

# Моделирование и использование пространственных данных для управления сложными распределёнными системами

Е.С. Брекоткина  
Институт экономики и управления  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: brekotkina@mail.ru

Р.А. Гилязов  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: verols335@gmail.com

С.В. Павлов  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: psvgis@mail.ru

В.Д. Трубин  
Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: vladislav-trubin@rambler.ru

## Аннотация

С появлением в настоящее время новых источников и технологий получения данных о местоположении объектов и систем в целом, а также их интеграции в методы и алгоритмы управления в реальном времени – сформировались условия для более современного и качественного использования компьютерных технологий в управлении сложными распределёнными системами (СРС). Сложность таких систем, в том числе, заключается в существенной физической удалённости составляющих компонент системы друг от друга, а также значительным и быстрым во времени изменением их характеристик. К таким системам можно отнести крупные предприятия и организации, имеющие территории, производственные объекты и подразделения, удалённые друг от друга. Одним из наиболее распространённых классов сложных распределённых систем являются большие предприятия и организации, структурные и/или производственные подразделения которых размещаются на значительном (от нескольких сот метров до десятков и сотен километров) расстоянии друг от

друга и от центра принятия решений (центра управления). Для эффективного получения и использования всей необходимой информации предлагается организовать ее хранение в одной распределённой базе данных, в свою очередь для синтеза структуры данных в соответствии с общепринятой технологией проектирования информационных систем необходимо провести анализ требований ко всей информации в целом и по отдельным подразделениям. Предложен формальный метод синтеза структуры пространственных данных в сложных распределённых системах, основанный на теоретико-множественном описании и анализе всех необходимых для целей управления данных, который позволяет создавать распределённую базу пространственных данных и организовывать доступ к ней различных пользователей, включая алгоритмы и методы управления.

**Ключевые слова:** сложные распределённые системы; информационная поддержка управления; модели и методы управления; пространственные данные; модели данных; синтез структуры данных.

## 1. Введение

С появлением в настоящее время новых источников и технологий получения данных о местоположении объектов и систем в целом, а также их интеграции в методы и алгоритмы управления в реальном времени – сформировались условия для более современного и

---

Труды Восьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 6-9 октября, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2020

качественного использования компьютерных технологий в управлении сложными распределенными системами (СРС). Сложность таких систем, в том числе, заключается в существенной физической удаленности составляющих компонент системы друг от друга, а также значительным и быстрым во времени изменением их характеристик. К таким системам можно отнести крупные предприятия и организации, имеющие территории, производственные объекты и подразделения, удаленные друг от друга. Работа СРС и управление ими существенно зависит от качественной эксплуатации и управления инженерными сооружениями и коммуникациями (здания, территория; электрические, водопроводные, тепловые, телекоммуникационные, охранные сети и др.), а на эти составляющие, в свою очередь, существенно влияет наличие информации о местоположении и взаимном расположении объектов инфраструктуры. Поэтому, одной из типовых задач управления СРС является создание корпоративной системы хранения и обработки пространственной информации, (которая называется геоинформационной системой (ГИС)), обеспечивающей информационную поддержку управленческих решений.

В соответствии с общепринятым подходом, разработка информационной системы включает решение ряда задач, основанных на применении методов системного анализа. В ходе процесса сбора требований и постановки задач, выполняемых распределенной системой, формируется первоначальная иерархическая концепция, которая в последствие расширяется и дополняется по мере поступления новых требований и выявления новых проблем на последующих этапах проектирования. В данной статье предложены некоторые взгляды авторов на моделирование и использование

пространственных данных для управления СРС на примере Уфимского государственного авиационного технического университета (далее Университет).

## 2. Структура хранения и использования пространственных данных.

В идеале, подобные системы должны отображать информационные потребности всех или максимально возможного числа пользователей для поддержки их очень разноплановых решений. В работах [4, 5] авторами представлен предварительный анализ информационных потребностей различных категорий пользователей, использующих пространственную информацию для управлением СРС различного уровня: от крупных территориально распределённых предприятий и организаций до субъектов Российской Федерации (на примере Республики Башкортостан).

