

УДК: 528.9+004.75

А. А. Ямашкин¹, С. А. Ямашкин²

ГЕОПОРТАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены ключевые аспекты решения задачи управления территориально-распределенными организационными системами на основе геопорталов и технологий Интернета вещей. Показано, что использование технологий Интернета вещей позволяет сформировать на основе геопорталов системы диспетчеризации, существенно расширяя реестр вариантов использования геопорталов в решении задач управления территориально-распределенными организационными системами. Геопортальная программная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами состоит из серверной части, формируемой на основе арендуемой инфраструктуры, на которой размещены программные модули, разработанные в ходе работы над проектом. Геопортальная платформа как комплекс программно-аппаратных средств включает в себя геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами. Сеть управления пространственно-распределенными ресурсами — вычислительная сеть, функционирующая на основе набора устройств Интернета вещей разного типа и решающая задачи сбора данных о природно-социально-производственных системах и воздействия на внешнюю среду за счет дистанционного запуска исполнительных устройств. Геопортальная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами, решающая задачу сбора данных на основе интеграции с компонентами Интернета вещей, включает в себя геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами для решения задачи управления природно-социально-производственными системами. Управление природно-социально-производственными системами происходит на основе решения задачи мониторинга посредством датчиков и воздействия на основе исполнительных устройств. Использование геопортальных систем и технологий Интернета вещей позволяет решить задачу централизованного автоматизированного оперативного управления процессами, протекающими в системах значительного территориального охвата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геопорталы, Интернет вещей, управление организационными системами, проектирование геоинформационных систем, мониторинг территориально распределенных систем, удаленное управление устройствами

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, ул. Большевикская, д. 68, Саранск, Россия, 430005, *e-mail: yamashkin56@mail.ru*

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, ул. Большевикская, д. 68, Саранск, Россия, 430005, *e-mail: yamashkinsa@mail.ru*

Anatoliy A. Yamashkin¹, Stanislav A. Yamashkin²

GEOPORTALS AND TECHNOLOGIES OF THE INTERNET OF THINGS AS A TOOL FOR MANAGING ORGANIZATIONAL TERRITORIALLY DISTRIBUTED SYSTEMS

ABSTRACT

The article presents key aspects of solving the problem of managing geographically distributed organizational systems based on geoportals and Internet of Things technologies. It is shown that the use of Internet of Things technologies makes it possible to create dispatch systems based on geoportals, significantly expanding the list of options for using geoportals in solving problems of managing geographically distributed organizational systems. A geoportal software platform for managing spatially distributed resources consists of a server part, formed on the basis of a rented infrastructure, which hosts software modules developed during the work on the project. The geoportal platform as a complex of software and hardware includes a geoportal system and a network for managing spatially distributed resources. The management network for spatially distributed resources is a computer network that operates on the basis of a set of Internet of Things devices of various types and solves the problem of collecting data about natural, social and production systems and influencing the external environment through remote launch of actuators. A geoportal platform for managing spatially distributed resources, which solves the problem of data collection based on integration with components of the Internet of Things, includes a geoportal system and a network for managing spatially distributed resources to solve the problem of managing natural-social-production systems. Management of natural-social-production systems occurs on the basis of solving the problem of monitoring through sensors and influence based on actuators. The use of geoportal systems and Internet of Things technologies makes it possible to solve the problem of centralized automated operational management of processes occurring in systems of significant territorial coverage.

KEYWORDS: geoportals, Internet of things, management of organizational systems, design of geographic information systems, monitoring of geographically distributed systems, remote device management

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий интеграции, обработки, анализа и распространения пространственных данных приводит к росту востребованности географической информации при решении задач управления в территориально-распределенных организационных системах. Так, важное значение в решении задачи усиления связанности территории Российской Федерации, определенной как приоритетное направление для реализации Стратегии научно-технологического развития РФ (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642), играют процессы внедрения и эффективного использования инфраструктур пространственных данных (ИПД), решающих задачи прогнозирования пространственных процессов, анализа структуры и состояния природных и социальных систем [Ямашкин и др., 2019]. В Постановлении Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2021 г. № 2148 об утверждении государственной программы Российской Федерации «Национальная система пространственных данных» определена

¹ N. P. Ogarev Mordovian State University, 68, Bolshevistskaya str., Saransk, 430005, Russia,
e-mail: yamashkin56@mail.ru

² N. P. Ogarev Mordovian State University, 68, Bolshevistskaya str., Saransk, 430005, Russia,
e-mail: yamashkinsa@mail.ru

важность осуществления мероприятий, направленных на преодоление проблемы «ограниченного использования современных российских геоинформационных технологий, высокопроизводительной обработки пространственных данных».

Решение задач управления организационными территориально распределенными системами различного масштаба в настоящее время представляет основную цель проектирования, разработки и внедрения практико-ориентированных геопорталов [Gkonos et al., 2019]. Под термином «геопортал», согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 58570-2019 «Инфраструктура пространственных данных. Общие требования» понимается «информационная система, выполняющая роль единого пункта доступа к сервисам инфраструктуры пространственных данных, интерфейс которой обеспечивает с использованием сети Интернет доступ пользователей к информации для поиска пространственных данных и геосервисов по их метаданным, а также выполнения других функций в соответствии с его назначением и целевой аудиторией».

В настоящее время технологии Интернета вещей формируют основу для расширения вариантов использования геопортальных систем, открывают новые возможности их практико-ориентированного внедрения в деятельность организационных систем различного масштаба. Интернет вещей (Internet of Things, IoT), согласно Предварительному национальному стандарту Российской Федерации ПНСТ 518-2021 (ИСО/МЭК 20924:2018) «Информационные технологии. Интернет вещей. Термины и определения», определяется как «инфраструктура взаимосвязанных сущностей, систем и информационных ресурсов, а также служб, позволяющих обрабатывать информацию о физическом и виртуальном мире и реагировать на нее». Устройство Интернета вещей при этом определяется как «сущность системы Интернета вещей, которая обеспечивает связь с материальным миром через изменение или приведение в действие». Наборы подходов, заключающихся в развертывании системы устройств, собирающих информацию с датчиков и выполняющих целевые действия, позволяют решить две важные задачи — осуществление мониторинга природных и социальных систем значительного территориального охвата и дистанционное воздействие на эти системы. Совместное использование геопорталов и технологий Интернета вещей имеет перспективы для повышения эффективности решения задач управления организационными территориально распределенными системами [Львович и др., 2019].

Ключевым компонентом геопортальной системы традиционно выступают графические интерфейсы пользователя, основанные на использовании модуля цифровой карты, позволяющего решить задачу интерактивного комбинированного отображения различных тематических слоев, содержащих пространственные данные о природных, социальных и производственных системах. В настоящее время технологии Интернета вещей формируют основу для расширения вариантов использования геопортальных систем [Gopikumar et al., 2021], открывают новые возможности их практико-ориентированного внедрения в деятельность организационных систем различного масштаба [Laghari et al., 2021], позволяя решать следующие задачи:

- 1) мониторинг состояния территориально-распределенных объектов природных, социальных и производственных систем в режиме, близком к реальному времени, на основе сбора телеметрии с датчиков устройств Интернета вещей и визуализации данных посредством цифровой карты геопортала;
- 2) дистанционное централизованное управление территориально-распределенными устройствами Интернета вещей посредством отправки управляющих команд с использованием графических интерфейсов цифровой карты геопортала.

Ядро функционирования геопортальных систем в настоящее время выстраивается на основе использования микросервисов обработки, анализа и управления простран-

ственными данными. Хранилище пространственных данных должно быть основано на использовании мультимодельных систем управления базами данных, реализующих совместное обоснованное использование различных парадигм и подходов: реляционного, резидентного, колоночно-ориентированного.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геопортальная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами состоит из серверной части, формируемой на основе арендуемой инфраструктуры, на которой размещены программные модули, разработанные в ходе работы над проектом. Для взаимодействия с системой необходим компьютер или смартфон с установленным современным веб-браузером и доступом в Интернет. Геопортальная платформа как комплекс программно-аппаратных средств включает геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами. Управление природно-социально-производственными системами происходит на основе решения задачи мониторинга посредством датчиков и воздействия на основе исполнительных устройств.

