

## ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

В. А. ЗЕЛЕНЦОВ<sup>1</sup>, А. П. КОВАЛЕВ<sup>2</sup>, И. Ю. ПИМАНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,  
199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: pimen@list.ru

<sup>2</sup>Конструкторское бюро „Арсенал“ им. М. В. Фрунзе,  
150009, Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются основные принципы информационного обмена при управлении развитием территорий на базе распределенного иерархического подхода. Обоснована необходимость рационального распределения функций по обработке пространственных данных между уровнями иерархии. Сформулированы основные принципы построения систем информационной поддержки принятия решений при иерархическом управлении, приведены примеры реализации систем при управлении развитием территорий в Российской Федерации и Латвии.

**Ключевые слова:** управление развитием территорий, иерархия, теоретико-игровые модели, веб-геоинформационная система, пространственные данные

**Введение.** Возникновение иерархической структуры в системах организационного управления объектами обусловлено их возрастающей сложностью, что создает большие трудности для централизованного управления. В случае управления развитием территорий появление иерархии связано также с установленной соподчиненностью органов управления и определенными регламентами распределения задач и функций между ними, которые приняты в государстве или отрасли, — например, разделение функций между администрациями муниципальных образований различного уровня и органами управления субъекта федерации.

В задачах управления развитием территорий объектами управления являются элементы инфраструктуры, природно-технологические объекты, пространственные объекты, ресурсы соответствующих служб. Управляющие воздействия включают решения по корректировке планов развития территорий, решения по организации водоснабжения, водоотведения, снабжения населения топливом, оперативные решения по управлению чрезвычайными ситуациями и др.

Ключевую роль в иерархических системах управления развитием территорий (ИСУРТ) играют пространственные данные (фундаментальные, базовые и метаданные), являющиеся чрезвычайно объемными.

Многоуровневостью ИСУРТ обусловлено появление задач согласования и координации решений, принимаемых на всех уровнях управления, определения структуры информационного обмена между уровнями, а также задачи, связанной с созданием информационных систем и ресурсов (в том числе пространственных данных), обеспечивающих поддержку принятия решений в ИСУРТ.

В настоящее время развитие информационных систем (геоинформационных, информационно-аналитических и т.д.) в области территориального управления осуществляется в значительной степени автономно, без учета требований к информационному обмену, необходимому при рациональном распределении функций между уровнями в ИСУРТ. Наблюдается стремление к излишней централизации информационных ресурсов в масштабах регионов, отраслей, субъектов федерации и государства в целом, создаются крупные „тяжелые“ базы данных о состоянии территорий и объектов на этих территориях. Актуализация данных в та-

ких системах сопряжена с большими затратами и, как правило, значительно отстает по времени от происходящих изменений. В результате централизованные информационные ресурсы используются для решения ограниченного числа задач, связанных, например, с отчетностью, но малопригодны для решения задач управления, поскольку решения в этом случае будут приниматься либо по недостоверной информации, либо с запаздыванием.

В настоящей статье задачи обоснования структуры информационного обмена в ИСУРТ и вопросы создания соответствующих информационных систем рассматриваются совместно. При этом анализ проводится для базовой ячейки любой многоуровневой системы — двухуровневой иерархической системы управления.

**Теоретико-игровой подход к анализу ИСУРТ.** Выработка управляющих воздействий в сложных организационно-технических системах, к которым относятся рассматриваемые системы управления развитием территорий, связана с необходимостью анализа больших объемов информации об управляемых объектах.

Полностью централизованные сбор и обработка данных, в первую очередь пространственных, зачастую либо технически неосуществимы, либо приводят к принятию решений по недостоверной или устаревшей информации, т.е. в условиях значительной неопределенности. Управление является, таким образом, слишком сложной задачей для одного центрального управляющего органа, имеющего ограниченные возможности по переработке информации. В связи с этим общая задача управления разбивается (декомпозируется) на ряд подзадач, решаемых соответствующими управляющими элементами (УЭ) в иерархической системе [1—4]. Для рассматриваемых систем под управляющим элементом понимается орган управления нижнего уровня (например, муниципального образования). Применительно к двухуровневой ИСУРТ на ее верхнем уровне находится один элемент — центр, представляющий задачи (интересы) системы в целом, а на нижнем уровне находятся УЭ, отражающие интересы остальных компонентов системы. Например, такая система описывает взаимодействие между органами управления субъекта федерации и администрациями муниципальных районов.