Структура хранения и использования пространственных данных, помимо собственно данных и атрибутивной информации, должна включать в себя решаемые задачи и пользователи системы, как людей, так и алгоритмы управления. Представленная на рис. 1 структура хранения и использования пространственных данных Университета отражает некоторые типовые пользовательские роли в подобной распределённой системе. Уже на этом этапе разработки видна тенденция к использованию методов типового проектирования информационной системы, то есть создания решения, пригодного для многократного использования. Основным условием для использования таких методов является возможность декомпозиции проектируемой информационной системы на составляющие компоненты (подсистемы, программные модули, комплексы выполняемых задач и др.), для реализации которых можно выбрать типовые проектные решения, которые будут настроены на нужды конкретной СРС [2].

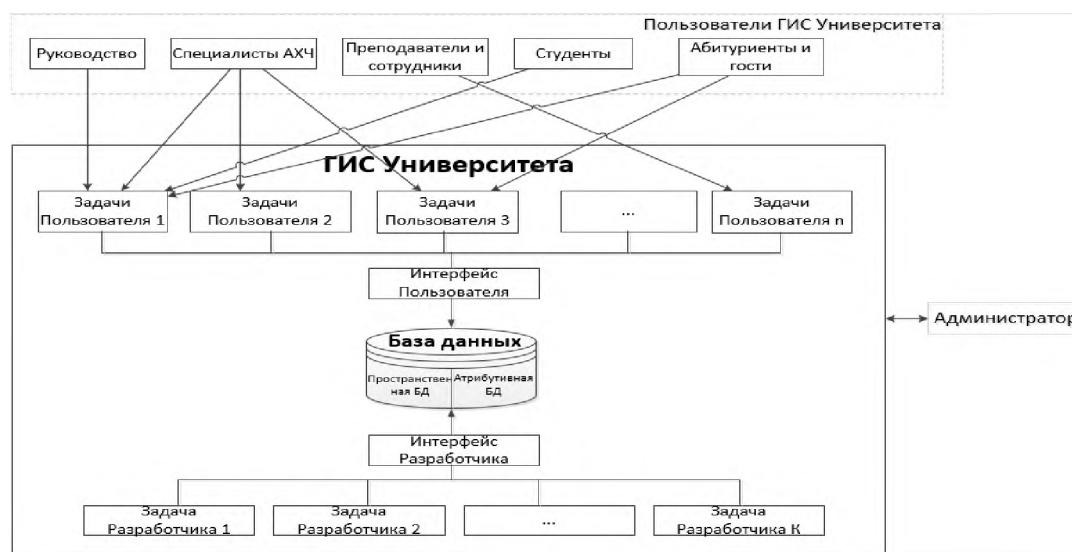


Рис. 1 – Структура хранения и использования пространственной информации

### 3. Моделирование пространственных данных

Управление сложными распределёнными системами основано на использовании большого количества разнородной пространственной информации большим количеством специалистов и пользователей различного профиля и различной степени подготовленности [1,3,4], поэтому для разработки распределённой базы пространственных данных (РБД), необходимо провести анализ требований к информации Университета в целом и по подразделениям. В работах [1,3,6] авторами предложен формальный метод анализа и синтеза моделей данных в распределённых информационных системах различного назначения. В соответствии с этим подходом, для формализованного описания введём следующие обозначения: базу данных  $i$ -ого подразделения обозначим как БД $_i$ . Тогда вся информация в распределённой базе данных может быть представлена следующим образом:

$$\text{РБД} = \bigcup_{i=1}^n \text{БД}_i, \quad (1)$$

где  $n$  – количество подразделений Университета. Учитывая сложную структуру организации, а именно переменное количество её подразделений и наличие собственной информации каждого из них, все специализированные данные  $i$ -ого подразделения предлагается хранить в отдельной базе данных – БСД $_i$ , а общедоступные данные для всех подразделений в общей для всех подразделений БОД. В силу введённых обозначений:

$$\begin{aligned} \text{РБД} &= \text{БОД} \bigcup \text{БСД}_1 \bigcup \text{БСД}_2 \bigcup \dots \bigcup \text{БСД}_n \\ &= \text{БОД} \bigcup \left( \bigcup_{i=1}^n \text{БСД}_i \right), \end{aligned} \quad (2)$$

Следовательно,

$$\text{РБД} = \bigcup_{i=1}^n \text{БД}_i = \text{БОД} \bigcup \left( \bigcup_{i=1}^n \text{БСД}_i \right), \quad (3)$$

Каждая из принятых к рассмотрению баз данных разрабатывается на основе соответствующей модели данных (МД), поэтому для разработки структуры РБД в [3, 6] предлагается метод синтеза структуры или модели данных на основе анализа и взаимно-однозначного (функционального) преобразования моделей входящих в неё пространственных данных.

