

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ ГЕОПОРТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРИРОДНО-СОЦИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ¹

Ямашкин С.А., Ямашкин А.А.
МГУ им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия
yamashkinsa@mail.ru

Аннотация. В статье дана характеристика решения задачи управления крупномасштабными природно-социально-производственными системами на геопортальных технологиях. Предложена модель использования системы дистанционного мониторинга и управления пространственно-распределенными объектами на основе концепции интернета вещей. Ядром системы являются геопорталы, функционирующие как инструмент диспетчеризации и мониторинга пространственных объектов.

Ключевые слова: геопортал, природно-социально-производственные системы, метагеосистемы, управление, пространственные данные, интернет вещей.

Введение

В национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 58570-2019 «Инфраструктура пространственных данных. Общие требования», введенном в 2020 году определены ключевые направления и принципы внедрения инфраструктур пространственных данных (ИПД) как инструмента управления ресурсами пространственных данных на локальном, региональном, межрегиональном, национальном и международном уровнях, конкретизированы требования к функциональным и качественным особенностям информационно-телекоммуникационных систем данного класса. Определена необходимость эффективного доступа к большим массивам пространственной информации со стороны коммерческих и научных организаций, государственных структур и граждан. Отдельное внимание отведено геопорталам, как информационным системам, играющих роль точки доступа к возможностям ИПД и функционирующих на основе веб-технологий [1]. Центральное место в геопорталах закреплено за модулем цифровой интерактивной карты, предоставляющей оптимизированный доступ к тематическим наборам разнородных пространственных данных [2]. Данный компонент обеспечивает реализацию инструмента поиска пространственно-ассоциированной информации, а также реализует набор иных целевых возможностей.

Традиционно, функциям мониторинга и визуализации отводится центральная роль в контексте внедрения геопорталов. Их эффективная реализация позволяет решать ряд задач управления организационными системами, объекты и ресурсный потенциал которых распределены на значительном пространстве. В широком смысле, объектом управления при этом становятся крупномасштабные природно-социально-производственные системы (ПСПС) или метагеосистемы, иерархически организованные структуры связанных и взаимодействующих между собой природных, общественных и хозяйствующих компонентов различного типа и территориального охвата [3]. При этом, задачи оперативного обновления данных геопортала и возможность эффективного дистанционного управления ПСПС остаются открытыми и требующими решения. В данном контексте значительный потенциал приобретает интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT) – концепция и система технологий, основанная на использовании возможностей межмашинного взаимодействия для решения практико-ориентированных задач [4]. Одновременно с этим роль интернета вещей не определена в системе стандартов, связанных с построением ИПД.

Цель исследования направлена на разработку принципов интеграции оперативных пространственных данных в ИПД и обеспечения функции дистанционного управления метагеосистемами на основе использования интернета вещей и геопортальных систем. В статье предложена система рекомендаций для проектирования, разработки и развертывания проблемно-ориентированных геопортальных систем для обеспечения поддержки процессов принятия управленческих решений в области устойчивого развития. Концепция интернета вещей призвана расширить возможности ИПД как практико-ориентированного инструмента управления ПСПС, как организационными системами, распределенными в рамках значительного территориального масштаба.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00651 (<https://rscf.ru/project/22-27-00651/>).

1. Микросервисный подход в ИПД

В настоящее время в решении задач проектирования, разработки и внедрения сложных информационных систем закрепились ведущая роль микросервисного подхода, при котором делается акцент на создание относительно небольших автономных программных и программно-аппаратных компонентов с четко определенными функционалом и интерфейсами [5].