Предоставление прав обработки информации и принятия решений нескольким управляющим элементам позволяет, как правило, уменьшить информационную неопределенность в задачах принятия решений, так как каждый элемент при решении своих задач оперирует сравнительно небольшими объемами информации, которая не подвергается искажениям, возникающим при ее передаче от одного элемента другому. Кроме того, важное преимущество декомпозиционного подхода заключается в возможности проведения параллельных вычислений, когда осуществляется одновременное решение ряда локальных задач.

Однако введение некоторой степени децентрализации приводит к появлению другого вида неопределенности, связанной с самостоятельными действиями УЭ, в состав которых входит человек. Интересы такого УЭ при принятии решений могут не совпадать полностью с задачами системы в целом. Это является типичной ситуацией для ИСУРТ. Кроме того, для достижения своих целей УЭ в принципе может умышленно искажать информацию, передаваемую другим элементам, внося тем самым „активные“ помехи в работу системы управления. В этом случае для преодоления неопределенности на центр возлагаются дополнительные задачи, что обуславливает необходимость привлечения методического аппарата, основанного на теоретико-игровых подходах к анализу ИСУРТ. При этом важнейшими вопросами, подлежащими исследованию, являются:

- организация информационного обмена между уровнями иерархической системы, обеспечивающая согласование интересов различных УЭ и принимаемых ими решений;
- обоснование принципов построения и структуры системы информационной поддержки (СИП) принятия решений на всех уровнях.

Принципы организации информационного обмена зависят от очередности решения задач по управлению. В данном случае центр оперирует категориями общесистемных интересов,

связанных с выполнением целевого назначения системы, и поэтому имеет приоритет перед УЭ нижнего уровня. Центр первым выбирает координирующий сигнал  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$ , который он сообщает элементам нижнего уровня (каждому УЭ — его компонент  $u_n$ ). Множество вариантов выбора решений для каждого  $n$ -го элемента в связи с этим будет иметь вид  $v_n(u_n)$ ,  $n = \overline{1, N}$ . На этом множестве УЭ производит выбор решения, руководствуясь своими предпочтениями.

Однако для принятия решения центру необходима информация о влиянии выбранного им варианта на состояние элементов нижнего уровня, а также на выбор, осуществляемый УЭ, и в конечном итоге на значения показателей качества функционирования центра. Это означает, что этапу принятия центром решений должен предшествовать этап формирования данных, содержащих сведения о прогнозируемом отклике УЭ на управляющие действия центра.

В связи с этим на первом этапе управления (формирования данных) на нижнем уровне решается задача определения и передачи центру вектора показателей, характеризующих прогнозируемый отклик элементов на координирующие воздействия центра. На втором этапе (принятия решений центром) на основе полученной от УЭ и имеющейся в центре информации на верхнем уровне решается задача многокритериальной оптимизации элемента и результат ее решения в виде оптимальных значений  $\mathbf{u}^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_N^*)$  передается на нижний уровень. На третьем этапе (принятия решений УЭ) элементами нижнего уровня конкретизируются их планы относительно начальных:  $u_n = u_n^*$ . Наконец, на четвертом этапе осуществляется анализ реальных значений показателей, достигнутых в результате реализации управлений  $u_n^*, v_n^*(u_n^*)$ , и формируются данные для принятия решений центром на следующем интервале.

Для того чтобы система управления, в которой интересы отдельных элементов не совпадают, могла функционировать, должно быть обеспечено определенное согласование всех интересов. В работе [5] сформулировано достаточное условие согласования интересов УЭ системы, выполнение которого позволяет центру согласовать интересы в случае, когда элементы нижнего уровня в качестве данных, передаваемых на верхний уровень, используют значения своих целевых функций из множества эффективных решений при каждом возможном управляющем воздействии центра.

В целом, применение теоретико-игровых подходов позволяет свести общую задачу управления к совокупности частных оптимизационных задач УЭ и центра, причем локальные задачи УЭ могут решаться параллельно. Согласование решений, принимаемых элементами иерархической системы, достигается в рамках описанной процедуры, применение которой обеспечивает также существенное снижение объемов информационного обмена между УЭ и центром, поскольку передаются лишь значения показателей из множеств Парето-оптимальных решений.

Дополнительное преимущество проведенной таким образом декомпозиции общей задачи — соответствие формальных построений содержательному смыслу процесса управления развитием территорий. В частности, использование в задаче центра в качестве параметров, отражающих ситуацию на нижнем уровне, значений целевых функций УЭ органично согласуется со смыслом координационного выбора, поскольку именно в значениях этих показателей концентрируется информация о степени воздействия принимаемых центром решений на состояние объектов управления.

