

С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант № 15-41-00092)

В статье описывается применение возможностей имитационного моделирования для оценки эффективности геоинформационного ресурса, ориентированного на людей с ограниченными возможностями. Производится описание и анализ предметной области, определяются элементы геоинформационной системы для маломобильных групп населения geowheel.ru, их функционал и принципы взаимодействия, определяются параметры и характеристики входных и выходных переменных, выявляются ограничения. Описываются структурно-функциональные и логические схемы модели системы.

Ключевые слова: имитационные модели, геоинформационная система, геоинформационный, маломобильный, доступность, социальный.

S. P. Semenov, V. V. Slavsky, A. O. Tashkin

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF A GEOFORMATION SYSTEM FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

The article describes the application of the possibilities of the theory of simulation modeling to create a conceptual model of a geoinformation resource, oriented for people with disabilities. Produced description and domain analysis determined GIS elements for geowheel.ru, and their functional interaction principles, features and characteristics of the input and output variables, introduced constraints. The structure-functional and logical schemes of the system model are created.

Key words: Simulation, model, geoinformation system, geoinformation, disabilities, accessibility, social.

Введение

Существует две основные проблемы, которые затрудняют перемещение маломобильных групп населения (далее МГН): первая вызвана физической недоступностью выбранных ими объектов социальной инфраструктуры (далее ОСИ), решение которой заключается в изменении конструкции ОСИ с учетом интересов МГН, вторая же проблема заключается в недоступности информации о характеристиках каждого из ОСИ [1].

Одним из возможных и наиболее популярных решений второй проблемы являются разработки в области геоинформационных технологий. Такие разработки часто называют картами доступности (Disabledmaps) [1]. Сведения о доступности ОСИ размещаются на информационном ресурсе, опубликованном в глобальной сети Интернет, отражающем уровень доступности социальных объектов для маломобильных граждан, а также содержащем важные характеристики ОСИ для граждан с ограниченными возможностями.

В работах [2, 3] проанализирован опыт российских и зарубежных организаций в области разработки информационных систем для МГН, уточнена терминология и произведена формализация понятий, произведено описание средств разработки и архитектуры геоинформационной системы для МГН, предложена методика создания геоинформационной системы на базе web-технологий. В работах [1, 4, 5] определены 4 класса ресурсов для МГН, выявлены признаки классификации, произведена классификация геоинформационных систем, описано проектирование и реализация геоинформационной системы для МГН, описан фолксномический подход выявления и классификации признаков об объектах ОСИ, произведена классификация данных об объектах ОСИ в рамках теории анализа формальных понятий.

Была создана [2] функционирующая социально-ориентированная система на базе геоинформационных технологий, направленная на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями, опубликованная в Интернете по адресу www.geowheel.ru. Данный

ресурс разработан в качестве системы информационной поддержки МГН, а также служит фундаментальной базой для проведения экспериментов применительно к теме исследования.

В настоящее время при проектировании информационных систем используется подход, когда задача создания модели и алгоритма функционирования системы выполняется однократно при проектировании системы [8]. При создании информационной системы требуется определить архитектуру системы, необходимые для функционирования ресурсы, обеспечить достаточную пропускную способность, решить проблемы сохранности, обеспечить распределение ресурсов между пользователями, выбрать алгоритмы обработки и запуска задач и т. д. Таким образом, даже при значительных усилиях, вложенных на этапе проектирования в понимание конфигурации систем и их количественных характеристик, невозможно развивать систему без дополнительных исследований [9]. Разработчики информационных систем сталкиваются с проблемой прогнозирования поведения системы после проведения модификаций. Имитационное моделирование системы позволяет ответить на ряд вопросов, связанных с различным поведением системы при изменении входных переменных и самой структуры модели [6, 7].