Обозначим модель данных каждой из БД $_i$  через МД $_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Каждая база пространственных данных содержит тематические слои пространственных (планово-картографических) данных, атрибутивные данные объектов этих слоев и связи между отношениями (таблицами) и слоями, что можно отразить в модели данных следующим образом:

$$\text{МД}_i = \{ (R_1^i, R_2^i, \dots, R_{k_i}^i, S_1^i, S_2^i, \dots, S_{m_i}^i, C_1^i, C_2^i, \dots, C_{t_i}^i) \}, \quad (4)$$

$$i = \overline{1, n},$$

где  $k_i$  – количество отношений  $R$ ,  $m_i$  – количество слоев  $S$ ,  $t_i$  – количество связей  $C$  между отношениями и слоями модели данных  $i$ -ой БД $_i$ .

Представим модель данных  $i$ -ой БД $_i$  как совокупность двух частей, описывающих атрибутивную – МД $_i^A$  и пространственную – МД $_i^S$  информацию:

$$\text{МД}_i = \text{МД}_i^A \cup \text{МД}_i^S. \quad (5)$$

В предыдущих работах мы показали, как выполняется анализ и построение структуры атрибутивных данных. В данной статье приводится применение этого, хорошо зарекомендовавшего себя на практике, подхода к анализу и моделированию пространственных (цифровых планово-картографических) данных.

В каждой  $i$ -ой МД $_i^S$  выделим две части: МД $_i^{1S}$  – часть МД $_i^S$ , описывающая информацию, входящую в состав базы общих данных, МД $_i^{2S}$  – часть МД $_i^S$ , описывающая информацию, входящую в состав базы специализированных данных. Тогда

$$\text{МД}_i^S = \text{МД}_i^{1S} \cup \text{МД}_i^{2S}. \quad (6)$$

Введем в рассмотренное множество  $Q_i$  номеров различных слоёв из МД $_i^S$ :

$$Q_i = \{1, 2, 3, \dots, k_i\}. \quad (7)$$

По аналогии с (6) в  $Q_i$  выделим две части

$$Q_i = Q_i^1 \cup Q_i^2, \quad (8)$$

где  $Q_i^1$  – определим как множество номеров слоёв из МД $_i^S$ , входящих только в эту модель данных

$$Q_i^1 = \{j: S_j^i \in \text{МД}_i \text{ и } S_j^i \notin \text{МД}_k \text{ при } k \neq i\}. \quad (9)$$

$Q_i^2$  определим как множество номеров слоёв из МД $_i^S$ , входящих еще хотя бы в одну другую модель данных.

$$Q_i^2 = \{j: S_j^i \in \text{МД}_i \text{ и } \exists l: l \neq i, S_j^l \in \text{МД}_l\}. \quad (10)$$

Учитывая введенные обозначения:

$$\begin{aligned} \text{МД}_i^{2S} &= \{S_j^i\}, j \in Q_i^1, \\ \text{МД}_i^{1S} &= \{S_j^i\}, j \in Q_i^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Тогда модель пространственных данных БОД можно представить как совокупность всех слоёв, входящих хотя бы в две МД $_i$ ,  $i = \overline{1, n}$

$$\text{МОД}^S = \{S_j^i\}, j \in \bigcup_{i=1}^n Q_i^2, \quad (12)$$

В свою очередь модель специализированных пространственных данных  $i$ -го подразделения

$$\text{МСД}_i^S = \{S_j^i\}, j \in Q_i^1, i = \overline{1, n}. \quad (13)$$

По аналогии с  $\text{МД}_i^S$  в каждой  $\text{МД}_i^A$ , в соответствии с [6], можно провести подобные преобразования и получить для  $\text{МОД}^A$  и  $\text{МСД}_i^A$  соотношения, аналогичные (12) и (13). Тогда с учетом соотношения (3) модель данных всей РБД Университета может быть представлена следующим образом:

$$\text{МД(РБД)} = \text{МОД} \bigcup_{i=1}^n \text{МСД}_i, \quad (14)$$

а МОД и  $\text{МСД}_i$  определяются преобразованиями (4) – (13).

