

На правах рукописи



Гинзбург Илья Борисович

**АВТОНОМНЫЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации
(авиационная и ракетно-космическая техника)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена на кафедре 609 «Прикладная информатика» Аэрокосмического факультета ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Научный руководитель: **Падалко Сергей Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная информатика» МАИ

Официальные оппоненты: **Матвеев Иван Алексеевич**, доктор технических наук, заведующий сектором Вычислительного центра им А.А. Дородницына Российской академии наук Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Мельник Эдуард Всеволодович, доктор технических наук, заведующий отделом «Информационных технологий и процессов управления» Южного научного центра Российской академии наук

Ведущая организация: АО «Российские космические системы»,
111250, г. Москва, Авиамоторная ул., 53

Защита состоится «17» ноября 2016 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 при ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское ш., д. 4, Учёный совет МАИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МАИ по ссылке: http://www.mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=71837

Отзывы, заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, Учёный совет МАИ.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.125.12
кандидат технических наук

А.В. Старков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В «Концепции развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года» отдельно говорится (глава 7) о необходимости создания современного наземного комплекса приема, обработки и распространения космических данных, получаемых от космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), как неотъемлемого компонента отечественной космической инфраструктуры. В настоящее время данный комплекс создается в виде Единой территориально-распределенной информационной системы ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ). Задачей ЕТРИС ДЗЗ является объединение разрозненных систем, обеспечивающих сбор, хранение, обработку и доступ к данным ДЗЗ разных тематик, и обеспечение доступа широкого круга пользователей к этим данным, используя как ведомственные или иные линии связи, так и сеть Интернет посредством веб-приложений.

В настоящее время существующие системы мониторинга земной поверхности и геоинформационные системы (ГИС), использующие данные ДЗЗ, обеспечивают доступ к своим ресурсам на основе традиционных веб-приложений, которые недостаточно учитывают специфику веб-представления геопространственных данных. В то же время эта специфика согласуется с возможностями, предоставляемыми недавно принятым стандартом HTML5. В этой связи актуальным является исследование возможностей использования названной специфики для создания веб-приложений на базе стандарта HTML5, расширяющих применение геоданных при решении социально-экономических задач за счет использования мобильных клиентских устройств с минимизацией последствий разрыва соединений в процессе обмена информацией между клиентом и сервером ГИС.

Степень разработанности темы исследования. Согласно приведенному в работе аналитическому обзору, близкими к теме диссертации являются две группы известных результатов, которые базируются на: 1) рекомендациях стандартов веб-представлений геоданных Open Geospatial Consortium; 2) результатах в области современных веб-технологий. При этом первые из них никак не ориентированы на обеспечение отказоустойчивости и возможности автономной работы, а вторые, в первую очередь, базируются на рекомендациях стандарта HTML5, хотя и имеют соответствующие универсальные механизмы, но никак не учитывают специфику веб-представления геоданных. Результаты, на получение которых ориентирована работа, а именно: обеспечение отказоустойчивого доступа к геоданным с различных клиентских устройств с помощью веб-приложений с возможностью автономной работы и резервированием вводимых пользователем данных – среди известных отсутствуют.

Целью работы является исследование возможностей использования технологий стандарта HTML5 для создания веб-приложений, обеспечивающих

мониторинг земной поверхности и работу пользователей с геоданными с различных клиентских устройств, включая мобильные, в условиях:

- а) сбоев соединения с сервером ГИС (отказоустойчивость);
- б) полного отсутствия соединения с сервером ГИС (автономность).

Научная новизна работы состоит в том, что в ней проведено исследование, которое учитывает специфику геоданных (объем, срок актуальности, пространственное разрешение, многослойность структуры) и использует хорошо согласующиеся с этой спецификой возможности стандарта создания веб-приложений HTML5 (механизмы сохранения данных и манипулирования ими на клиентском устройстве средствами только веб-приложения).

На основе результатов исследования предложено автономное отказоустойчивое веб-приложение (АВП). Его основная идея состоит в том, что в состав клиент-серверной системы вводится программно-информационный комплекс (рис. 1), обладающий следующим свойством: информация, попавшая в него с клиентского устройства или с сервера, сохраняется до тех пор, пока она необходима.