Постановка задачи

Запуск и начало эксплуатации системы geowheel.ru повлекли за собой вопросы, связанные с оценкой эффективности системы. Проверку эффективности работы системы в различных режимах возможно осуществить с помощью технологий имитационного моделирования. Имитационная модель исследуемого реального явления (объекта, процесса, системы) – это формальное описание логической структуры и динамики взаимодействия его отдельных элементов с учётом стохастических факторов, реализованное как программа для компьютера [6].

Как известно, построение имитационных моделей начинается с выявления проблемы и анализа предметной области [6]. Применительно к теме исследования проблемой является оценка эффективности работы системы geowheel.ru, а предметной областью – сама геоинформационная система geowheel.ru для МГН.

В данной статье производится описание и анализ предметной области, определяются элементы геоинформационной системы geowheel.ru для МГН, их функционал и принципы взаимодействия, определяются параметры и характеристики входных и выходных переменных, выявляются ограничения, описываются структурно-функциональные и логические схемы модели системы. Указанный набор действий и результатов принято называть концептуальной моделью [7]. Таким образом, целью предлагаемой работы является построение концептуальной модели геоинформационной системы для МГН.

Современное развитие технологий имитационного моделирования позволяет выделить три основных подхода к созданию модели [6]:

системная динамика;

дискретно-событийное или процессно-ориентированное моделирование;

агентное моделирование.

Проведенный анализ предметной области позволил определиться с подходом к построению имитационной модели геоинформационной системы для МГН. В исследовании представлен гибридный подход, включающий в себя характерные черты дискретно-событийного и агентного подходов. Смысл объединения двух подходов заключается в том, что с помощью дискретно-событийного подхода возможно построить логическую структурно-функциональную схему модели, а с помощью агентного подхода отобразить динамику взаимодействия заявки и элементов системы. Комбинирование подходов возможно осуществить с помощью средства имитационного моделирования ПО AnyLogic.

Основная часть

Анализ предметной области [3, 4] позволил описать методику выбора наиболее оптимальных требований к функционалу геоинформационной системы для удовлетворения информационной потребности людей с ограниченными возможностями, были выдвинуты следующие требования к геоинформационной системе для МГН:

- Удовлетворение информационной потребности относительно выбранного объекта социальной инфраструктуры.
- Поиск и получение наиболее полной информации об уровне доступности выбранной локации, технических характеристиках, визуальном представлении в виде интерактивной карты.
- Добавление объектов в систему с возможностью отметки на карте, загрузки фотографий, добавлением описания, загрузкой паспорта, комментированием и др.
- Учет объектов социальной инфраструктуры, контроль полноты и корректности вносимых данных.
- Реализация обратной связи для пользователей системы.

- Реализация внутренней связи между пользователями системы по принципу социальной сети (система рейтинга пользователей, мгновенные сообщения, комментирование и др.)
- Регистрация обращений пользователей системы в режиме реального времени.
- Формирование каталога объектов социальной инфраструктуры.
- Паспортизация объектов социальной инфраструктуры (обследование объектов по нормативам на предмет доступности).

В работах [2, 5] проведено дальнейшее изучение предметной области, описана разработка и реализация геоинформационной системы geowheel.ru для МГН, представлена структурно-функциональная модель и произведена декомпозиция и описание уровней и элементов системы. Структурно-функциональная схема системы включает в себя пять основных элементов и представлена на рисунке 1:

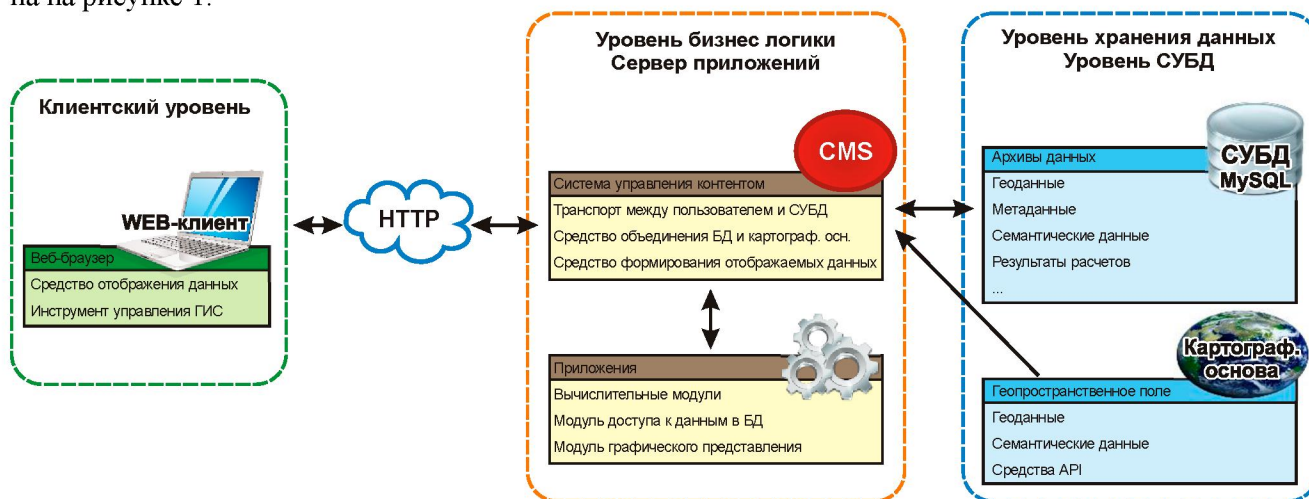


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема системы

1. **СУБД.** Структурированные архивы пространственно-привязанных картографических и семантических данных, снабженные соответствующими метаданными, хранящиеся в БД.

2. **Картографическая основа.** Геопространственное поле, отвечающее за интерактивное представление картографических данных, используя сервисы API.

3. **CMS.** Система управления контентом, реализующая логику приложения, связь с картографическими сервисами API и обеспечивающая работу с хранилищем данных.

4. **Приложения.** Набор программных модулей, реализованных на языке PHP.

5. **Web-Клиент.** Графический интерфейс пользователя, реализованный в виде Web-приложения.

Для корректной работы клиентской многопользовательской части приложения необходим интернет-браузер и доступ в Интернет. Модульность программной реализации обеспечивается системными средствами PHP, клиентское приложение является объектной оболочкой над реляционной базой данных [1].

Для взаимодействия с системой на клиентском уровне пользователь оперирует интернет-браузером с компьютера или мобильного устройства, который является «тонким» клиентом. Графический интерфейс пользователя, реализованный в виде web-приложения, представляет собой механизм управления, эксплуатации и администрирования системы, предоставляющий пользователю возможность в интуитивно понятной форме сформировать задание на обработку пространственно-ориентированных данных.

Задача, сформированная пользователем системы с помощью клиентского приложения через web-браузер, а также параметры визуализации результатов, передаются на сервер приложений в виде запроса к CMS, принимающему и возвращающему sql-запросы. Запрос содержит указания на обрабатываемые характеристики, пространственные и временные границы интересующей области, тип данных, параметры визуализации карты. На сервере приложений CMS передает данные в блок приложений, где модули вычислений обрабатывают запрос пользователя, взаимодействуя с модулем доступа к данным. Каждый модуль имеет доступ к архивам данных СУБД через специальную библиотеку функций. Модуль доступа к данным обеспечивает поиск, чтение и выборку данных из архивов. В процессе вычислений используется накопленная в базе данных информация, после чего передается в модуль графического представления. Модуль графического представления использует полученную информацию и, объединив картографические материалы, из базы данных и из среды «Яндекс.Карты»

визуализирует данные, запрошенные пользователем. Далее при поддержке CMS (Система управления контентом) результат отправляется пользователю системы.