Микросервисный подход уводит от необходимости разработки больших монолитных систем, интегрирующих в себе значительное количество функциональных возможностей и ориентирует на организацию распределенных программно-аппаратных комплексов, основанных на работе набора изолированных сервисов, каждый из которых характеризуется следующим набором свойств:

1) выполняет свою и только свою конкретную целевую задачу, по возможности может быть перенесен из одной системы в другую при минимальных затратах на установку и модификацию;

2) позволяет взаимодействовать с собой на основе использования стандартизированных и четко регламентированных интерфейсов без необходимости вникать в подробности конкретной реализации инкапсулированных алгоритмов;

3) имеет относительно небольшой размер, в идеале поддерживается одной командой разработчиков, что минимизирует угрозу полной утраты функциональности инфраструктуры в целом при блокировке возможности использования одного сервиса;

4) может быть реализован на основе конкретного набора технологий (паттернов, языков программирования, системного программного обеспечения), который наиболее эффективен в решении поставленной задачи.

Микросервисный подход, постулирующий упрощение изолированных компонентов системы влечет усложнение требований к организации инфраструктуры в целом, в том числе алгоритмов оркестрации, решающих проблему автоматического и автоматизированного управления набором сервисов и служб. Однако, крупные системы, разворачиваемые на основе микросервисного подхода характеризуются при этом большей устойчивостью, хорошей модифицируемостью и эффективной расширяемостью.

Не обошел микросервисный подход и область проектирования ИПД: в национальных стандартах закреплена необходимость и целесообразность формирования набора сервисов интеграции, обработки, анализа, визуализации и распространения пространственных данных. Одновременно с тем, что при микросервисном подходе целесообразно отойти от построения сложных многофункциональных программно-аппаратных систем, следует выделить архитектурные контексты, позволяющие группировать отдельные сервисы ИПД по назначению.

1) Геопорталы, выполняющие роль интерактивной визуализации и распространения тематических массивов пространственных данных, представляющие собой проблемно-ориентированных инструмент анализа пространственно-ассоциированной информации о метагеосистемах;

2) Сервисы автоматического и автоматизированного анализа пространственных данных, решающие задачу аналитической обработки и трансформации интегрированных в ИПД больших массивов информации о ПСПС для осуществления поддержки процесса принятия управленческих решений;

3) Системы хранения пространственных данных, формируемые на основе мультимодельных распределенных систем управления базами пространственных данных, для структурирования согласованных массивов пространственно-ассоциированной информации о ПСПС, решения задач создания, чтения, модификации и удаления (CRUD) и аналитической обработки в режиме реального времени (OLAP);

4) Внешние агенты поставки пространственных данных, к которым можно отнести как сторонние ИПД и сервисы, распространяющие пространственно-ассоциированную информацию (данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), структурированные массивы различных форматов (например, GeoJSON, XML)) посредством прикладных программных и графических пользовательских интерфейсов.

Необходимо отметить, что в системе ИПД может быть развернуто несколько экземпляров микросервисов различного типа. Так, вокруг систем хранения пространственных данных может функционировать сразу несколько геопорталов, каждый из которых имеет свои графические пользовательские интерфейсы, заточенные под решение конкретных проектных задач.

С другой стороны, в рамках единой ИПД может быть развернуто и несколько хранилищ пространственных данных: например, для интеграции знаний о природных условиях, историческом и культурном наследии, хранения больших статических массивов данных и транзакций интернета вещей. Наконец, автоматизированный анализ пространственных данных также решается посредством различных наборов микросервисов: интерпретации космической съемки, прогнозирования временных

рядов, обработки цифровых моделей рельефа, проведения имитационного моделирования различных пространственных процессов и явлений и так далее.

Роль внешних компонентов ИПД, решающих задачу поставки пространственных данных, могут успешно решать системы, выстраиваемые на основе концепции интернета вещей и позволяющие организовать сеть взаимосвязанных устройств, распространенных территориально в масштабах управляемой территориальной системы, собирающих посредством системы датчиков актуальную оперативную информацию об окружающих объектах и процессах, а также способных запускать различные исполнительные устройства для достижения целевых эффектов. Концепция интернета вещей способна расширить роль геопорталов, делая их центром диспетчеризации в организационных системах, деятельность которых связана с управлением пространственно-распределенными ресурсами и принятием решений в области использования земель.