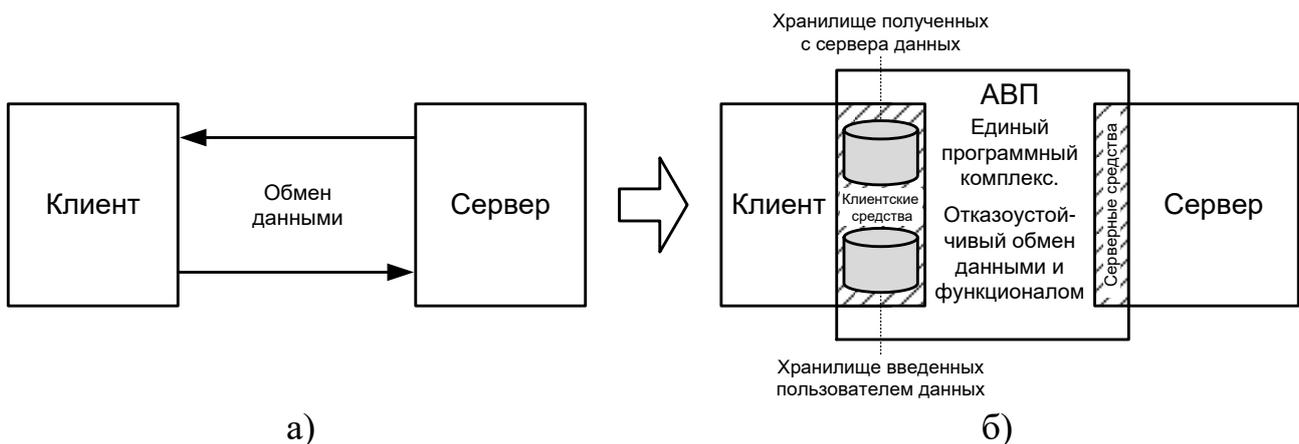


Рис. 1. Клиент-серверное взаимодействие

а) на основе традиционного веб-приложения; б) на основе АВП

Для сохранения в АВП информации используются механизмы, предоставляемые стандартом HTML5. Управление локальным сохранением и актуализацией полученных с сервера данных на стороне клиента осуществляется на основе конфигурационного файла локального хранилища, предусмотренного этим же стандартом и называемого манифестом кэша.

Объектом исследований является система обеспечения доступа к данным дистанционного зондирования Земли с произвольных типов стационарных и мобильных клиентских устройств посредством сети Интернет/Интранет.

Областью исследований является разработка на базе стандарта HTML5 метода и основанных на нем алгоритмов функционирования клиент-серверного компонента системы мониторинга земной поверхности и обеспечения доступа к геопространственным данным.

Основные задачи, решаемые в работе:

1. анализ специфических особенностей геоданных, структуры веб-представлений геоданных и их сопоставление с возможностями, предоставляемыми стандартом HTML5;

2. разработка и обоснование метода функционирования клиентского приложения нового типа, ориентированного на расширение круга пользователей системы обеспечения доступа к геоданным, базирующегося на возможностях, предоставляемых стандартом HTML5 и обеспечивающего:

- а) автономную работу веб-клиента с полученными с сервера данными;
- б) автоматическое аварийное резервирование вводимых пользователем данных при потере соединения с сервером;
- в) поддержку произвольных типов стационарных и мобильных клиентских устройств;

3. построение и обоснование математических моделей оценки экономии трафика и ускорения загрузки страниц в АВП по сравнению с традиционным веб-приложением;

4. разработка алгоритмов функционирования клиентских и серверных компонентов АВП;

5. реализация АВП на основе разработанных алгоритмов;

6. подтверждение заявленных преимуществ АВП на примерах решения задач: а) мониторинга лесного хозяйства; б) проведения геодезических работ.

Результаты, выносимые на защиту:

1. результаты анализа специфических особенностей геоданных, структуры веб-представлений геоданных и их сопоставление с возможностями, предоставляемыми стандартом HTML5;

2. метод функционирования клиентского приложения нового типа, названного АВП, который согласуется со спецификой веб-представлений геоданных и базируется на возможностях, предоставляемых стандартом HTML5, обеспечивая при этом: автономную работу веб-клиента с полученными с сервера данными; автоматическое аварийное резервирование вводимых пользователем данных при потере соединения с сервером; поддержку произвольных типов стационарных и мобильных клиентских устройств;

3. математические модели, разработанные для оценки количественных преимуществ использования веб-приложений на базе технологий стандарта HTML5 (АВП) для доступа к геоданным в зависимости от числа локально сохраненных элементов и их объема. Использование разработанных моделей показало преимущества АВП по сравнению с традиционным веб-приложением: экономию трафика – более 30%; уменьшение времени загрузки обновлений данных – более 86%; возможность моментального запуска.