Построение модели пространственных данных всей РБД позволяет создать базу пространственных данных, удовлетворяющую потребностям и требованиям всех подразделений и внешних пользователей. Для корректного применения предложенного подхода к информационной поддержке конкретной СРС, необходимо выполнить детальный анализ решаемых задач и необходимой пространственной информации. Применительно к Университету такой анализ представлен в работе [5], а структура пространственных данных представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Структура пространственных данных Университета

Выполняя формальный анализ этой информации по предложенному методу (соотношения (3) – (14)) разработана соответствующая модель данных (рис. 3), которая отражает общее представление о структуре организации, не затрагивая специализированные данные, необходимые для полноценной работы ГИС. Пример совместного использования специализированных данных и общей для всей организации информации представлен на рис. 4. Как видно на рис. 4, используемая в целях управления различными подразделениями Университета информация разделена на две группы: общие данные (ОД) – используемая более чем одним подразделением, а также доступная всем пользователям; специализированные данные (СД) – моделирующие процессы и объекты лишь одного подразделения и, соответственно, доступная ограниченному кругу пользователей. Подробная модель данных этого примера приведена на рис. 5.

#### 4. Использование пространственных данных для управления сложными распределёнными системами

Как уже отмечалось выше, подобная информационная система поддержки управленческих решений, с одной стороны, сама является достаточно сложной, с другой стороны, её используют в своей профессиональной деятельности специалисты из различных предметных областей. Эти специалисты зачастую не обладают достаточными навыками по использованию стандартных возможностей достаточно сложного программного обеспечения (в нашем случае это ГИС ИНГЕО) и для них, чаще всего, разрабатывается специальный эргономичный интерфейс. В целях упрощения использования системы для управления пространственными данными спроектирован пользовательский интерфейс на основе WindowsForms, который встраивается в ПО ГИС и позволяет осуществлять навигацию с помощью

дополнительного окна. В нашем случае интерфейс системы является простым и понятным для использования любым пользователем, а взаимодействие получилось очевидным и

прозрачным. Общая схема взаимодействия пользователя с системой показана на рисунке 6