**Основные принципы построения СИП.** Система информационной поддержки принятия решений в ИСУРТ реализуется на каждом элементе системы и для осуществления своих функций должна объединять функциональные возможности систем поддержки принятия решений (анализ данных, аналитическое моделирование, ситуационный анализ и т.д.) и воз-

возможности современных геоинформационных веб-платформ (веб-ГИС) по пространственному анализу и визуализации данных с привязкой к конкретным территориям и объектам.

Загрузка данных в систему и их актуализация — трудоемкий процесс. Для минимизации ресурсов, затрачиваемых на решение данной задачи, в системе должна быть предусмотрена распределенная структура хранения, куда данные от владельца поступают в момент их создания, и на основе которых могут быть сформированы новые данные непосредственно в интерфейсе. Такая система содержит необходимые владельцу данных инструменты, позволяющие реализовать следующие функции:

- загрузку и редактирование пространственной информации (векторные и растровые карты, ортофотопланы, схемы);
- сбор атрибутивной информации;
- синхронизацию с имеющимися поставщиками данных посредством подключения их в виде сервисов;
- создание собственных каталогов для последующей загрузки и редактирование данных из интерфейса администратора;
- структурирование разнородных данных, создание „неочевидных“ связей между любыми пространственными объектами и документами, хранящимися в системе или подключаемыми из сторонних сервисов.

Общая структура такой системы представлена на рис. 1, где стрелками показано направление информационных потоков, при этом каждый из участников системы является одновременно и поставщиком данных, и их потребителем.



Рис. 1

Благодаря описанным выше инструментам и при условии соблюдения требований к форматам данных в качестве источников информации могут выступать частные пользователи, базы данных эксплуатирующих организаций, информационные системы разного уровня (муниципальные, региональные и федеральные).

В настоящее время существует большое количество „коробочных решений“, например гео-платформ, готовых к тиражированию, а также веб-ГИС. На момент написания статьи известно более 15 автоматизированных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, внедряемых на территории Российской Федерации (см. например, работы [6—9]).

Как правило, каждая такая система обладает следующим набором функций (характерных для данного класса систем [10]):

- демонстрация пространственных данных на карте;
- загрузка и выгрузка геоданных;
- создание и редактирование отдельных объектов;
- просмотр и редактирование атрибутивной информации;
- измерение длин и площадей объектов;
- организация многопользовательского доступа;
- управление доступом на основе ролей пользователей;
- подключение внешних сервисов;
- настройка внешнего отображения слоев пространственных данных.

Большинство современных систем подобного рода создано для работы на одном уровне, они агрегируют данные, поступающие с территорий, а при взаимодействии с внешними системами выступают только как потребители.

Однако для полноценной реализации иерархического подхода к управлению развитием территорий требуется наладить процессы межуровневого взаимодействия в рамках СИП, где на каждом из уровней система должна быть задействована для обеспечения деятельности органа управления.

**Примеры практической реализации СИП.** Примером практической реализации в ИСУРТ системы информационной поддержки, полноценно выполняющей функции обеспечения информацией локальных органов управления, является система “RegionView” („Регион-В“) [11, 12], разработанная авторами статьи.

„Регион-В“ представляет собой модульную распределенную систему (рис. 2), включающую сервер приложений (сервер динамического контента), геоинформационный сервер, сервер баз данных и пользовательское веб-приложение. Все его компоненты разработаны с использованием решений с открытым исходным кодом и не требуют приобретения платных лицензий. Модульный принцип построения и использование стандартных протоколов обмена данными обеспечивают свободу размещения компонентов системы при ее установке [13—16].



Рис. 2

Система развернута в органах местного самоуправления г. Мадона, Латвия, в рамках проекта “INFROM” программы приграничного сотрудничества ESTLATRUS [17]. Базовая версия системы содержит пространственные данные о территории Мадонского края с подключенными из государственных сервисов ортофотопланами и планом кадастрового деле-

ния (скриншот пользовательского интерфейса системы „Регион-В“ представлен на рис. 3). На следующем этапе была построена иерархическая система управления развитием территории, в которой каждый уровень отвечает за сбор и обработку определенной информации и поставляет на следующий уровень результаты обработки данных, необходимые для принятия решений.