Сеть управления пространственно-распределенными ресурсами — это вычислительная сеть, функционирующая на основе набора устройств Интернета вещей разного типа и решающая задачи сбора данных об организационных территориально распределенных системах и воздействия на внешнюю среду за счет дистанционного запуска исполнительных устройств. Подсистема интеграции с внешними системами обеспечивает решение задачи мониторинга и дистанционного управления природно-социально-производственными системами. Подсистема интеграции с внешними системами получает данные от сети управления пространственно-распределенными ресурсами посредством прикладных программных интерфейсов на основе протокола передачи данных TCP/IP.

Геопортальная платформа для управления пространственно-распределенными ресурсами, решающая задачу сбора данных на основе интеграции с компонентами Интернета вещей, включает в себя геопортальную систему и сеть управления пространственно-распределенными ресурсами для решения задачи управления природно-социально-производственными системами. Геопортальная платформа содержит программно-аппаратные подсистемы, реализующие задачу хранения, обработки, анализа, визуализации пространственной информации о территориально-распределенных системах на основе графических интерфейсов пользователя и систем хранения данных, размещенных на серверах и взаимодействующих между собой и компьютерами пользователей посредством каналов связи вычислительной сети. Управление природно-социально-производственными системами происходит на основе решения задачи мониторинга посредством датчиков и воздействия на основе исполнительных устройств (рис. 1а).

Геопортальная система представляет собой программный комплекс, включающий в себя программные подсистемы (сервисы) и мультимодельное хранилище данных (рис. 1б). Взаимодействие геопортальной системы с сетью управления пространственно-распределенными ресурсами осуществляется на основе прикладных программных интерфейсов (API), взаимодействие с которыми происходит на основе протокола TCP/IP. Лицо, принимающее решение, взаимодействует с геопортальной системой на основе графических интерфейсов пользователя подсистем администрирования и визуализации пространственных данных, функционирующих на основе веб-технологий.

Реализация принципа инверсии зависимости для функционирования геопортальной платформы

Базовый алгоритм функционирования геопортальной системы, построенной на основе архитектурного паттерна MVC (Модель-Вид-Контроллер) [Ahmad et al., 2022],

основан на реализации принципа инверсии зависимости (Dependency Inversion Principle) объектно-ориентированного проектирования, который заключается в том, что системные модули верхнего уровня не зависят от модулей нижнего уровня и связаны за счет интерфейсов [O'Connell et al., 2018]. Обозначенный подход приводит к оптимизации метрик программного кода системы, в т. ч. зацепления и связности. Под «зацеплением» (coupling), согласно международному стандарту ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) от 2017 г., понимается степень взаимозависимости между модулями в компьютерной программе, а под «связностью» (cohesion) — мера силы связи элементов внутри модуля, определяющая степень связанности задач, выполняемых одним программным модулем. Важно понимать, что связность в силу своей природы противоположна зацеплению. Для хорошо структурированной и спроектированной системы характерно слабое зацепление, что в комбинации с сильной связностью позволяет получить высокие характеристики сопровождаемости информационной системы.

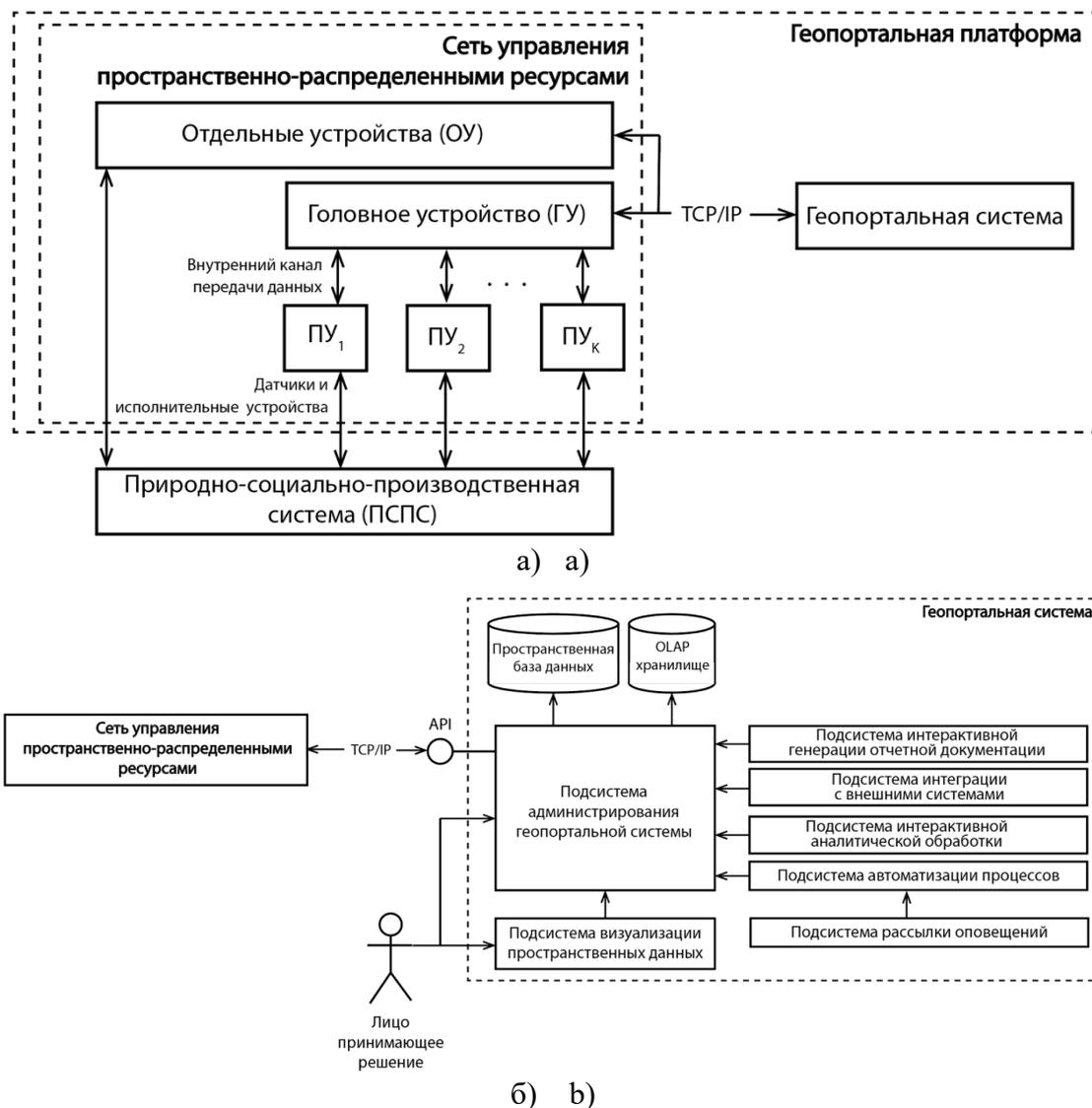


Рис. 1. Архитектурная организация: а) геопортальной платформы управления пространственно распределенными ресурсами и б) геопортальной системы
 Fig. 1. Architectural organization of: a) geoportals platform for managing spatially distributed resources and b) geoportals system

В рамках подсистемы администрирования геопортальной системы реализация принципа инверсии зависимости успешно достигнута следующими способами:

1. Введение интерфейсов для всех сервисов и компонентов: модели, представления и контроллеры, а также вспомогательные библиотеки имеют интерфейсы, определяющие способ взаимодействия с инкапсулированной логикой, при этом взаимодействие с каждым отдельным компонентом зависит от его интерфейсов, а не от конкретной реализации.
2. Использование принципа инверсии управления (Inversion of Control), при котором управление выполнением программы не ложится на конкретные используемые объекты, а, напротив, передается объектам, которые их вызывают. Это позволяет структурировать код системы, разделить логику по компонентам, сократить дублирование кода и повысить возможность его повторного использования, усилить тестируемость.

Подсистема администрирования геопорталов, реализованная на основе архитектурного паттерна MVC с применением принципа инверсии управления, позволяет разделить логику приложения на несколько отдельных изолированных компонентов (модели, контроллеры и представления) и централизованно управлять ими.