2. Геопортал как риск-ориентированная система управления ПСПС

ИПД представляет собой практико-ориентированную технологию управления крупномасштабными природно-социально-производственными системами (рисунок 1), в рамках которой геопорталы реализуют возможность доступа лица, принимающего решение (ЛПР) к сервисам визуализации и анализа тематических пространственных данных. Посредством геопортальных систем решаются задачи мониторинга состояния и дистанционного управления метагеосистемами. Геопорталы представляют собой информационные системы, функционирующие на основе веб-технологий [7]. Центральным элементом геопортала является цифровая карта, с использованием которой реализуется возможность послойного динамического отображения различных тематических слоев пространственных данных.

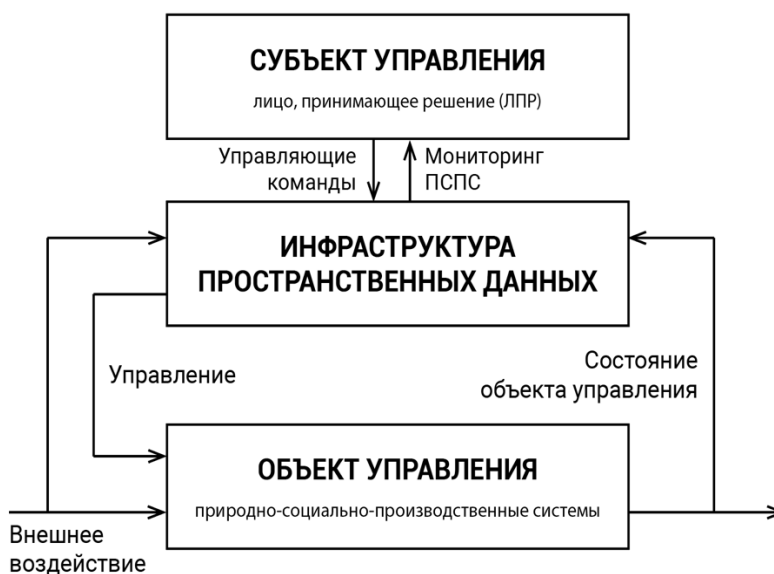


Рис. 1. Инфраструктура пространственных данных как практико-ориентированная технология управления природно-социально-производственными системами

Для обеспечения эффективности внедрения геопорталов необходимо решить задачу проблемной ориентации системы. Чтобы обеспечить выполнение данного требования, важно использовать риск-ориентированный подход: если геопортал является инструментом управления рисками и способствует минимизации негативных последствий угроз и максимизации использования возможностей, то внедрение систем данного класса становится обоснованным и оправданным. Исходя из определения природно-социально-производственной системы можно выделить следующие группы управляемых рисков:

- 1) природные – возникновение и распространение стихийных природных и природно-техногенных процессов и чрезвычайных ситуаций.
- 2) экономические – появление аварийных ситуаций в производственных системах, изменение условий, влияющих на процессы в организационных системах.
- 3) социальные – изменение процессов, связанных с проявлением общественных и гуманитарных ситуаций.

Важно понимать, что возникающие риски не существуют изолированно, приводя к возникновению новых рисков [8]. Так, чрезвычайные природные ситуации влекут за собой возникновение рисков, связанных с функционированием народного хозяйства, а также часто имеют серьезные социальные последствия.

Для достижения свойства проблемной ориентации внедряемых ИПД и геопортальных систем, процесс управления рисками должен быть интегрирован в жизненный цикл геоинформационных систем. В базовом приближении каждое рисковое событие может быть охарактеризовано такими параметрами как вероятность возникновения и степень влияния (которая может быть измерена как в финансовых показателях, так и метриках другой природы) [9].