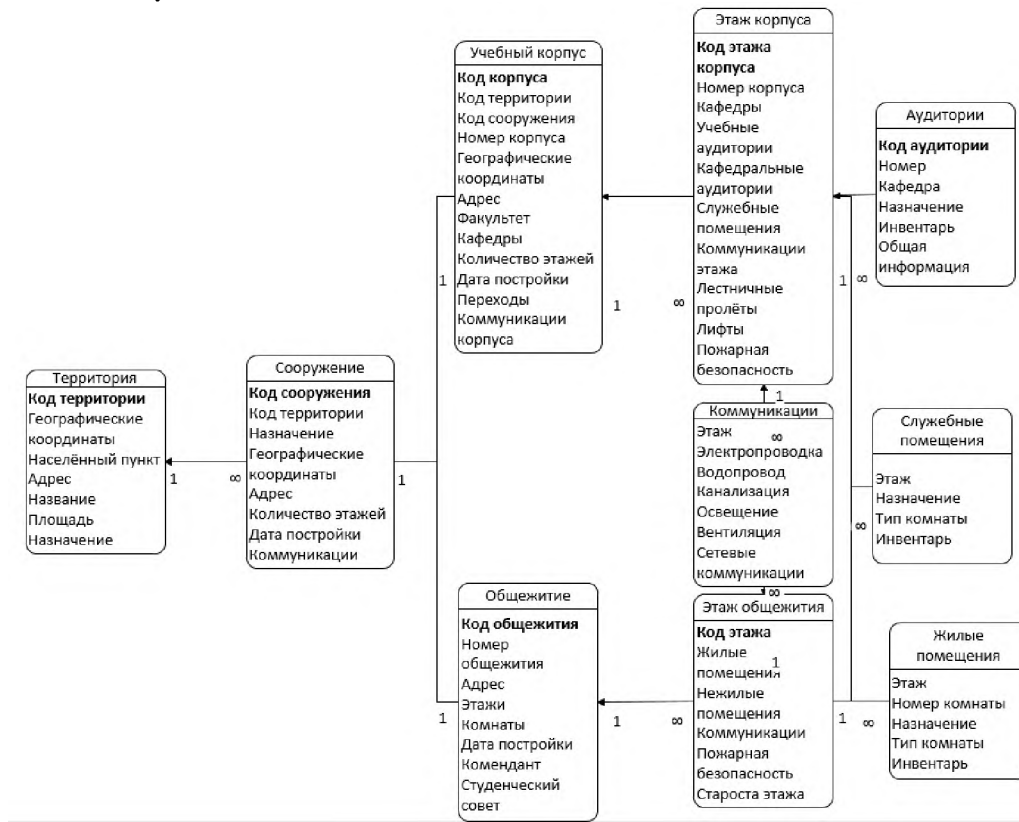


Рис. 3 – Укрупнённая модель базы данных Университета

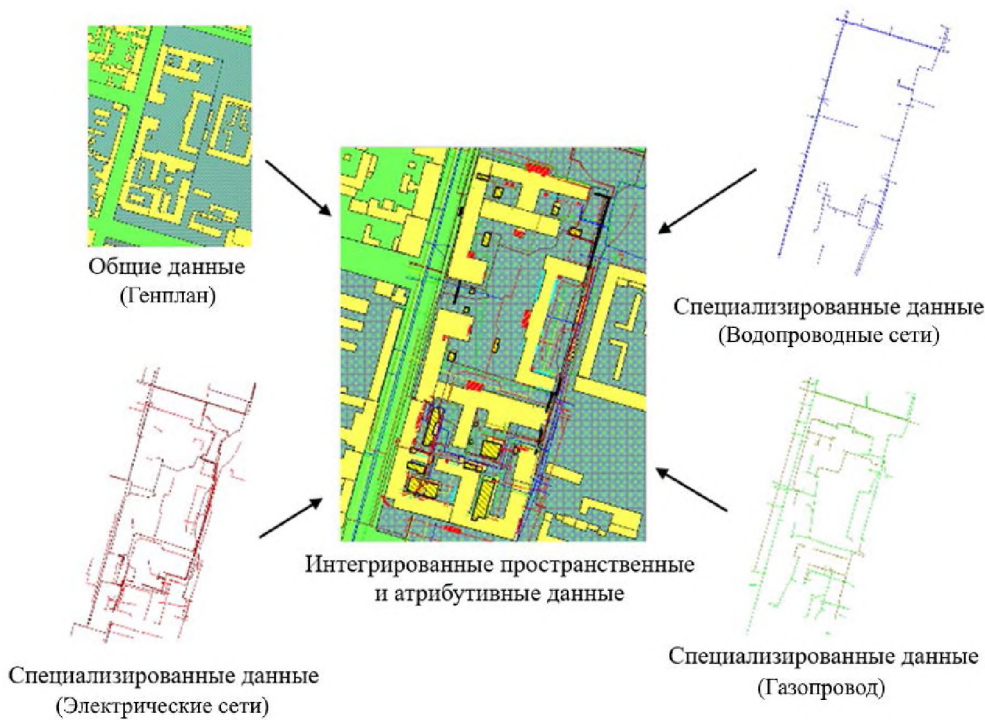


Рис. 4 – Совместное использование общих и специализированных данных

Моделирование и использование пространственных данных для управления сложными распределёнными системами