4. архитектура АВП, основу которой составляют объединенные разработанными в диссертации алгоритмами элементы стандарта HTML5 (Local Storage, Application Cache), библиотека jQuery, а также концепция построения интерактивных веб-интерфейсов AJAX.

5. подтверждение заявленных преимуществ АВП на примерах решения задач: а) мониторинга лесного хозяйства; б) проведения геодезических работ.

Реализованное согласно предложенной архитектуре АВП использовалось для проведения натуральных экспериментов и подтверждения достоверности разработанных моделей.

Методы исследования основаны на методах системного анализа прикладных объектов сбора, хранения и удаленной обработки информации, математического моделирования, а также экспериментального определения характеристик пользовательских выборок данных, каналов связи и клиентских терминальных устройств.

Практическая значимость полученных в работе результатов заключается в создании нового типа веб-приложений, обеспечивающих отказоустойчивое взаимодействие пользователей различных клиентских платформ в компьютерных сетях при решении задач мониторинга земной поверхности и работы с геоданными, включая возможность полностью автономной работы с предварительно загруженными выборками данных. Это позволяет расширить круг терминальных устройств и обеспечить доступ конечных пользователей к данным там, где раньше это было невозможно. Одновременно обеспечивая экономию трафика и увеличение скорости загрузки страниц по сравнению с традиционным веб-приложением.

Диссертация является результатом исследований, проводимых на кафедре 609 «Прикладная информатика» Аэрокосмического факультета ФГБОУ ВО «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)» в рамках научного проекта №14-08-01028а РФФИ; выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности, проект № 834.

Апробация работы и публикации

Основные результаты доложены и обсуждены на всероссийских конференциях молодых ученых и студентов «Информационные технологии в авиационной и космической технике» (Москва, МАИ, 2008, 2009 гг.), VI всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Москва, МАИ, 2009), 8-й, 9-й, 13-й международных конференциях «Авиация и Космонавтика» (Москва, МАИ, 2009, 2010, 2014 гг.), международных научно-практических конференциях «Развитие науки и образования в современном мире» (Москва, АР-Консалт, 2014), «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы» (Москва, АР-Консалт, 2014), «Актуальные проблемы развития современной науки и образования» (Москва, АР-Консалт, 2015).

Список публикаций по теме диссертации содержит 15 наименований, из них 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Диссертантом решена актуальная задача обеспечения широкого доступа к геопространственным данным за счет разработки нового метода обеспечения отказоустойчивого доступа к геоданным

с различных клиентских устройств, включая мобильные, а также возможности автономной работы пользователей с полученными с сервера данными на их персональных устройствах при решении различных видов задач. В основе предложенного в диссертации решения лежит учет специфических особенностей веб-представлений геоданных и согласующихся с ними возможностей современных веб-технологий, включая стандарт HTML5. Все представленные в работе результаты (метод функционирования АВП, математические модели сравнительных оценок АВП с традиционными веб-приложениями, алгоритмы функционирования, архитектура и программный комплекс АВП) получены автором лично.

Внедрение результатов работы

Результаты работы внедрены в деятельность организаций ОАО «Союзгипрозем», ООО «УК «Строительные-Технологии» в состав используемых данными организациями геоинформационных систем в виде метода функционирования, архитектуры, программной реализации АВП и методики модернизации существующего традиционного веб-приложения до АВП, а также внедрены в учебный процесс кафедры «Прикладная информатика» МАИ и на веб-ресурс Аэрокосмического факультета МАИ.

Достоверность результатов подтверждается корректным использованием методов системного анализа, математического моделирования, а также отсутствием существенных расхождений результатов проведенных расчетов с результатами проведенных натуральных экспериментов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературных источников из 86 наименований. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, содержит 51 рисунок, 22 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цели, научная новизна, практическая значимость и состав решаемых в диссертации задач.