Модуль графического представления, расположенный на сервере приложений (уровень бизнес логики), позволяет объединить располагающиеся на различных серверах картографические материалы и картографическую основу «Яндекс-карты» в единое геопространственное поле. Для реализации функциональности использован инструментарий среды «Яндекс-карты», позволяющий объединить картографические данные, расположенные на различных серверах в различных форматах посредством инструментария API и языка JavaScript. Данные, передаваемые от CMS (системы управления контентом) на рабочую станцию, конечному пользователю обрабатываются web-браузером и визуализируются в виде интерактивного онлайн-приложения.

Проведенный анализ позволяет интерпретировать логическую структуру геоинформационной системы geowheel.ru в рамках теории систем массового обслуживания (СМО). Как известно, структурными элементами СМО являются: заявки, каналы (приборы обслуживания), очереди на обслуживание. Заявки (требования) на обслуживание поступают через случайные интервалы времени, каналы (приборы) служат для обслуживания этих заявок, обслуживание длится случайные интервалы времени. Если в момент поступления заявки все приборы заняты, заявка помещается очередь и ждет там начала обслуживания. Если все ячейки очереди заняты, заявка получает отказ в обслуживании и может не пройти обработку (теряется). Дисциплина обслуживания очереди может функционировать в трех режимах: FIFO (FirstIn – FirstOut, первый пришел – первый обслужен), IFO (LastIn – FirstOut, последний пришел – первый обслужен) и режим с приоритетом (заявка наделена показателем приоритета, в некотором количественном показателе, в зависимости от величины которого заявка принимается на обслуживание или встает в очередь за заявками с большим приоритетом). Применительно к системе geowheel.ru был выбран режим функционирования очереди с приоритетом.

Для представления геоинформационной системы для МГН geowheel.ru в виде системы массового обслуживания была отражена логическая схема, включившая 4 основные компоненты системы (Рисунок 2):

1. Компонента – Генерация заявки (отражает методику формирования пользователем запроса к системе).
2. Компонента – Первая линия (отражает механизмы обработки запроса пользователя, прохождения первой линии обслуживания системой).
3. Компонента – Вторая линия (отражает события информационных потоков).
4. Компонента – Выход/Вывод (процесс формирования ответа).



Рисунок 2 – Логическая схема геоинформационной системы geowheel.ru

Формализуем действия пользователя в первой компоненте (генерации заявки), где клиентом системы задаются характеристики и формируется запрос на обслуживание. Действия пользователя можно разделить на следующие этапы:

1. Пользователь, использующий ПК или иное устройство, с целью удовлетворения информационных потребностей относительно доступности ОСИ для МГН, попадает на главную страницу геоинформационной системы geowheel.ru

2. На главной странице пользователю предлагается выбрать один из методов взаимодействия с системой, в нашем случае два варианта:

- а) поиск по заданным параметрам;
- б) просмотр с помощью интерфейса навигации системы.

Обозначим вариант выбора метода взаимодействия с системой через множество значений K , где, применительно к системе geowheel.ru, необходимо ввести ограничения: $K=\{K_1; K_2\}$ (K может принимать значения K_1 или K_2).

3. После того как выбран метод взаимодействия с системой, пользователю необходимо произвести одно из трёх действий:

- а) пройти авторизацию в системе;
- б) зарегистрироваться как новый пользователь;
- с) продолжить работу с системой без авторизации.

Обозначим вариант выбора на данном этапе через множество значений P , где, исходя из ограничений системы: $P=\{P_1; P_2; P_3\}$ (P может принимать значения P_1 , P_2 или P_3).

4. После прохождения этапа авторизации запрос пользователя формирует заявку, которая переходит на первую линию обработки заявки.

Время прохождения компоненты генерации заявки зависит от скорости взаимодействия пользователя с системой, в нашем случае введем ограничения: от 0,5 сек до 5 сек для приборов K и от 1 сек до 7 сек для приборов P . Заявки формируют входящий поток, параметром которого является интенсивность – I . На рисунке 3 отражена компонента генерации заявки.