Набор рисков важно представить в форме дерева причинно-следственных связей, характеризующего способность одних рисков событий порождать другие (рисунок 2). Вершинами дерева при этом будут являться рисковые события. В том случае, если мы анализируем причинно-следственные связи между рисковыми событиями, на показатель важности риска начинает влиять не только его собственная вероятность возникновения и непосредственно определяемая степень влияния, но и важность дочерних рисков, возникающих как его следствие с определенной вероятностью r .

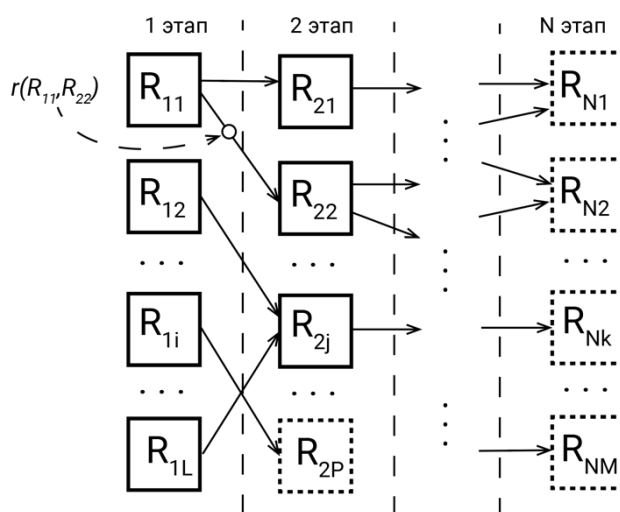


Рис. 2. Дерево причинно-следственных связей между управляемыми рисками в ПСПС

Консолидация информации о рискованных событиях, не характерных для конкретной организационной системы в рамках определенного региона – процесс, приводящий к появлению излишних расходов временных и финансовых ресурсов. Так, для одних географических областей актуально внедрение геопорталов мониторинга сейсмической активности, а в других это не имеет смысла. С другой стороны, туристические геопорталы актуальны в первую очередь для регионов с богатым историческим, природным и культурным наследием. Для решения задачи управления рисками, проблемно-ориентированные геопорталы должны характеризоваться как набором определенных функциональных характеристик, так и качественных свойств.

Целесообразно выделить два типа функциональных требований к внедряемым геопортальным системам: общие (каркасные) и частные, характерные для конкретного внедряемого решения.

Каркасные функциональные требования характерны для 80% внедряемых геопортальных систем различных тематических направленностей и регионов внедрения: манипулирование цифровой картой, динамическая визуализация тематических слоев, семантический поиск пространственных объектов, CRUD-редактирование базы данных, интеграция с компонентами интернета вещей и внешними поставщиками пространственных данных для решения задачи мониторинга состояния ПСПС и дистанционного управления распределенными в пространстве объектами.

На основе реализации каркасных вариантов использования могут быть созданы геопортальные фреймворки, позволяющие облегчить и удешевить процесс внедрения геопорталов в различные организационные системы. Частные функциональные требования могут реализовываться в отдельных геопорталах для решения конкретных проектных задач. Их перечень определяется факторами: цели внедряющей организационной системы и особенности региона внедрения.

На рисунке 3 представлены графические интерфейсы двух геопорталов для тестового полигона «Мордовия» (расположен между 53°38' и 55°11' с. ш., 42°11' и 46°45' в. д.). Цифровая карта «Природное и культурное наследие Мордовии», содержит тематические слои («Реки», «Особо охраняемые

природные территории», «Археология», «Населенные пункты», «Соборы и храмы», «Музеи», «Этнокультурные центры», «Туристские маршруты»), направленные на решение задачи управления рисками, связанными с использованием туристического потенциала региона. Геопортал «Метагеосистемы Мордовии» раскрывает особенности взаимодействия лесостепных и лесных геосистем Приволжской возвышенности и Окско-Донской низменности в серии тематических карт слоев, формирующих знания о метагеосистемах и ландшафтах, геологии, подземных водах, рельефе, почвах, растительности и системах землепользования.