Компонентная структура геопортальной платформы организуется на основе архитектурного паттерна Модель-Вид-Контроллер, предполагающего разделение ключевых компонентов системы на сильно связанные внутри и слабо зацепленные модули манипулирования данными, организации графических интерфейсов и формирования программной логики системы. Диаграмма компонентов для подсистем геопортала представлена на рис. 2.

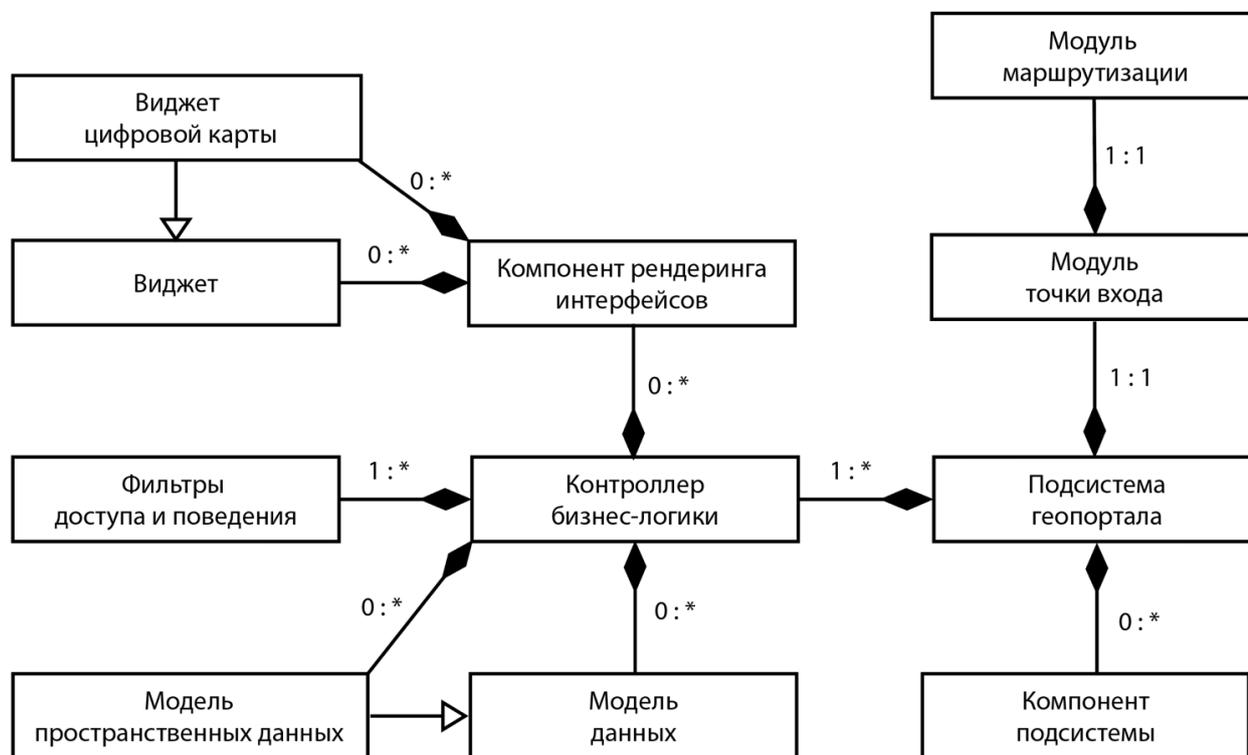


Рис. 2. Диаграмма компонентов для подсистем геопортальной системы
Fig. 2. Component diagram for geportal system subsystems

Контроллер бизнес-логики геопортальной подсистемы представляет собой компонент, определяющий последовательность этапов обработки запроса к системе посредством использования фильтров доступа и поведения, моделей данных и компонентов рендеринга интерфейсов для формирования ответного сообщения в форме инструкций построения графических интерфейсов пользователя или структур данных в форматах, пригодных для межмашинного взаимодействия. К контроллеру также могут быть интегрированы библиотеки с открытым исходным кодом.

Модели данных представляют собой компоненты, ориентированные на решение задачи реализации ключевых методов манипулирования данными геопортальной системы (создание, чтение, обновление, удаление). Оптимизация процесса управления данными осуществлена на основе паттерна объектно-реляционное отображение ORM (Object-Relational Mapping) и позволяет работать с данными как с объектом в соответствии с принципами объектно-ориентированного программирования [Sotiropoulos et al., 2021]. В виде отдельных классов, наследующих поведение моделей данных, реализованы модели пространственных данных, позволяющие манипулировать типами данных с пространственной геометрией, а также осуществлять пространственные запросы к хранилищу пространственных данных [Lee et al., 2017].

Компоненты рендеринга графических интерфейсов пользователя позволяют подготавливать данные геопортальной системы для их последующей визуализации в рамках веб-интерфейсов системы. Данный класс модулей реализуется на основе принципов шаблонизации и позволяет выстраивать объектную модель документа геопортальной системы на основе языка гипертекстовой разметки HTML. Визуальное оформление графических веб-интерфейсов происходит посредством использования каскадных таблиц стилей CSS, а для обеспечения динамического поведения использован язык программирования JavaScript. Отдельным способом реализации компонента рендеринга является компонент «виджет», формирующий графические интерфейсы для отдельного завершённого модуля, который может быть встроен в интерфейсы геопортальной системы. Использование виджетов позволяет достичь многократного использования кода. Отдельным типом виджета является цифровая карта, позволяющая решать задачу рендеринга данных о пространственно-распределённых объектах. Наконец, геопортальная подсистема может быть интегрирована с другими компонентами, которые в т. ч. могут сами по себе быть организованными на основе архитектурного паттерна Модель-Вид-Контроллер. В рамках геопортальной подсистемы могут быть использованы библиотеки с открытым исходным кодом.

Принципы построения сети управления распределёнными ресурсами

Сеть управления пространственно-распределёнными ресурсами представляет собой часть геопортальной платформы, выстраиваемую на основе набора устройств интернета вещей [Safari Bazargani et al., 2021]. Реализован вариант развертывания вычислительной сети управления на основе системы, состоящей из подчинённых и головных устройств. Устройства разработаны на основе модульной компонентной организации, позволяющей достичь качественного свойства расширяемости и создания новых типов устройств. Получение обозначенного преимущества достигается за счёт соблюдения принципов объектно-ориентированного проектирования: единственной ответственности, открытости к расширению, закрытости к внутренней модификации.

Подчинённое устройство (ПУ) включает в свой состав контроллер с программным обеспечением, реализующим возможность подключения датчиков для сбора измерений условий функционирования природно-социально-производственных систем и исполнительных устройств, решающих задачу воздействия на внешнюю среду (рис. 3а). Для

определения позиции подчиненного устройства контроллер использует GPS/GLONASS модуль. Устройство приема и передачи данных обеспечивает передачу данных с подчиненного устройства на головное в рамках сети управления пространственно-распределенными ресурсами по внутреннему каналу передачи данных.

Головное устройство (ГУ) принимает данные с подчиненных устройств и передает их на геопортальную систему посредством модуля передачи данных по TCP/IP (рис. 3б). Передача данных реализована на основе технология беспроводной передачи данных в Интернет на основе стандарта IEEE 802.11. Преимуществом предложенного комбинированного подхода, заключающегося в совместном использовании головного и подчиненного устройств, является получение возможности эффективного масштабирования сети управления пространственно-распределенными ресурсами. Подчиненные устройства не требуют привлечения сторонних провайдеров связи для обмена информацией по внутреннему каналу передачи данных. Это позволяет достичь получения набора преимуществ при эксплуатации сети. Во-первых, исключается эффект роста стоимости услуг сторонних провайдеров связи при подключении наборов новых устройств. Во-вторых, реализуется возможность построения сети в рамках территориальных систем, не имеющих доступа к сетям передачи данных сторонних провайдеров. Для организации внутреннего канала передачи данных используются устройства приема и передачи данных LoRa (Long Range), основанные на технологии модуляции маломощной сети [Gkotsiopoulos et al., 2021]. Преимуществом использования этой технологии является возможность развертывания сети в рамках значительного радиуса, измеряемого километрами в зависимости от территориальных особенностей природно-социально-производственных систем. При этом скорость передачи данных характеризуется невысокими значениями, что удовлетворительно в условиях решения задачи передачи данных с датчиков и управляющих команд.