В первой главе рассмотрена структура системы обеспечения доступа к данным ДЗЗ и определено место АВП в ней. Отмечено, что в настоящее время «Концепцией развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года» директивно определен ряд актуальных задач, связанных с необходимостью расширения использования данных ДЗЗ. Среди этих задач важное место занимает задача существенного расширения доступа пользователей к данным результатов космической деятельности через сеть Интернет с использованием различных терминальных устройств.

Выполнен анализ особенностей и проблем ГИС с использованием данных ДЗЗ, потребностей использования и структуры веб-представлений геоданных, и сформулированы следующие требования к данной системе: **автономность** – возможность работы с ранее загруженными с сервера данными

без подключения к серверу; **отказоустойчивость** – возможность резервирования вводимых пользователем данных при потере соединения с сервером и автоматическая отправка их на сервер при восстановлении соединения; **кроссплатформенность** – возможность использования различных типов стационарных и мобильных клиентских устройств в качестве терминалов для систем мониторинга земной поверхности и ГИС с использованием данных ДЗЗ.

Выполнен анализ современных технологий, обеспечивающих доступ к таким ГИС через сеть Интернет, на соответствие сформулированным требованиям, в ходе которого установлено, что только предлагаемое в работе решение полностью соответствует этим требованиям. Показаны преимущества, которые обеспечит предлагаемое решение.

Известно, что на сегодняшний день проблемой являются потери информации за счет сбоев и помех в каналах передачи данных, особенно при использовании беспроводных каналов, а также необходимость повторной загрузки больших объемов данных при использовании веб-приложений. Данные обстоятельства особо негативно сказываются при доступе к геоданным через Интернет, поскольку вероятность помех ограничивает длительность сеансов работы с данными, а использование веб-приложений исключает возможность автономного локального сохранения и использования индивидуальных наборов данных отдельными пользователями.

С принятием стандарта HTML5 названные ограничения стало возможным устранить с помощью реализации долговременных локальных хранилищ данных на стороне клиента, средствами HTML5. Данное обстоятельство легло в основу представленной диссертационной работы и вылилось в предложение нового метода функционирования веб-приложений для систем мониторинга земной поверхности и ГИС с использованием данных ДЗЗ, называемых в работе автономными веб-приложениями (АВП). Основные положения предложенного метода включают:

1. в состав клиент-серверной системы вводится программно-информационный комплекс, названный выше АВП, который обладает следующим свойством: информация, попавшая в него с клиентского устройства или с сервера, сохраняется до тех пор, пока она необходима;

2. для реализации клиентской части АВП на клиентском устройстве выделяется память для долговременного сохранения данных, получаемых с сервера и вводимых пользователем;

3. для сохранения в АВП информации, пока она необходима, используются механизмы, предоставляемые стандартом HTML5;

4. управление локальным сохранением полученных с сервера данных на стороне клиента осуществляется на основе манифеста кэша (МК) (рис. 2). Если загруженный с сервера МК отличается от ранее сохраненного у клиента, то начинается проверка обновления всех сохраненных у клиента элементов веб-страниц. При этом с сервера загружаются только те элементы, которые

изменились с момента их предыдущей загрузки. Элементы, которые появились в новом МК, но отсутствовали в предыдущем, загружаются, а те, которые были указаны в предыдущем МК, но исключены из нового, удаляются из локального хранилища. Таким образом, все клиенты получают актуальную информацию с минимально необходимым расходом трафика;

5. исключение повторной передачи статической информации.

В развитие данных положений представлены базовые процессы и структура соответствующего программного комплекса.

Утверждается, что АВП имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным веб-приложением, которые делятся на:

1. качественные, которые традиционное веб-приложение не может обеспечить: **возможность автономной работы** пользователей с полученными с сервера данными и автоматическая актуализация локально сохраненных данных; **возможность аварийного резервирования вводимых пользователем данных** и автоматическая отправка сохраненных данных при возобновлении соединения с сервером;

2. количественные, которые обеспечиваются за счет долговременного сохранения получаемой с сервера информации на стороне клиента и поддающиеся численному сравнению: **уменьшение расхода трафика** (за счет загрузки части общего объема загружаемых данных из локального хранилища); **уменьшение времени ожидания загрузки веб-страниц** (за счет уменьшения загружаемого с сервера объема данных и снижения количества запросов к серверу).

В третьей главе названные преимущества проиллюстрированы примерами, связанными с мониторингом лесного хозяйства и проведением геодезических работ. Качественные преимущества подтверждаются экспериментально на основе тестовых испытаний реализованного АВП, количественные – на основе математического моделирования.