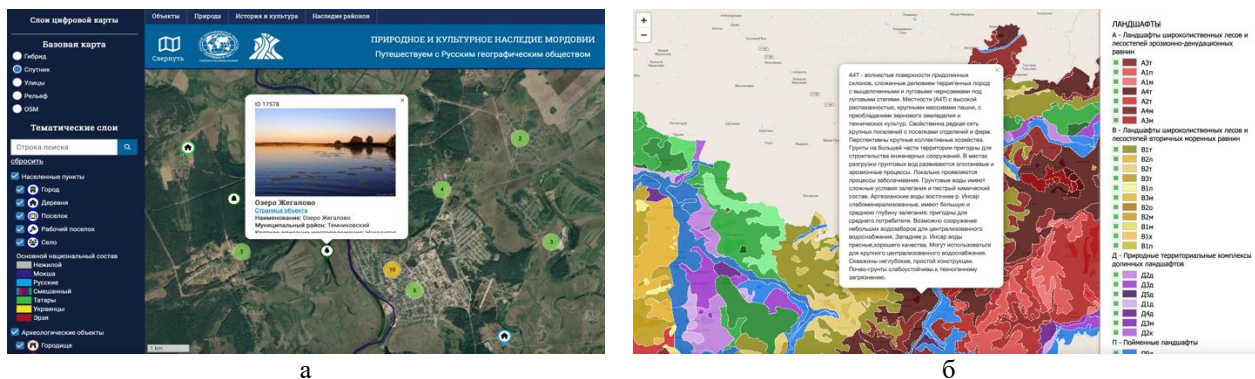


Рис. 3. Графические интерфейсы проблемно-ориентированных геопорталов: а) цифровая карта «Природное и культурное наследие Мордовии. Путешествуем с Русским географическим обществом», б) геопортал «Метагеосистемы Мордовии»

Среди множества важных качественных требований к геопортальным системам выделены: адаптивность под различные устройства и интуитивная понятность графических интерфейсов, модифицируемость и расширяемость, надежность и безопасность, защищенность хранилища пространственных данных.

3. Интернет вещей в системе ИПД

Интернет вещей представляет собой концепцию сети передачи данных, в рамках которой узлами являются физические объекты, оснащённые средствами и технологиями для взаимодействия между собой и окружающей средой. Ключевой стратегической задачей интернета вещей является перестройка хозяйственных и общественных процессов в направлении исключения необходимости участия человека из ряда возможных операционных процессов [10]. Внедрение интернета вещей особенно актуально для организационных систем, деятельность которых направлена на использование пространственно-распределенных ресурсов и управление ПСПС значительного территориального масштаба (рисунок 4).