Отдельное устройство (ОУ), как и подчиненное устройство сети управления пространственно-распределенными ресурсами, функционирует на основе модульной организации и включает контроллер, управляемый программным обеспечением для решения задачи сбора данных с датчиков и запуска исполнительных устройств (рис. 3в). Устройство снабжено модулем передачи данных по TCP/IP, что позволяет при необходимости его использовать вне интеграции с головным устройством.

Устройства сети управления пространственно-распределенными ресурсами взаимодействуют с геопортальной системой по шаблону издатель-подписчик на основе протокола обмена сообщениями MQTT [Mishra et al., 2020], построенного на основе протокола TCP/IP. Эксплуатация протокола обеспечивает устойчивое функционирование процесса обмена данными между устройствами сети управления пространственно-распределенными ресурсами и геопортальной системой как в направлении обмена показаний датчиков, так и при отправке управляющих команд.

Обеспечение обмена данными с устройствами сети управления распределенными ресурсами

Диаграмма последовательности, представленная на рис. 4, визуализирует потоки обмена данными между сервером геопортальной системы и устройствами сети управления пространственно-распределенными ресурсами. Взаимодействие между сервером и головным устройством осуществляется посредством паттерна «издатель»-«подписчик» через брокер сообщений. С точки зрения сетевой организации соединение осуществляется на основе стека протоколов TCP/IP. Клиенты брокера сообщений, сервер и устройство подписываются на сообщения с заголовком, включающим уникальный идентификатор (токен) устройства.

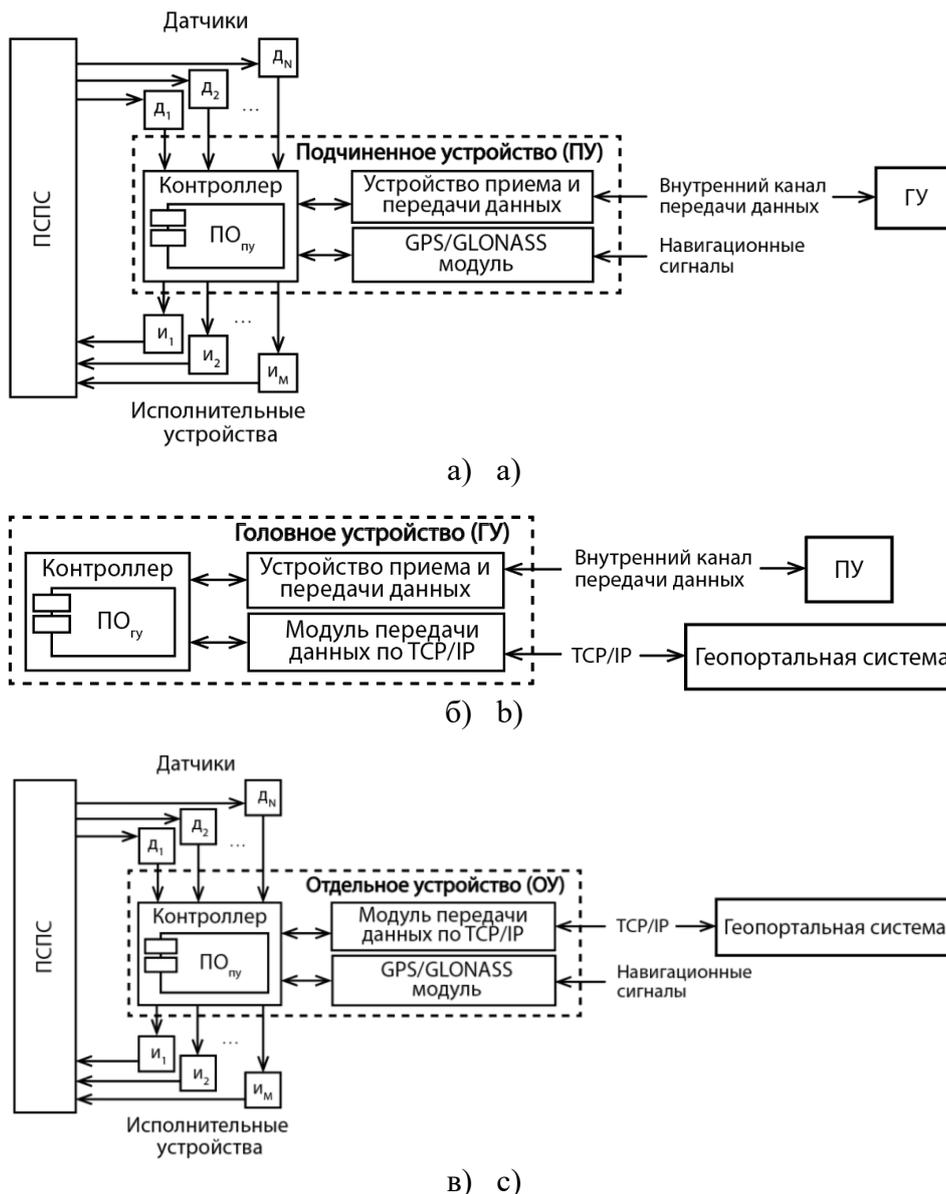


Рис. 3. Устройства сети управления пространственно-распределенными ресурсами:

а) подчиненное, б) головное, в) отдельное

Fig. 3. Network devices for managing spatially distributed resources:

a) slave, b) master, c) separate

Алгоритм функционирования подсистемы сбора данных на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования головных и подчиненных устройств включает следующий поток обработки данных:

- T1.** Подчиненное устройство после запуска осуществляет подключение библиотек, инициализацию атрибутов и режимов работы и переходит в циклический режим сбора данных с датчиков. Датчики интегрируются на модульной основе, поэтому их набор может варьироваться от устройства к устройству.
- T2.** Осуществляется периодическая передача телеметрии по каналу LoRa (или на основе иной технологии передачи данных) на головное устройство, представляющее собой хаб, связывающий набор подчиненных устройств, распределенных по территории

управляемой природно-социально-производственной системы и геопортальных, и геопортальный сервер.

- T3.** Головное устройство на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи на геопортальный сервер. Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации подчиненного устройства, набор данных, собираемых на основе датчиков, а также географические координаты подчиненного устройства.
- T4.** Геопортальная система, подписанная на сообщения MQTT-брокера, принимает актуальные телеметрические данные от подчиненного устройства через головное, осуществляет их проверку и первичную обработку.
- T5.** Осуществляется запись телеметрических данных, принятых с подчиненного устройства в OLAP-хранилище.

