня возможных показателей объектов;
- настройки словарей значений категориальных показателей;
- задания ограничений на допустимые значения вводимых показателей (например, этажность дома должна быть целым числом от 1 до 100);
- задания перечня возможных функций агрегирования показателей;
- правил расчета вычисляемых показателей.

7.3 Анализ данных и подготовка отчетов

В состав системы автоматизации проведения процедур мониторинга входят следующие функциональные подсистемы:

- подсистема инвентаризации данных,
- подсистема систематизации данных,
- подсистема анализа данных,
- подсистема оценки данных.

Подсистема инвентаризации данных обеспечивает выявление для отобранных объектов и показателей мониторинга отсутствия значений на дату инвентаризации, несоответствие форматов и форм представления значений правилам, описанным в БД для соответствующих нормативных показателей, формирование «протоколов дефектования данных».

Подсистема систематизации данных обеспечивает формирование таблиц значений данных в соответствии с настраиваемыми правилами сортировки, группировки и агрегирования значений показателей.

Подсистема систематизации данных обеспечивает формирование таблиц значений данных в соответствии с настраиваемыми правилами сортировки, группировки и агрегирования значений показателей.

Подсистема систематизации данных обеспечивает автоматизированное выявление и фиксирование степеней соответствия, различий и соотношений (количественных, качественных) показателей Объекта (Строения, Территории) по временным срезам данных — например, определение отклонения фактических значений показателей от плановых.

Подсистема оценки данных обеспечивает автоматизированное формирование оценки допустимости влияния показателей и характеристик каждого реализованного объекта на нормативные, плановые и фактические показатели других объектов – на основе нормативных данных

8 Заключение

В статье описаны основные технологические решения реализованные в программном обеспечении автоматизированной системы

функциональное назначение Объекта в целом	Объект	количество машиномест на Объекте				общая площадь объекта		
		Исходный	Фактический	Плановый	Нормативный	Исходный	Фактический	Плановый
Административное здание	Головин Б. пер., д. 19, с. 1	0	2	2	[1,*]	330	778,5	500
	Всего	Сумма значений: 0	Сумма значений: 2	Сумма значений: 2	Сумма значений: 0	Сумма значений: 330	Сумма значений: 778	Сумма значений: 500
Нет данных	Головин Б. пер., д. 12, с. 1			7	[2,*]	946		
	Головин Б. пер., д. 15			28	[1,*]	0	0	0
	Головин Б. пер., д. 5, с. 1			12	[1,*]	0	0	0
	Всего	Сумма значений: 0	Сумма значений: 0	Сумма значений: 47	Сумма значений: 0	Сумма значений: 946	Сумма значений: 0	Сумма значений: 0

Рис. 3

мониторинга градостроительной деятельности для ЦАО г.Москвы.

Основные отличительные характеристики разработанной информационной системы:

- поддержки расширяемого множества показателей, срезов данных;
- технологии вычисляемых показателей, в том числе с учетом географической привязки, иерархии территорий и объектов;
- технологии моделирования требований нормативных документов;
- методологии и технологии воспроизведения («объяснения») вычислений.

Структуры данных и программные решения разработанной информационной системы позволяют конструировать автоматизированные системы мониторинга для других предметных областей

Литература

[1] Аналитический комплекс ПРОГНОЗ (www.prognoz.ru/ru/products_akprognoz.php)

[2] Андреев С., Закон должен защищать. Кто защитит от закона? // МиР. Москва и Регионы, Российский информационно-аналитический журнал о строительстве и инвестициях, №3, 2005.

[3] Государственное Унитарное Предприятие города Москвы «Государственное научно-производственное предприятие (ГНПП) «Гранит-Центр» (<http://www.granit.ru/about.asp>)

[4] Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 29.12.2006).

[5] Закон г. Москвы от 02.04.2003 №20 «О порядке градостроительного планирования развития территорий административных округов, районов города Москвы». "Вестник Мэра и Правительства Москвы", N 25, 07.05.2003

[6] Koshak N., Flemming U., Object-Oriented Data Modelling and Warehousing to Support Urban Design // Proceedings of The 6th International conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, July 7-10, 2002, Ellecom, The Netherlands.

[7] RELAP5 (<http://www.relap.com/general/relap5.html>)

[8] The Computer Code ATHLET (<http://www.grs.de/en/simulationcodes/athlet.html>)

Geographic Information System for Monitoring of Strongly Interrelated Data

Mikhail S. Ageev, Boris V. Dobrov, Alexey V. Sidorov

We describe an Automated System for Monitoring of Urban-planning Data. The System includes data warehouse, data visualization module, a system for computing derivative parameters using geospatial data, and a system for modelling legislative constraints. The System is flexible and extendable, so we can apply it for other domains.

ⁱ Данная работа в части исследования моделирования нормативных требований выполнена за счет средств гранта РФФИ № 05-07-90391