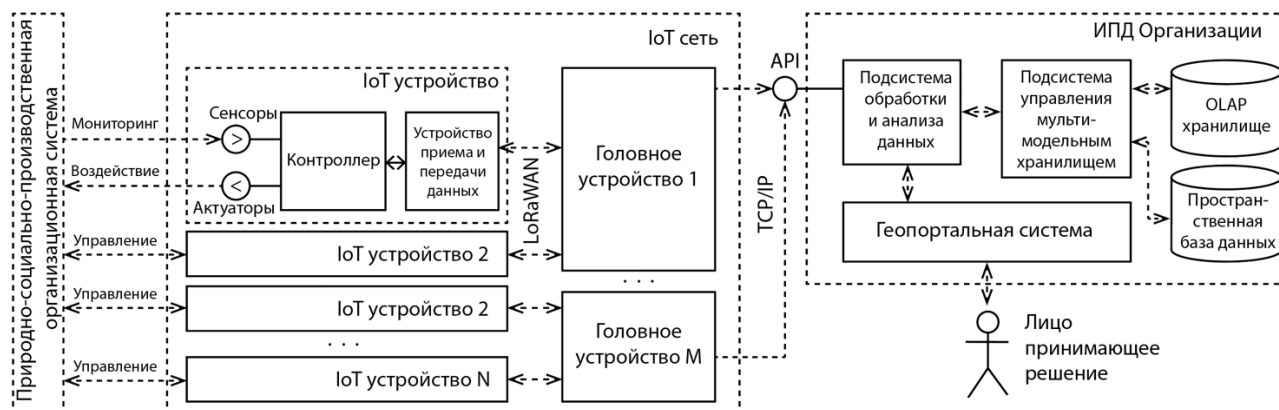


Рис. 4. Архитектура системы управления ПСПС на основе технологии интернета вещей и геопортальных систем

Классическая организация базовой версии устройства интернета вещей (IoT устройства) основана на использовании следующих компонентов:

1) Контроллер – управляющее устройство, решающее задачу интеграции остальных компонентов (сенсоров, актуаторов, приемников и передатчиков данных) в единую систему, позволяющее автоматизировать различные алгоритмы обработки данных;

2) Набор сенсоров (датчиков) – отдельное устройство, предназначенное для сбора данных об окружающих условиях (температуры, влажности почвы и воздуха, качества воздуха (углекислого газа), ГЛОНАСС/GPS-сигналов, фото и видео изображения) и генерации сигнала измерительной информации для последующей его обработки контроллером;

3) Система исполнительных устройств (актуаторов) – устройство, реализующее приложение усилия с целью запуска и функционирования исполнительного механизма на основе сигналов контроллера для реализации целевого действия (управления микроклиматом, закрытия/открытия дверей, автоматизированного полива и так далее);

4) Устройство приема и передачи данных –предназначены для коммуникации по определенному каналу связи, на основе определенного способа передачи сигнала, технологий и протоколов его обработки.

С точки зрения физической реализации одни компоненты могут быть интегрированы в другие, например, контроллер может быть оснащен модулем передачи данных средствами беспроводной связи. Важно помнить и то, каким образом будет осуществляться питание устройства, в том числе будет обеспечиваться достаточные требования к автономности устройств.

Таким образом, устройства интернета вещей получают способность как регистрировать информацию об отдельные объектах и процессах в ПСПС, а также выполнять различные целевые действия по воздействию на окружающую среду. Однако, для того, чтобы получить от них эффект, необходимо объединение устройств в сеть интернета вещей. Эту проблему можно решить различными способами: посредством сотовой связи различных стандартов (классический подход для реализации систем ГЛОНАСС-мониторинга), сетей Wi-Fi (для управления системой устройств в ограниченном радиусе), энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия (LPWAN) и так далее.

Каждая технология приема-передачи данных имеет свои преимущества и недостатки. Так, на рисунке 5 представлена диаграмма рассеяния, характеризующая стандарты и технологии передачи данных с точки зрения таких показателей как дальность передачи и пропускная способность [11]. Красным цветом показаны стандарты, требующие оплаты услуг поставщиков связи, а зеленым – реализующие свой функционал без таких требований.