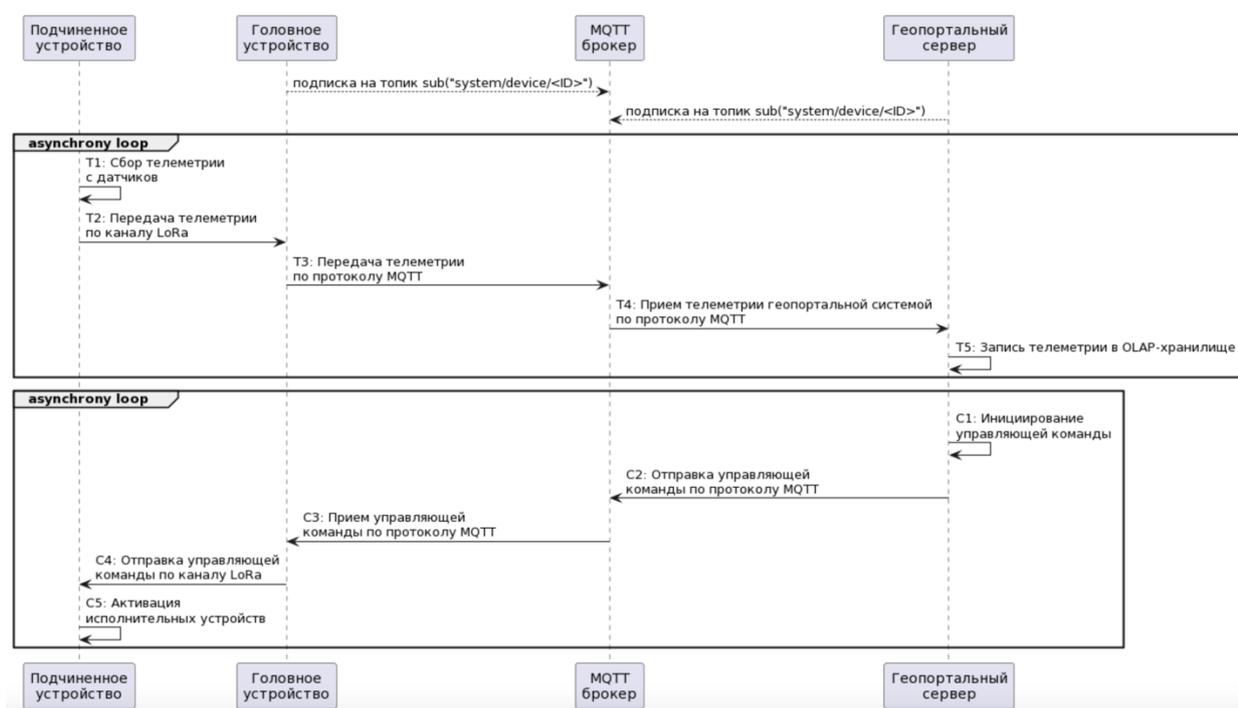


Рис. 4. Диаграмма последовательности, описывающая потоки передачи данных в случаях применения парадигмы использования головных и подчиненных устройств
Fig. 4. Sequence diagram of use case of master and slave devices

В рамках прототипа геопортальной платформы наравне с решением задачи мониторинга состояния территориально-распределенных систем решается проблема интеграции с внешними системами. Алгоритм функционирования подсистемы удаленного управления внешними системами на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования головных и подчиненных устройств включает следующий поток обработки данных:

- C1.** Происходит инициализация управляющей команды. Обозначенный этап осуществляется разными вариантами: возможна ручная инициализация управляющей команды в графических интерфейсах, а также запуск управляющей команды по срабатыванию триггера автоматизации.
- C2.** Геопортальная система на основе протокола MQTT отправляет данные MQTT-брокеру с целью их дальнейшей устойчивой передачи головному устройству.

- Передаваемые данные включают в себя: токен идентификации подчиненного устройства, параметры управляющей команды.
- C3. Головное устройство, подписанное на сообщения MQTT-брокера, принимает параметры управляющей команды от геопортального сервера.
 - C4. Осуществляется передача параметров управляющей команды по каналу LoRa (или на основе иной технологии передачи данных) на подчиненное устройство, расположенное на территории управляемой природно-социально-производственной системы.
 - C5. Подчиненное устройство при условии приема управляющей команды инициирует запуск исполнительных устройств или алгоритмов, подключаемых на модульной основе. Возможна отправка обратного сообщения в случае получения управляющей команды.

Алгоритм функционирования подсистемы сбора данных и управления на основе интеграции с компонентами Интернета вещей по парадигме использования отдельных устройств основан на похожем принципе, с тем исключением, что устройства этого класса инкапсулируют в себя как функции сбора данных и запуска актуаторов, так и инструменты обмена телеметрией с геопортальной системой. Для подключения устройств нового типа требуется реализация компонента на базе архитектурного паттерна «адаптер» для обработки данных, структурированных в соответствии с особенностями интегрируемого устройства и приведения их в унифицированную форму.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геопортальная платформа реализована как веб-приложение, функционирующее в рамках внутренней сети предприятия или глобальной сети Интернет. Для взаимодействия с системой со стороны клиента необходим компьютер или смартфон, на которые установлена операционная система современной версии, позволяющая взаимодействовать с веб-браузером актуальной версии.

Взаимодействие пользователя геопортальной системы происходит через графический веб-интерфейс консолидации, обработки, анализа и мониторинга пространственных данных. Подсистема визуализации пространственных данных в рамках цифровой карты геопортала обеспечивает интерактивное послойное отображение векторных и растровых данных, визуализации атрибутивной информации о пространственных объектах (рис. 5). Для манипуляции с полотном визуализации тематических слоев можно использовать жесты панорамирования (сдвига) и масштабирования.

Виджет поиска позволяет осуществлять поиск объектов по ключевым словам. Поисковая фраза вводится в соответствующее текстовое поле, после чего нажатием на иконку поиска или клавишу Enter инициируется поиск релевантных объектов по наличию ключевых слов в их описании. При наличии результатов, полотно карты центрируется и масштабируется таким образом, чтобы вместить в рамки экрана все найденные объекты. Сбросить результаты поиска можно нажатием на соответствующую строковую кнопку под текстовым полем ввода ключевых слов.

Интерактивный реестр тематических слоев позволяет включать и отключать отображение для любого набора тематических статичных и динамичных слоев. Возможно включение и отключение целой группы тематических слоев. Реализация данной функции позволяет подобрать оптимальный набор тематических слоев для решения задачи анализа состояния систем землепользования и пространственно-распределенных ресурсов.

Подсистема администрирования предоставляет возможности по редактированию пространственных данных. Левое боковое меню подсистемы администрирования предос-

тавляет возможность выбора конкретного компонента геопортальной системы для управления пространственными данными. В подсистеме администрирования реализовано два ключевых блока: управление массивами визуализируемых пространственных данных и управление интеграцией с устройствами и мониторингом.

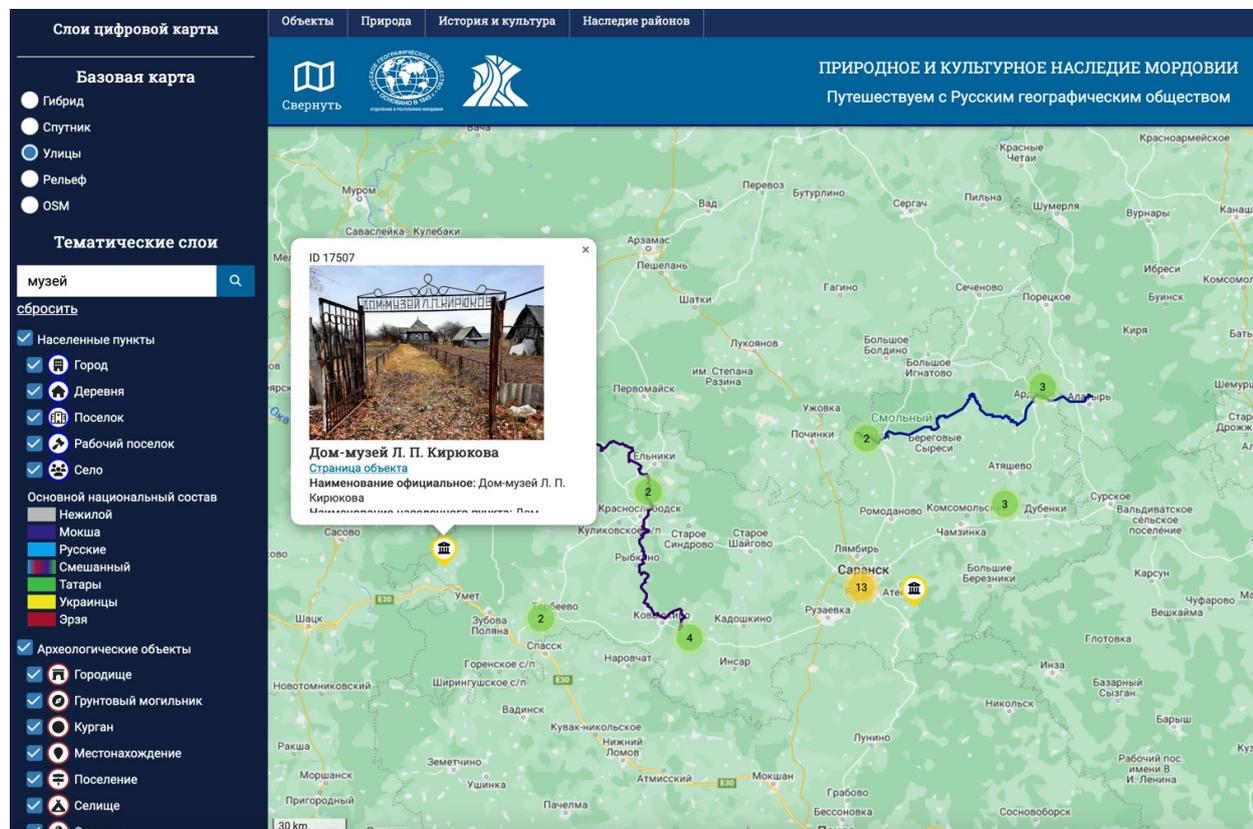


Рис. 5. Визуализация результатов поиска в графических веб-интерфейсах цифровой карты

Fig. 5. Visualization of search results in graphical web interfaces of a digital map

Объекты геопортала могут характеризоваться различным типом геометрии. В системе представлена функциональность интерактивного редактора геометрии объекта, позволяющего определять положение маркера (точечного объекта), выстраивать геометрию полилинии и полигона. Для объектов геопортала может быть отредактирован реестр параметров. В соответствующих графических интерфейсах реализована возможность изменения этой информации. Таким образом, в системе администрирования реализована возможность манипулирования данными об объектах системы, включая интерактивное управление информацией о характеристиках объекта, включая геометрию и стилизацию отображения на цифровой карте, изменение атрибутивных данных.