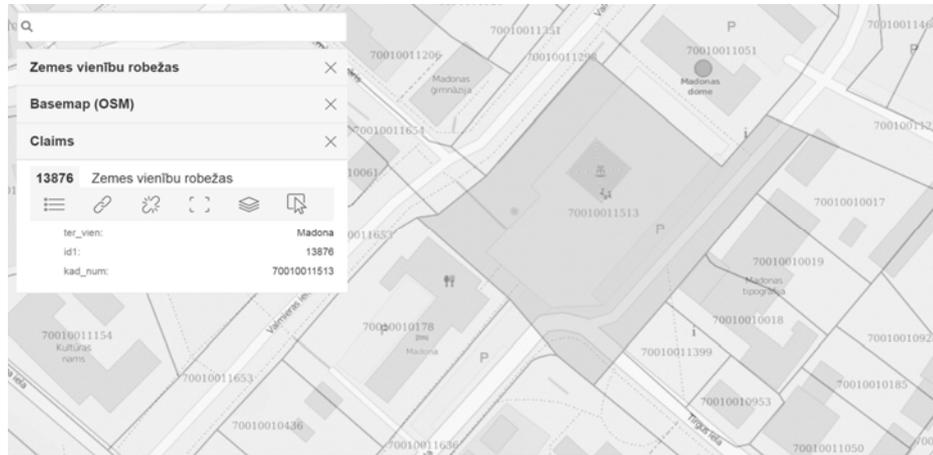


Рис. 3

В качестве примера реализации системы „Регион-В“ на территории Российской Федерации можно привести вариант, используемый при управлении Раздольевским сельским поселением Ленинградской области [18]. Помимо базовой функциональности система доработана применительно к решению задач контроля по использованию земель сельскохозяйственного назначения. На основе имеющейся в местной администрации информации по сельскохозяйственным территориям в автоматизированном режиме запускается процесс моделирования, в результате которого по данным космической съемки выявляются участки, на которых с большой вероятностью не велась сельскохозяйственная деятельность, и формируются планы проверки территории. Таким образом, на верхний уровень системы поступает лишь необходимая информация, статистика формируется в постоянном режиме, что позволяет повысить оперативность и обоснованность принимаемых управленческих решений.

**Заключение.** В настоящее время становится очевидной целесообразность использования иерархического принципа построения систем управления развитием территорий с организацией рационального информационного обмена между элементами различных уровней. Это подтверждается строгими математическими доказательствами, основанными на применении теоретико-игровых подходов. При реализации перспективных иерархических систем управления на первый план выступает необходимость создания соответствующих информационных ресурсов и систем информационной поддержки принятия решений. Опыт, полученный при практической реализации ИСУРТ, показывает, что предложенные принципы построения информационных ресурсов и их реализация на примере системы „Регион-В“ позволяют обеспечить следующие основные преимущества по сравнению с известными программными разработками:

- достоверность и корректность поставляемых системой данных, обеспечиваемые ответственностью поставщиков информации;
- актуальность результатов анализа и интегрированной обработки данных;
- модульное построение, что обеспечивает широкие возможности как по встраиванию сторонних систем в „Регион-В“, так и использованию созданных модулей „Регион-В“ в работе сторонних систем;
- низкая лицензионная нагрузка (не требуется приобретение и обслуживание проприетарных решений в качестве фундамента разрабатываемой системы);
- мобильность и кроссплатформенность клиентской части приложения;