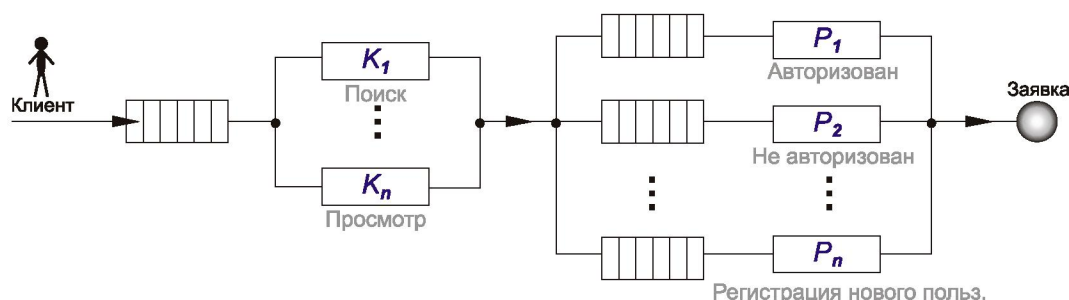


Рисунок 3 – Компонента генерации заявки геоинформационной системы geowheel.ru

Формализуем процесс прохождения заявки пользователя в системе geowheel.ru на первой и второй линиях обслуживания, где представлены принципы и механизмы прохождения заявки пользователя и её взаимодействие с элементами системы. Пользователь взаимодействует с интерфейсом системы, где заданные на этапе генерации заявки пользователем параметры определяют дальнейшее поведение системы. Можно представить в виде следующих этапов:

1. Входящий поток заявок на обслуживание, сформированных пользователями, через интервалы времени с интенсивностью I попадают в очередь $Q1$ и ожидают обслуживания.

2. Из очереди заявка пользователя попадает на выбор раздела системы.

3. Применительно к системе geowheel.ru выбор разделов состоит из 4 вариантов:

- а. ОСИ.
- б. Карта.
- с. Социальная сеть.
- д. Регистрация пользователя.

В соответствии со значениями, заданными на этапе генерации заявки, определяется доступность данных разделов владельцу заявки. Обозначим вариант выбора пользователем раздела системы через множество значений S , где, исходя из ограничений системы: $S=\{S_1; S_2; S_3; S_4\}$ (S может принимать значения S_1 , S_2 , S_3 или S_4).

4. После выбора раздела (канала обслуживания) заявка попадает в одну из очередей к действиям системы. Значения, заданные на этапе генерации заявки, определяют доступность владельцу заявки очередей к действиям системы. Выбор очереди к действиям системы geowheel.ru состоит из 4-х вариантов:

- а. Очередь на Сбор.
- б. Очередь на Хранение.
- с. Очередь на Передачу.
- д. Очередь на Обработку.

Обозначим вариант выбора очереди через множество значений Qm , где, исходя из ограничений системы: $Qm=\{Qm_1; Qm_2; Qm_3; Qm_4\}$ (Q может принимать значения Qm_1 , Qm_2 , Qm_3 или Qm_4).

5. После того как заявка вышла из очереди, она попадает на канал обслуживания, где в соответствии с параметрами, заданными на предыдущих этапах, производится одно из действий:

- Сбор.
- Хранение.
- Передача.
- Обработка.

Обозначим каналы обслуживания на данном этапе через множество значений M , где применительно к системе geowheel.ru: $M=\{M_1;M_2;M_3;M_4\}$ (M может принимать значения M_1 , M_2 , M_3 или M_4). На данном этапе выбранный прибор обслуживания производит действие в соответствии с запросом пользователя с одной из БД системы geowheel.ru:

- БД ОСИ.
- БД Карт.
- БД Пользователей.

6. После того как ответ от одной из баз данных получен, он направляется пользователю.