Геопортальная система может взаимодействовать с внешними устройствами сети управления пространственно-распределенными ресурсами. Для решения этой задачи реализована система интеграций с компонентами Интернета вещей. Архитектура геопортальной системы выстроена таким образом, что добавление новых производителей устройств будет осуществляться на модульной основе за счет добавления новых интеграций. Компонент интеграции с внешними системами для решения задачи удаленного управления объектами посредством отправки управляющих команд через интерфейсы диспетчера позволяет решить задачу обеспечения удаленного взаимодействия с устройст-

вами Интернета вещей. В рамках описываемого в статье проекта реализована интеграция с устройствами серии SMART ООО «Навтелеком», позволяющая осуществлять сбор телеметрии и удаленное управление объектами посредством отправки управляющих команд через интерфейсы диспетчера. Кроме этого, разработаны и подчиненное (рис. 6а) и головное (рис. 6б) устройства, позволяющие решать задачи сбора данных о территориально распределенных системах и удаленного управления.

Головное устройство выполняет функцию хаба и осуществляет сбор данных от подчиненных устройств с целью последующей передачи телеметрии на обработку в геопортальную систему, решает задачу приема управляющих команд от геопортальной системы и передачи ее подчиненному устройству. Ключевыми компонентами головного устройства являются:

- микроконтроллер, инкапсулирующий в себе программную прошивку, определяющую бизнес-логику работы устройства;
- LoRa-передатчик, обеспечивающий передачу и сбор данных телеметрии с подчиненными устройствами;
- Wi-Fi модуль, посредством которого осуществляется передача информации на сервер обработки данных.

Устройство снабжено тремя светодиодными индикаторами, отвечающими соответственно за визуализацию факта питания устройства, подключения к сети Wi-Fi и передачу данных посредством технологии LoRa. В состав устройства также входит антенна, выполняющая функцию усиления передачи данных. Устройство получает энергию от внешнего источника питания.

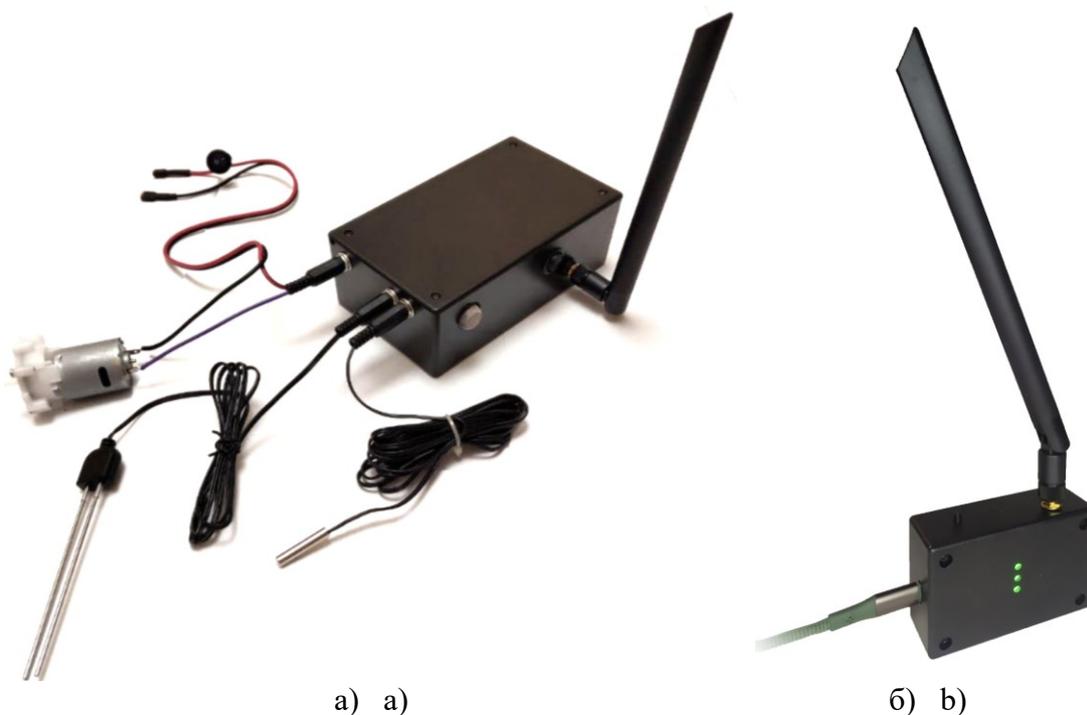


Рис. 6. Прототипы устройств, интегрируемых с геопортальной системой:

а) подчиненное и б) головное

Fig. 6. Prototypes of devices integrated with the geoport system: a) slave, and b) master

Подчиненное устройство выполняет функцию сбора данных с интегрированных датчиков и запуска управляющих команд. Модуль передачи данных на основе технологии LoRa позволяет обмениваться информацией с головным устройством. В подчиненное устройство может быть интегрировано исполнительное устройство (актуатор), которое запускается по удаленной команде, поступающей из геопортальной системы через головное устройство. Устройство также снабжено антенной для усиления качества передачи данных. Батареи питания инкапсулированы внутри подчиненного устройства для того, чтобы обеспечить автономность его работы. Головному и подчиненному устройству сопоставлен уникальный идентификатор, позволяющий ему корректно учитываться при передаче телеметрии в геопортальную систему. Важно отметить, что устройства организованы с соблюдением принципов модульности и могут быть расширены с целью демонстрации принципов работы геопортальной программной платформы при решении различных проектных задач.

Модуль интерактивной аналитической обработки (OLAP) консолидируемых пространственных данных обеспечивает возможность визуализации телеметрических данных, агрегируемых с устройств параллельно в табличном виде и на цифровой карте. Для хранения и аналитической обработки данных телеметрии, собираемых посредством сети управления пространственно-распределенными ресурсами, используется расширение системы управления базами данных для работы с временными рядами (time series). Модуль интерактивной аналитической обработки консолидируемых пространственных данных позволяет решать задачу мониторинга состояния подключенных устройств. Данные телеметрии при этом визуализируются в статистическом (табличном) виде и на цифровой карте. Компонент настройки вида отображения позволяет перейти к анализу телеметрических параметров, передаваемых с устройства (рис. 7): широте, долготе, скорости, пробегу и т. д. в соответствии с реестром агрегируемых данных.

Дополнительно может быть визуализирован детальный лог агрегируемых статистических данных с устройства. В рамках данного варианта использования реализована возможность последовательного анализа телеметрических параметров. Данные асинхронно подгружаются при осуществлении прокрутки интерфейсов до конца страницы. Аналогично реализована функция визуализации логов управляющих команд. Реестр отправленных команд может быть просмотрен при смене вида отображения в режим «Лог команд».

В совокупности варианты использования системы «Телеметрия» и «Мои устройства» обеспечивают решение задачи интерактивной аналитической обработки консолидируемых пространственных данных, что позволяет решать задачу мониторинга состояния подключенных устройств в расширенном табличном виде и в рамках виджета цифровой карты.

Подсистема автоматизации процессов на основе статистических данных о пространственных процессах представляет собой компонент, позволяющий гибко настраивать условия автоматизации для программирования триггеров. Интерактивный редактор навигационных маршрутов для контроля пространственных процессов позволяет на основе манипулирования объектами цифровой карты настроить параметры автоматического контроля перемещения объекта (рис. 8).