- интерфейс, интуитивно понятный пользователю и адаптированный для разного типа устройств (одинаково удобен как при работе со стационарного компьютера, так и со смартфона в полевых условиях);
- простота и удобство администрирования системы;
- возможность использования системы как сервиса, без необходимости развертывания всей инфраструктуры на собственных мощностях заказчиков;
- масштабируемость и управляемость системы.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (мероприятие 6.1.1) и Университета ИТМО (субсидия 074–U01), а также Программы НТС Союзного государства „Мониторинг-СГ“ (проект 1.4.1-1), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482, 16-07-00925), Госзадания (0073-2014-0009), Программы РАН Ш.3 (0073-2015-0007).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем. М.: Мир, 1978.
2. Алиев Р. А., Либерзон М. И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. М.: Радио и связь, 1987. 208 с.
3. Бурков В. Н., Кондратьев В. В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука, 1981. 383 с.
4. Бурков В. Н., Макаров И. М., Соколов В. Б. Модели и механизмы функционирования иерархических систем (обзор) // Автоматика и телемеханика. 1977. № 11. С. 106—131.
5. Зеленцов В. А., Цивирко Е. Г. Теоретико-игровая модель управления эксплуатацией территориально распределенных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8, № 7. С. 84—90.
6. Ушаков А. О. Анализ современного рынка МГИС // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 2. С. 3—7.
7. Центр системных исследований „Интегро“ [Электронный ресурс]: <<http://integro.ru>>.
8. Научно-производственная корпорация „РЕКОД“ [Электронный ресурс]: <<https://rekod.ru>>.
9. Компания „Совзонд“ [Электронный ресурс]: <<http://sovzond.ru>>.
10. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Геоинформатика: Учебник для вузов / Под ред. В. С. Тикунова. М.: Академия, 2010. Кн. 2. 432 с.
11. Лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании [Электронный ресурс]: <<http://www.litsam.ru>>.
12. Потрясаев С. А., Пиманов И. Ю., Зеленцов В. А., Соколов Б. В., Кожанов А. Н. Информационно-аналитическая система мониторинга и управления развитием территорий „Регион-В“: Свид. № 2016612635, 02.03.2016.
13. Zelentsov V. A., Potryasaev S. A., Pimanov I. J., Nemykin S. A. Creation of intelligent information flood forecasting systems based on service oriented architecture // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Vol. 466. P. 371—381. DOI: 10.1007/978-3-319-33389-2\_35.
14. Зеленцов В. А., Потрясаев С. А., Пиманов И. Ю., Семенов А. Е. Мониторинг и моделирование наводнений на базе системы с сервис-ориентированной архитектурой // ГеоРиск. 2016. № 1. С. 12—15.
15. Зеленцов В. А., Крыленко И. Н., Пиманов И. Ю., Потрясаев С. А., Соколов Б. В., Ахтман Й. Основы построения системы обработки данных дистанционного зондирования Земли на базе сервис-ориентированной архитектуры // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 3. С. 241—243. DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-3-241-243.
16. Саймон А. Р. Стратегические технологии баз данных: менеджмент на 2000 год / Пер. с англ.; Под ред. М. Р. Когаловского. М.: Финансы и статистика, 1999. 479 с.

17. EST-LAT-RUS. Сайт программы приграничного сотрудничества „Эстония—Латвия—Россия“ [Электронный ресурс]: <<http://www.estlatrus.eu>>.
18. Зеленцов В. А., Кожанов А. Н., Пиманов И. Ю., Потрясаев С. А. Архитектура и программный прототип мобильной информационно-аналитической системы мониторинга и управления территориями и предприятиями АПК // Материалы Всерос. науч. конф. (с международным участием) „Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве“, Санкт-Петербург, 16—17 сент. 2015 г. СПб: Агрофиз. НИИ, 2015. С. 142—145.

**Сведения об авторах**

- Вячеслав Алексеевич Зеленцов** — д-р техн. наук, профессор; СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: v.a.zelentsov@gmail.com
- Александр Павлович Ковалев** — д-р техн. наук, профессор; КБ „Арсенал“ им. М. В. Фрунзе; генеральный директор; E-mail: kbarsenal@peterlink.ru
- Илья Юрьевич Пиманов** — СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; мл. науч. сотрудник; E-mail: pimen@list.ru

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию  
01.06.16 г.

**Ссылка для цитирования:** Зеленцов В. А., Ковалев А. П., Пиманов И. Ю. Иерархическая система управления развитием территорий с использованием разнородных пространственных данных // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 944—951.

**HIERARCHICAL CONTROL SYSTEM FOR TERRITORY MANAGEMENT  
USING HETEROGENEOUS SPATIAL DATA**

**V. A. Zelentsov<sup>1</sup>, A. P. Kovalev<sup>2</sup>, I. Yu. Pimanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,  
199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: pimen@list.ru

<sup>2</sup>M. V. Frunze Arsenal Design Bureau,  
150009, St. Petersburg, Russia

Key features of informational exchange in management of territory development based on distributed hierarchical approach are considered. The necessity of rational distribution of the functions for spatial data processing between the levels of the hierarchy is demonstrated. Basic principles of informational support systems for hierarchical management are formulated. Examples of the principles implementation in managing the development of territories in Russia and Latvia.

**Keywords:** management of territory development, hierarchy, game-theory models, web GIS, spatial data

**Data on authors**

- Viacheslav A. Zelentsov** — Dr. Sci., Professor; SPIIRAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; E-mail: v.a.zelentsov@gmail.com
- Alexander P. Kovalev** — Dr. Sci., Professor; M. V. Frunze Arsenal Design Bureau; General Director; E-mail: kbarsenal@peterlink.ru
- Ilya Yu. Pimanov** — SPIIRAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Junior Scientist; E-mail: pimen@list.ru

**For citation:** Zelentsov V. A., Kovalev A. P., Pimanov I. Yu. Hierarchical control system for territory management using heterogeneous spatial data // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 11. P. 944—951 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-944-951