7. Если работа с системой окончена, пользователь выходит посредством закрытия окна браузера или воспользовавшись интерфейсом системы.

На рисунке 4 отражены три компонента: первая линия обработки заявки, вторая линия обработки заявки, компонента вывод/выход.

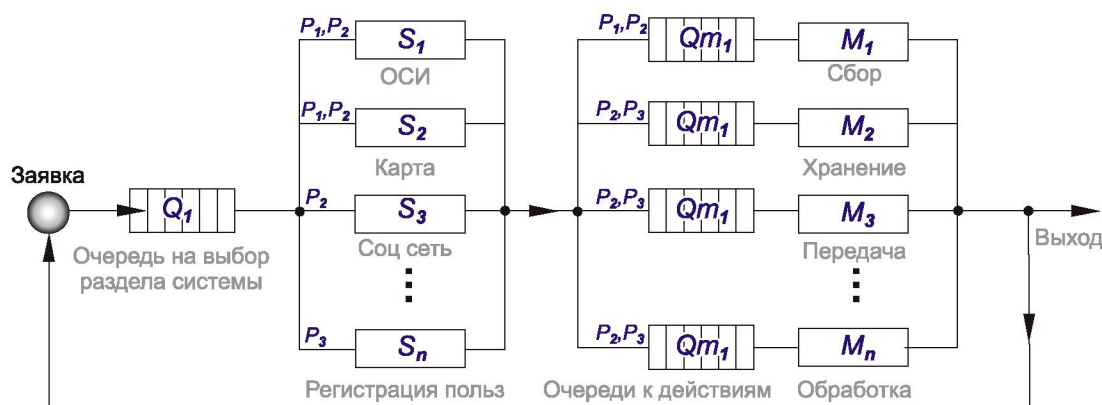


Рисунок 4 – Компоненты обработки заявки геoinформационной системы geowheel.ru и вывода результата

После формализации процесса прохождения заявки пользователя был произведен анализ входных параметров системы geowheel.ru. Входные параметры могут быть заданы как пользователем, так и системой, а их показатели в совокупности с показателями выходных параметров служат средством оценки эффективности работы системы. Для удобства входные параметры были разделены на 2 группы: постоянные параметры (описывают константы, определяющие поведение системы, могут быть изменены при модификации системы) и условно-постоянные параметры (описывают переменные, задаваемые при каждом формировании заявки на обслуживание).

Таблица 1

№	Постоянные (Параметры)
1	количество обслуживающих каналов (приборов)
2	производительность канала / интенсивность (скорость) обслуживания / пропускная способность (среднее количество заявок, которое может обслужить один канал в единицу времени)
3	продолжительность процедуры обслуживания (вероятностное распределение времени обслуживания требований)
4	вероятностное распределение моментов поступлений заявок на обслуживание
5	вероятность выхода из строя обслуживающего канала
6	структура/конфигурация обслуживающей системы (параллельная, последовательная или иная конфигурация, дисциплина очереди и др.)
7	вместимость каждой из очередей
№	Условно-постоянные (переменные)
1	интенсивность (скорость) входного потока заявок (среднее количество заявок, поступающих в систему в единицу времени)
2	мощность источника требований/заявок
3	вероятностное распределение количества итераций и каналов, необходимых для обслуживания заявки пользователя
4	вероятностное распределение объема данных, передаваемого от заявки пользователя к каналам обслуживания и от каналов к заявке

Опишем основные выходные параметры геоинформационной системы для МГН geowheel.ru. В качестве показателей оценки эффективности работы предлагается использовать следующие параметры:

Таблица 2

№	Выходные параметры
1	коэффициент загрузки системы (доля каналов, занятых обслуживанием)
2	средняя длина очереди (среднее количество заявок, ожидающих обслуживания)
3	среднее количество заявок в системе (в очереди и на обслуживании)
4	среднее время ожидания заявки (среднее время нахождения в очереди: от момента поступления заявки до начала обслуживания)
5	среднее время нахождения заявки в системе (от момента поступления до окончания обслуживания)
6	среднее число занятых каналов (k)
7	среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени
8	степень загрузки канала, т. е. вероятность того, что канал занят
9	коэффициент загрузки обслуживающих каналов
	Показатели эффективности
10	абсолютная пропускная способность системы (A), т. е. среднее число заявок, обслуживаемых в единицу времени
11	относительная пропускная способность (Q), т. е. средняя доля поступивших заявок, обслуживаемых системой
12	вероятность отказа (Рот), т. е. вероятность того, что заявка покинет СМО не обслуженной
13	среднее время ожидания обслуживания
14	Вероятность того, что число заявок в очереди превысит определенное значение и т. п.

Заключение

В ходе описания и анализа предметной области были определены элементы геоинформационной системы для МГН, выявлен их функционал и принципы взаимодействия, установлены параметры входных и выходных переменных, введены ограничения; были созданы структурно-функциональные и логические схемы модели системы. В результате была впервые получена концептуальная модель геоинформационной системы для МГН. На основе созданной концептуальной модели системы geowheel.ru в дальнейшем предполагается создать компьютерную имитационную модель, протестировать работу модели, исследовать устойчивость, адекватность, чувствительность, спланировать и провести ряд экспериментов для выявления критичных режимов работы модели.

Литература

1. Семенов, С. П. Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями [Текст] / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин // Вестник НГУ. – 2016. – Т. 14, № 1. – С. 115.
2. Семенов, С.П. Методика разработки геоинформационной системы для маломобильных граждан [Электронный ресурс] / С. П. Семенов, О. А. Ташкин. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/115-12206> (дата обращения: 15.12.2016).
3. Семенов, С. П. Применение фолксономического подхода в разработке социально-ориентированных геоинформационных систем [Текст] / С. П. Семенов, А. О. Ташкин // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – № 2 (33). – С. 94–99.
4. Семенов С.П., Ташкин А.О. Интерактивная геоинформационная система для маломобильных граждан [Текст] / С. П. Семенов, А. О. Ташкин // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования : сборник научных статей международной конференции (Барнаул, 20–24 октября 2015 г.). – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 1007–1010.
5. Семенов, С. П. Создание социально-ориентированных геоинформационных систем с применением возможностей фолксономического подхода [Текст] / С. П. Семенов, С. П. Кононенко, А. О. Ташкин // Шестой технологический уклад: механизмы и перспективы развития : материалы III международной научно-практической конференции (13–14 ноября 2015, г. Ханты-Мансийск.). – Ханты-Мансийск : Ред.-изд. отд. ЮГУ, 2015.
6. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – Искусство и наука [Текст] / Р. Шеннон. – Москва : Мир, 1978.
7. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS [Текст] / В. Кельтон, А. Лоу ; пер. с англ. – 3-е изд-е. – Санкт-Петербург : Издательская группа BNV, 2004. – 847 с.
8. Синтез процессов моделирования и мониторинга для развития систем хранения и обработки больших массивов данных в физических экспериментах [Текст] / В. В. Коренькова,

А. В. Нечаевский, Г. А. Ососков [и др.] // Компьютерные исследования и моделирование. – 2015. – Т. 7., № 3. – С. 691–698.

9. Бекларян, А. Л. Имитационная модель поведения толпы в среде разработки AnyLogic [Текст] / А. Л. Бекларян // Вестник Бурятского государственного университета. – 2015. – № 9. – С. 40–53.

10. Скатков, А. В. Имитационная модель взаимодействия триады агентов облачной вычислительной среды «Потребитель – Брокер – Провайдер» [Текст] / А. В. Скатков, Ю. Шишкин, Ю. П. Николаева // Информационные технологии и управление: сб. науч. тр. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 114–119.