Для каждого маршрута должна быть указана информация о его названии, способе перемещения (автомобиль, пешеход, общественный транспорт, велосипед, самокат), ассоциированном контролируемым устройстве и статусе активности. Параметры отклонения от маршрута или границ периметра позволяют определить и реагировать на дистанцию отклонения в метрах, количество зарегистрированных отклонений и продолжительность отклонения. Карта маршрута может быть отредактирована в интерактивном режиме посредством задания начальных, промежуточных и конечных точек маршрута. Для пери-

метров (полигональных объектов) может быть задан способ контроля пространственного положения (перемещение объекта внутрь полигона или, наоборот, выход из него).

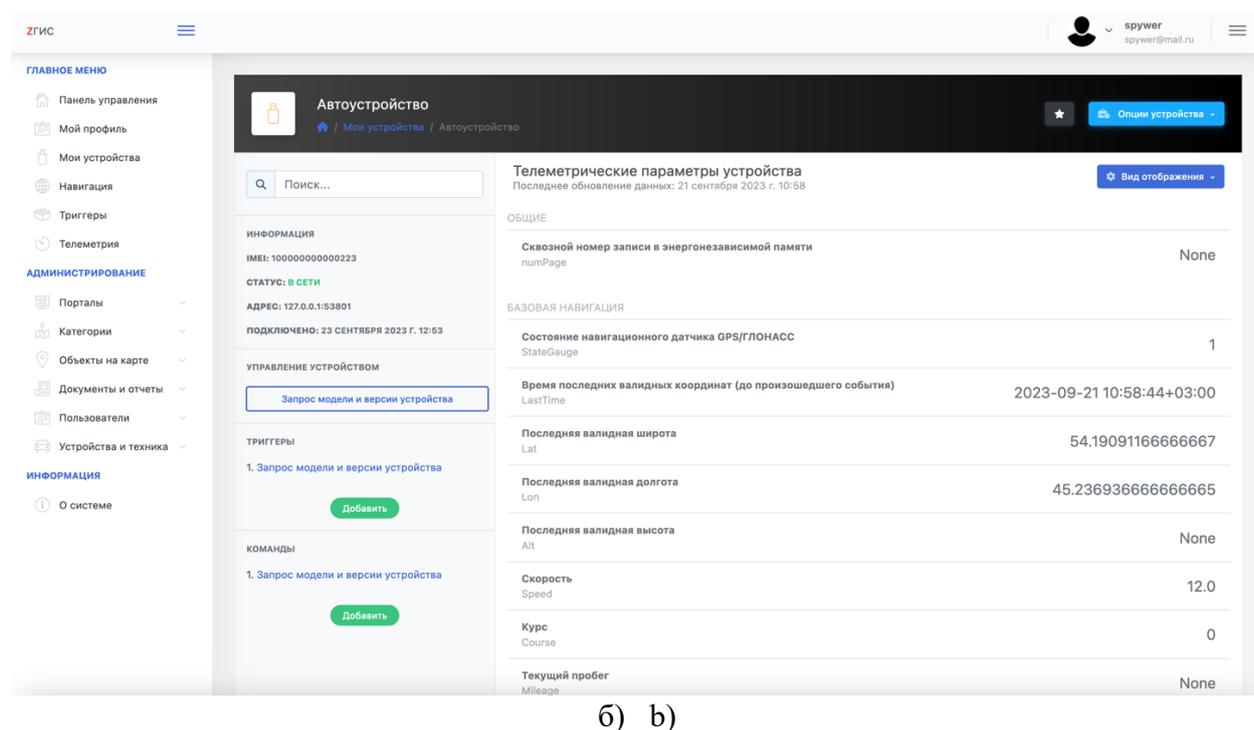
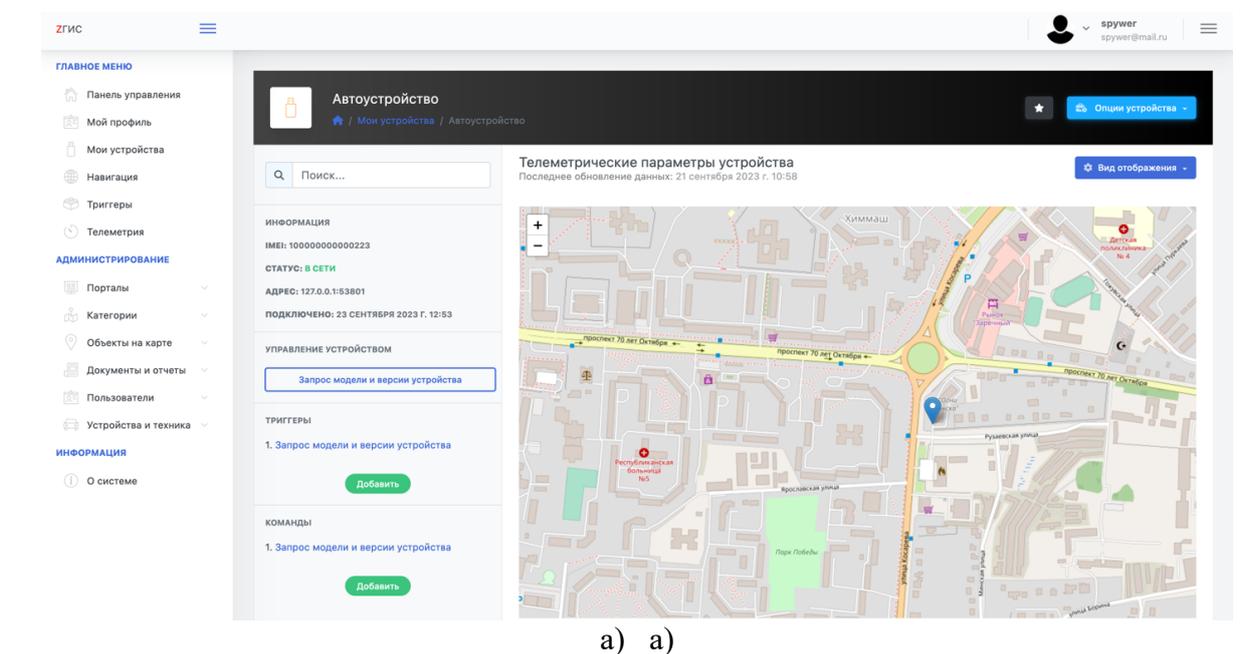


Рис. 7. Визуализация текущих параметров, получаемых с устройства с возможностью отправки управляющих команд: а) на цифровой карте, б) в форме табличных данных
Fig. 7. Visualization of current parameters received from the device with the ability to send control commands: a) on a digital map, b) with tabular data

Подсистема автоматизации процессов на основе статистических данных о пространственных процессах позволяет также учитывать изменение значений телеметрических показателей, консолидируемых с устройств, а также анализировать их агрегированное

статистическое значение, рассчитывая минимум, максимум и среднее значение. Данная функциональная возможность реализована в рамках модуля программирования триггеров, срабатывающих при наступлении определенных пространственно-определяемых условий и приводящих к целевым действиям.