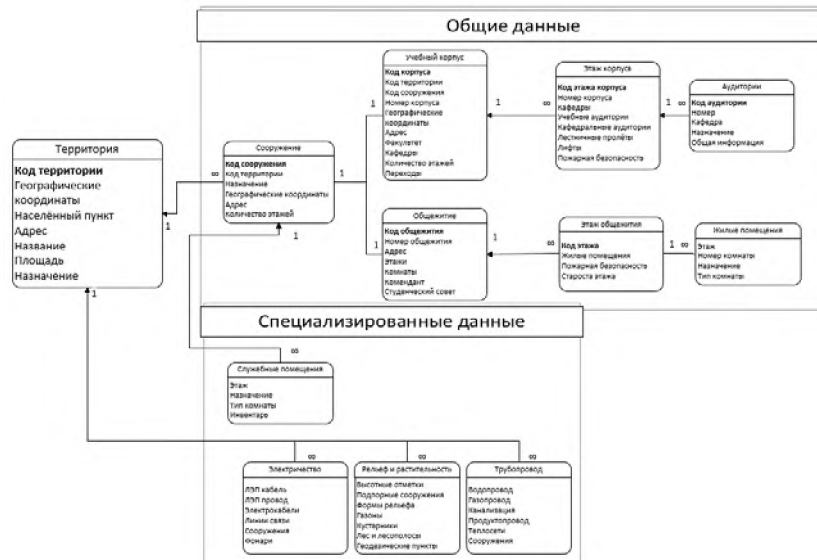


Рис. 5 – Фрагмент связанной модели общих и специализированных пространственных данных