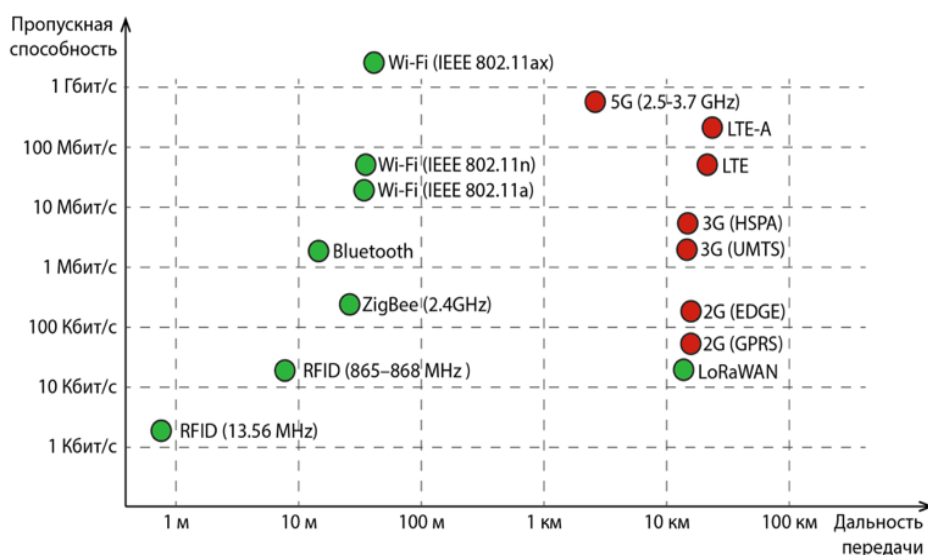


Рис. 5. Диаграмма, характеризующая пропускную способность и дальность передачи у различных стандартов передачи данных в сетях интернета вещей

Отдельное место на диаграмме занимает технология LoRaWAN (англ. Long Range Wide Area Network), предполагающая использование передатчиков LoRa (англ. Long Range) для решения задачи модуляции маломощной сети передачи данных [12]. Для обозначенной технологии характерна высокая дальность передачи данных при отсутствии необходимости оплаты услуг сторонних провайдеров связи. При этом, для LoRa-передатчиков характерна достаточно низкая скорость передачи данных (до 50 кбит/с), которая, однако, удовлетворительна для решения задачи передачи телеметрии (значений,

собираемых с датчиков) и управляющих команд. Кроме этого, LoRa-передатчики характеризуются значительной автономностью работы.

Представленные преимущества и характерные особенности технологии построения сетей интернета вещей LoRaWAN позволяют предложить организацию системы мониторинга и системы управления ПСПС. Для ее функционирования необходим ввести еще один тип устройств: головные, которые призваны стать узлами сбора данных с устройств интернета вещей, распределенных на значительной территории. Головное устройство, или хаб, включает в себя LoRa-передатчик (принимает сигнал от распределенных LoRa-устройств и отправляет на них управляющие команды), контроллер (обрабатывает сигналы, передаваемые и получаемые от устройств), а также передатчик данных в ИПД Организации. Роль последнего обозначенного компонента IoT-сети могут выполнять устройства разного типа: Wi-Fi-передатчики, проводные технологии передачи данных, модули передачи информации в рамках сотовых сетей (посредством SMS или мобильного интернета).

Головные устройства консолидируют информацию с распределенных устройств интернета вещей и передают ее в ИПД посредством главным образом протокола TCP/IP на прикладные программные интерфейсы (API). Первичную обработку поступающей телеметрии осуществляют микросервисы подсистемы обработки и анализа данных ИПД, затем передающие их подсистеме управления мультимодельным хранилищем пространственных данных для их записи в OLAP-хранилища, которые могут быть организованы на основе колоночных СУБД, таких как ClickHouse.

Представленная на рисунке 4 архитектура системы управления ПСПС на основе технологии интернета вещей имеет одно важное свойство: ее масштабирование с ростом устройств не влечет лавинного роста стоимости оплаты услуг сторонних провайдеров связи, что позволяет серьезно снизить издержки на внедрение и эксплуатацию системы. Кроме этого, важно понимать, что сотовая связь, функционирует не везде.

Интегрируемые знания, поступающие от пространственно распределенных агентов интернета вещей, приобретают практическую ценность при возможности их обработки лицом, принимающим решение (ЛПР) с использованием проблемно-ориентированных технологий. При решении задачи управления ПСПС с использованием ИПД роль такого инструмента может быть успешно возложена на геопортальные системы.