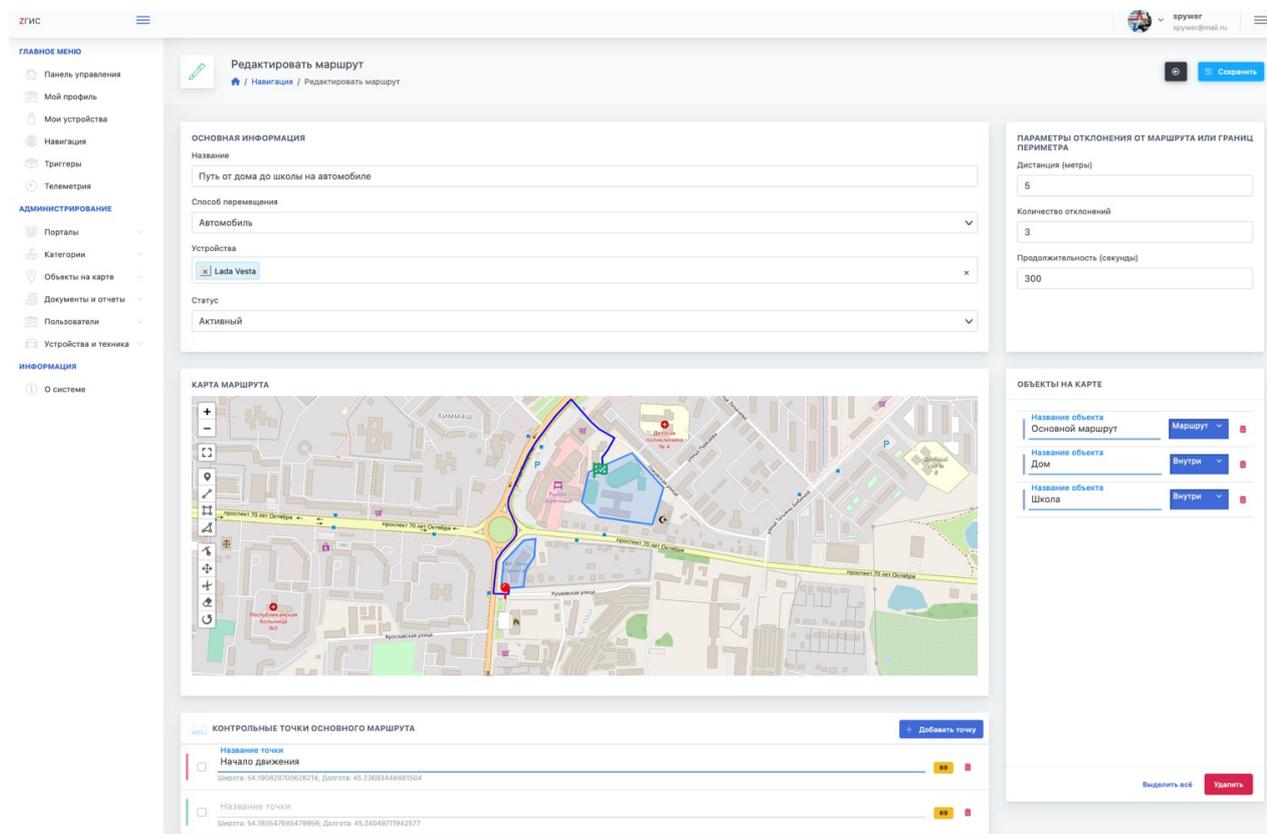


Рис. 8. Интерфейсы администратора геопортальной системы
Fig. 8. Geoportals system administrator interfaces

ВЫВОДЫ

Геопортальные системы востребованы в организационных системах, деятельность которых завязана на использовании пространственно-распределенных ресурсов: в органах регионального и муниципального управления, службах МЧС, производственных предприятиях и холдингах, логистических компаниях. Проектируемые и внедряемые на основе описанной программной платформы геопорталы представляют собой информационные системы, являющиеся инструментом поддержки принятия решений в организационных системах, деятельность которых направлена на управление природно-социально-производственными системами. Области промышленного применения: оптимальное природопользование, анализ состояния земель, мониторинг развития стихийных процессов, управление деятельностью организаций, ресурсы которых распределены на значительной территории, мониторинг социальных процессов.

Использование технологий Интернета вещей позволяет сформировать на основе геопорталов системы диспетчеризации, существенно расширяя реестр вариантов использования геопорталов в решении задач управления территориально-распределенными организационными системами. Совместное использование геопортальных систем и технологий

Интернета вещей позволяет решить задачу централизованного автоматизированного оперативного управления процессами, протекающими в системах значительного территориального охвата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Львович И. Я., Преображенский А. П., Преображенский Ю. П., Чопоров О. Н.* Проблемы использования технологий интернет вещей. Вестник Воронежского института высоких технологий, 2019. № 1(28). С. 73–75.
- Ямашкин С. А., Ямашкин А. А., Федосин С. А.* Разработка проектно-ориентированной инфраструктуры пространственных данных с применением облачных технологий. Радиопромышленность, 2019. № 3. С. 79–90.
- Ahmad S. I., Rana T., Maqbool A.* A model-driven framework for the development of MVC-based (Web) application. Arabian Journal for Science and Engineering, 2022. No. 47(2). P. 1733–1747.
- Gkonos C., Iosifescu Enescu I., Hurni L.* Spinning the wheel of design: evaluating geoportal Graphical User Interface adaptations in terms of human-centred design. International Journal of Cartography, 2019. V. 5. No. 1. P. 23–43. DOI: 10.1080/23729333.2018.1468726.
- Gkotsiopoulos P., Zorbas D., Douligeris C.* Performance determinants in LoRa networks: A literature review. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2021. No. 23(3). P. 1721–1758.
- Gopikumar S., Banu J. R., Robinson Y. H., Shanmuganathan V., Kadry S., Rho S.* Novel framework of GIS based automated monitoring process on environmental biodegradability and risk analysis using Internet of Things. Environmental Research, 2021. No. 194. 110621.
- Laghari A. A., Wu K., Laghari R. A., Ali M., Khan A. A.* A review and state of art of Internet of Things (IoT). Archives of Computational Methods in Engineering, 2021. P. 1–19.
- Lee J., Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. Big Data Research, 2017. V. 2. No. 2. P. 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Mishra B., Kertesz A.* The use of MQTT in M2M and IoT systems: A survey. IEEE Access, 2020. No. 8. P. 201071–201086.
- O'Connell M., Druyor C., Thompson K. B., Jacobson K., Anderson W. K., Nielsen E. J., Kleb B.* Application of the dependency inversion principle to multidisciplinary software development. Fluid Dynamics Conference, 2018. 3856.
- Safari Bazargani J., Sadeghi-Niaraki A., Choi S. M.* A survey of GIS and IoT integration: Applications and architecture. Applied Sciences, 2021. No. 11(21). 10365.
- Sotiropoulos T., Chaliasos S., Atlidakis V., Mitropoulos D., Spinellis D.* Data-oriented differential testing of object-relational mapping systems. 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE), 2021. P. 1535–1547.

REFERENCES

- Ahmad S. I., Rana T., Maqbool A.* A model-driven framework for the development of MVC-based (Web) application. Arabian Journal for Science and Engineering, 2022. No. 47(2). P. 1733–1747.
- Gkonos C., Iosifescu Enescu I., Hurni L.* Spinning the wheel of design: evaluating geoportal Graphical User Interface adaptations in terms of human-centred design. International Journal of Cartography, 2019. V. 5. No. 1. P. 23–43. DOI: 10.1080/23729333.2018.1468726.
- Gkotsiopoulos P., Zorbas D., Douligeris C.* Performance determinants in LoRa networks: A literature review. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2021. No. 23(3). P. 1721–1758.

- Gopikumar S., Banu J. R., Robinson Y. H., Shanmuganathan V., Kadry S., Rho S.* Novel framework of GIS based automated monitoring process on environmental biodegradability and risk analysis using Internet of Things. *Environmental Research*, 2021. No. 194. P. 110621.
- Laghari A. A., Wu K., Laghari R. A., Ali M., Khan A. A.* A review and state of art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2021. P. 1–19.
- Lee J., Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*, 2017. V. 2. No. 2. P. 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
- Lvovitch I. Ya., Preobrazhensky A. P., Preobrazhensky Yu. P., Choporov O. N.* Problems of using Internet of Things technologies. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*, 2019. No. 1(28). P. 73–75 (in Russian).
- Mishra B., Kertesz A.* The use of MQTT in M2M and IoT systems: A survey. *IEEE Access*, 2020. No. 8. P. 201071–201086.
- O’Connell M., Druyor C., Thompson K. B., Jacobson K., Anderson W. K., Nielsen E. J., Kleb B.* Application of the dependency inversion principle to multidisciplinary software development. *Fluid Dynamics Conference*, 2018. 3856.
- Safari Bazargani J., Sadeghi-Niaraki A., Choi S. M.* A survey of GIS and IoT integration: Applications and architecture. *Applied Sciences*, 2021. No. 11(21). 10365.
- Sotiropoulos T., Chaliasos S., Atlidakis V., Mitropoulos D., Spinellis D.* Data-oriented differential testing of object-relational mapping systems. *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE)*, 2021. P. 1535–1547.
- Yamashkin S. A., Yamashkin A. A., Fedosin S. A.* Development of a project-oriented spatial data infrastructure using cloud technologies. *Radio Industry*, 2019. No. 3. P. 79–90 (in Russian).
-