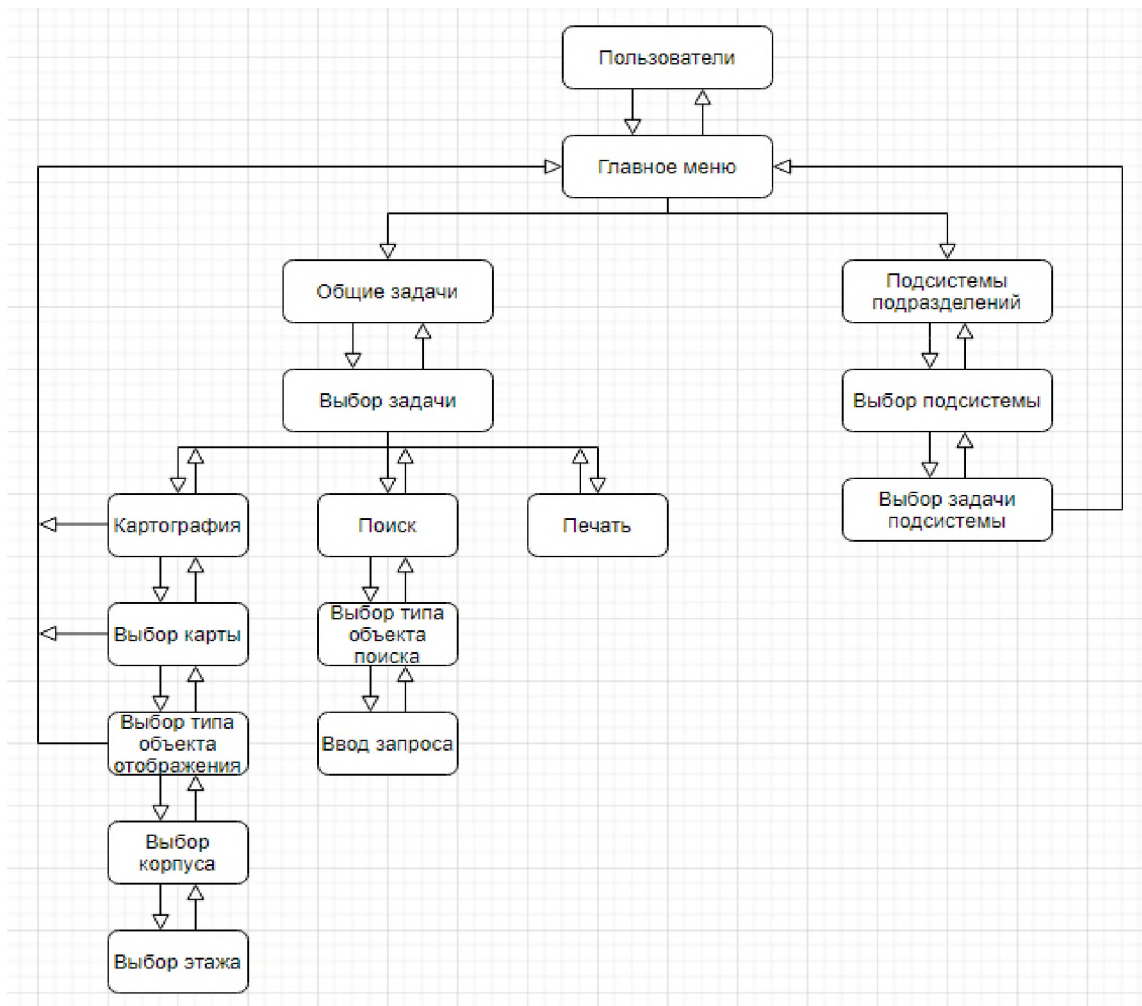


Рис. 6 – Схема взаимодействия пользователя с системой

Так как разрабатываемая система предназначена для использования преподавателями, студентами, и сотрудниками различных структурных подразделений университета, она разделена на несколько подсистем. Если студент хочет найти на поэтажном плане корпуса интересующую его аудиторию, ему нет необходимости видеть информацию об электрических коммуникациях этого корпуса. Но для главного энергетика университета эта информация является критически важной. Поэтому в меню интерфейса сгруппированы задачи по интересам пользователей, а не по способу хранения (что обычно реализуется в стандартном интерфейсе используемого программного обеспечения). Внешний вид меню представлен на рис. 7.

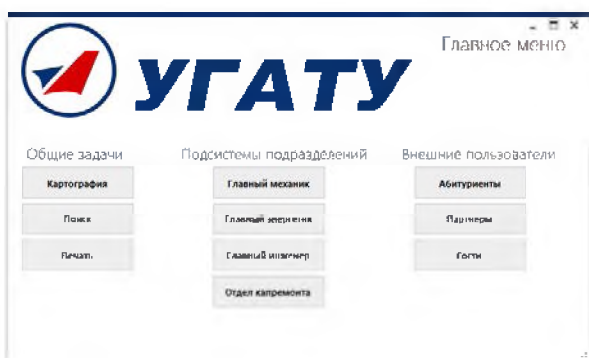


Рис. 7 – Внешний вид интерфейса

Для каждой из подсистем планируется реализация связанных с ней функций: так, например, у отдела главного механика должна быть возможность выбора и выделения инженерных коммуникаций, у которых подходит срок планового ремонта или проверки. Таким образом с помощью интерфейса обеспечивается использование пространственных данных для управления СРС широким кругом специалистов.

## Заключение

Предложен формальный метод синтеза структуры пространственных данных в сложных распределенных системах, основанный на теоретико-множественном описании и анализе всех необходимых для целей управления данных, который позволяет создавать распределенную базу пространственных данных и организовывать доступ к ней различных пользователей, включая алгоритмы и методы управления. Реализация предложенного подхода по моделированию хранения и использованию пространственных данных на примере Университета, в дальнейшем может быть использована как типовое решение для информационной поддержки управления сложными распределенными системами различного назначения. Организация разграниченного доступа к общим и

специализированным данным может быть применена не только к специалистам-пользователям, но и к формальным методам и алгоритмам управления, что значительно расширяет возможности автоматизации процесса работы с данными и управления в целом. Результаты исследований, представленные в статье, поддержаны грантом РФФИ №20-08-00301\20 – А «Методологические и теоретические основы управления уязвимостью на основе парирования угроз в сложных распределенных системах»