В этом случае, геопорталы, традиционно представляющие собой инструмент эффективной визуализации тематических пространственных данных, начинают играть роль центров диспетчеризации. Использование систем данного класса начинает позволять осуществлять централизованный мониторинг и дистанционное управление в ПСПС. Для всех IoT-устройств на цифровой карте геопортала может быть визуализирована информация, консолидированная с датчиков. Также в рамках геопорталов реализуется и обратная функция: отправка управляющих команд посредством графического веб-интерфейса.

4. Заключение

В статье дана характеристика процесса разработки принципов интеграции оперативных пространственных данных в ИПД и обеспечения функции дистанционного управления ПСПС на основе использования интернета вещей и геопортальных систем. Показано, что концепция интернета вещей призвана расширить возможности ИПД как практико-ориентированного инструмента управления крупномасштабными метагеосистемами, как организационными системами, распределенными в рамках значительного территориального масштаба.

ИПД целесообразно декомпозировать на подсистемы обработки и анализа, хранения и распространения пространственных данных, представляющие собой систему изолированных сервисов. Геопорталы представляет собой практико-ориентированную технологию управления ПСПС, в рамках которой реализуется возможность доступа ЛПР к сервисам визуализации и анализа тематических пространственных данных. Эффективность внедрения геопортала может быть обеспечена только при условии проблемной ориентации системы, что может быть достигнуто при условии вовлечения риск-ориентированного подхода, делающего внедрение систем данного класса обоснованным и оправданным.

Концепция интернета вещей способна расширить роль геопорталов, как ключевых сервисов ИПД, делая их центром диспетчеризации в организационных системах, деятельность которых связана с управлением пространственно-распределенными ресурсами и принятием решений в области использования земель. Представленная архитектура системы управления ПСПС на основе технологии интернета вещей, предполагающая формирование сети LoRa-устройств (головных и подчиненных) характеризуется рядом преимуществ, в том числе низкой стоимостью внедрения и эксплуатации.

Литература

1. *Lee J., Kang M.* Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. – Big Data Research. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 74–81. DOI: 10.1016/j.bdr.2015.01.003.
2. *Кошкарёв А. В.* Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 1. – С. 119–126.
3. *Yamashkin S. A., Yamashkin A. A., Zanozin V. V., Radovanovic M. M., Barmin A.N.* Improving the efficiency of deep learning methods in remote sensing data analysis: geosystem approach // IEEE Access. – 2020. – V. 8. – P. 179516–179529.
4. *Mrabet H., Belguith S., Alhomoud A., Jemai A.* A survey of IoT security based on a layered architecture of sensing and data analysis // Sensors. – 2020. – V. 20, № 13. – 3625.
5. *Aksakalli I. K., Çelik T., Can A. B., Tekinerdoğan B.* Deployment and communication patterns in microservice architectures: A systematic literature review // Journal of Systems and Software. – 2021. – V. 180. – 111014.
6. *Al-Saqa S., Sawalha S., AbdelNabi H.* Agile software development: Methodologies and trends // International Journal of Interactive Mobile Technologies. – 2020. – V. 14, № 11. – DOI: 10.3991/ijim.v14i11.13269
7. *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, № 1. – P. 23–43. DOI: 10.1080/23729333.2018.1468726.
8. *Räsänen A., Lein H., Bird D., Setten G.* Conceptualizing community in disaster risk management // International journal of disaster risk reduction. – 2020, V. 45. – 101485.
9. *Aniche M., Yoder J., Kon F.* Current challenges in practical object-oriented software design // 2019 IEEE ACM 41st International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER). – 2019. – P. 113–116.
10. *Правосудов А. Р., Ямашкин С. А.* Интернет вещей: организация автоматизированного полива // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 2. – С. 83–87.
11. *Kumar S., Tiwari P., Zymbler M.* Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review // Journal of Big data. – 2019. – V. 6, № 1. – P. 1–21.
12. *Almuhaya M. A., Jabbar W. A., Sulaiman N., Abdulmalek S.* A survey on LoRaWAN technology: Recent trends, opportunities, simulation tools and future directions // Electronics. – 2022. – V. 11, № 1. – 164.