## Список используемых источников

1. Брекоткина, Е.С. Метод организации больших массивов данных региона в рамках перехода к цифровой экономике / Е.С. Брекоткина, С.В. Павлов, А.С. Павлов // Материалы XVIII Международной научной конференции «Управление экономикой: методы, модели, технологии». – Изд-во: «УГАТУ», Уфа, 2018. – С. 34-37. (<https://elibrarv.ru/item.asp?id=36353554>)
2. Кошуба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н., Основы проектирования информационных систем. – Изд-во: Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 2015. - 56 с.
3. Павлов, С.В. Организация межведомственной системы электронного документооборота как компоненты больших данных цифровой экономики региона / С.В. Павлов, В.Е. Брекоткин, Е.С. Брекоткина, А.С. Павлов // Труды VII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых) Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений. – Изд-во: «УГАТУ», Уфа, 2019. – С. 130-134. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=38316202>)
4. Бахтизин Р.Н., Павлов С.В., Павлов А.С., Сайфутдинова Г.М. Создание инфраструктуры пространственных данных Республики Башкортостан на основе геоинформационных технологий. Уфа: Нефтегазовое дело, 2008 г - 103 с.
5. Кузнецов А.И., Исламов А.И., Павлов С.В. Разработка геоинформационной системы уфимского государственного авиационного технического университета на основе отечественного программного обеспечения. // Труды Седьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-30 мая, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2019 г – 102-107 с. (<http://itids.ugatu.su/index.php/itids/itids2019/paper/view/151/125>)
6. Брекоткина Е.С., Павлов А.С., Павлов С.В., Трубин В.Д., Христодело О.И. Анализ и синтез структуры пространственных данных для управления сложными распределенными системами // Труды Восьмой Всероссийской научной конференции с международным участием "Информационные технологии и системы", 17-21 марта, Ханты-Мансийск, Россия, 2020 г – 120-124 с. ([https://it.is.irit.ru/files/sbornik\\_works\\_2020.pdf](https://it.is.irit.ru/files/sbornik_works_2020.pdf))

# Информационное обеспечение «Системы Анализа Гериатрических Рисков»

М.А. Николаева

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: marina\_danicheva@mail.ru

А.А. Путин

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: putin-anton@ro.ru

С.Р. Сайдуганов

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: slvavansai@mail.ru

Д.В. Усов

Факультет информатики и робототехники  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: usov.danil.mo14@yandex.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В данной статье рассматривается система анализа рисков, предназначенная для комплексной оценки гериатрических больных и повышения эффективности их диагностики и лечения за счет внедрения программного обеспечения.

## Введение

Развитие системы оказания гериатрической помощи невозможно без поддержки научных исследований в области геронтологии и гериатрии. Медицинских информационных систем, ориентированных на гериатрических больных, практически нет. Исключение составляют медицинские калькуляторы и гериатрические карты, включенные в электронные системы регистратур.

В настоящее время ведется разработка «Системы Анализа Гериатрических Рисков» (далее - САГР), которая нацелена на повышение эффективности работы врачей-гериатров и реализует процедуры управления рисками в гериатрии. Идентификация рисков связана с результатами диагностики, клинических исследований, работой гериатрических калькуляторов, с объективными данными, данными опросов и др. Оценка индивидуальных и групповых рисков в системе производится с помощью традиционных методов оценки риска и новых, предложенных авторами. Управление рисками

Труды Восьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 6-9 октября, Уфа-Ставрополь, Ханты-Мансийск, Россия, 2020

связано с выбором лучшей тактики лечения, использующей оценку эффективности лечения, оценку качества жизни, данные карт риска [2-4, 6].

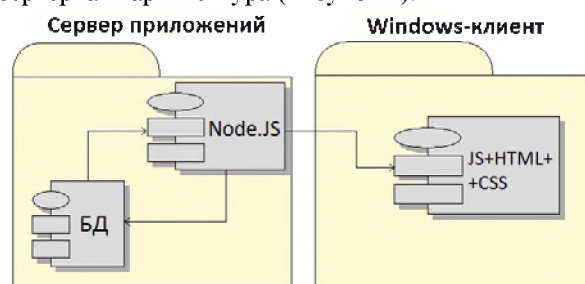
## 1. Назначение системы

Разрабатываемая система предназначена для комплексной гериатрической оценки, включающая клинические и гериатрические синдромы, выбор и оценку методик лечения пациентов преимущественно в пожилом возрасте. Потенциальными пользователями данного приложения будут студенты и врачи-гериатры.

## 2. Архитектура приложения

### 2.1 Структурная схема

Основой разработки приложения является «клиент-серверная» архитектура (Рисунок 1).



Node.js – это программная платформа, основанная на движке V8 (транслирующем JavaScript в машинный код), выполняющая роль веб-сервиса.

Доступ к базе данных имеет только веб-сервис, клиенты не имеют прямого доступа к БД.