Во второй главе разработана математическая модель зависимости основных показателей клиент-серверной системы с АВП от характеристик данных, постоянных локальных хранилищ клиентского устройства, канала передачи данных и последовательности событий (рис. 3). Приведены данные модельного сравнения АВП с традиционными веб-приложениями.

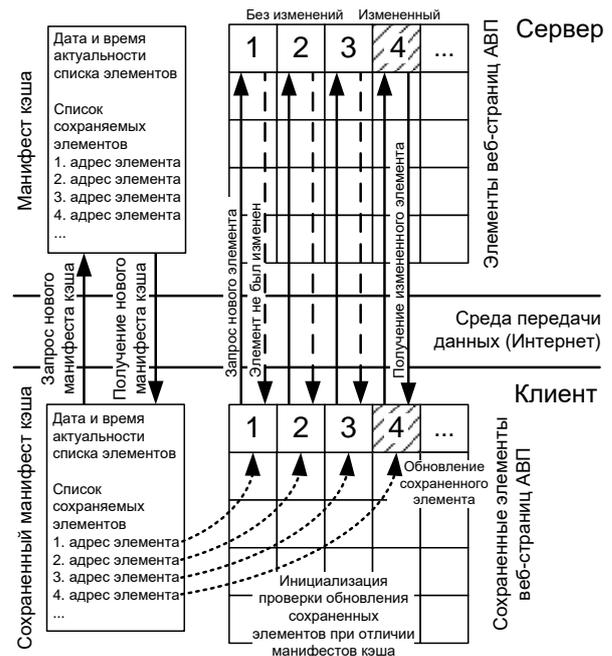


Рис. 2. Управление локальным сохранением полученных с сервера данных с помощью МК

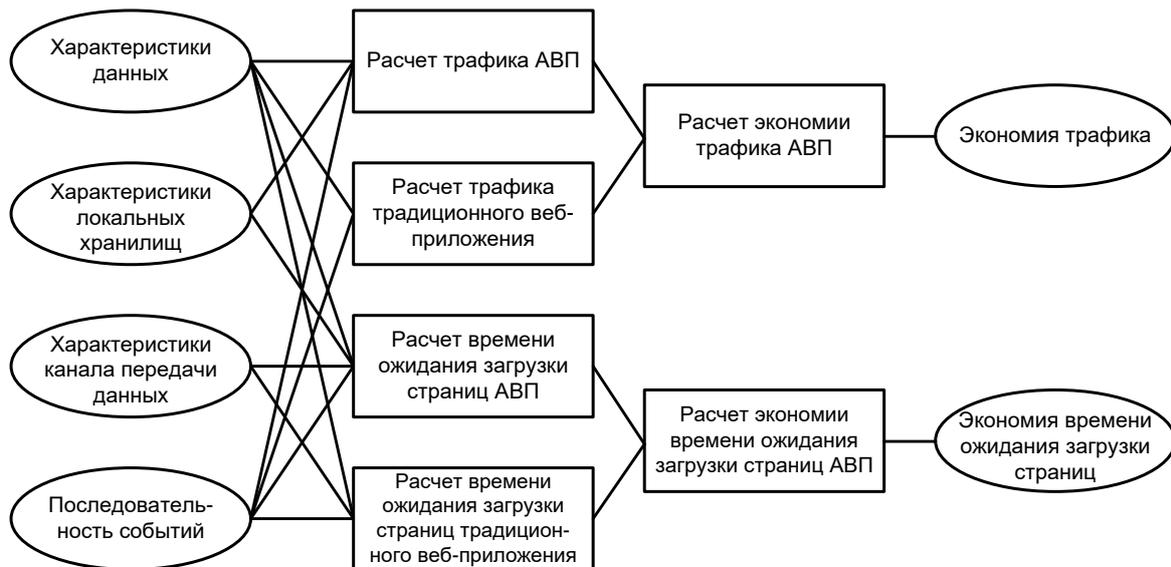


Рис. 3. Схема модели АВП и традиционного веб-приложения

Приведенная на рис. 3 модель включает в себя

Характеристики данных: $P_{ij}^{получ}$ – получаемый с сервера элемент веб-страницы; $P_{ij}^{отпр}$ – отправляемые на сервер введенные пользователем данные; $P_{ijj}^{подтв.трад}$ – получаемый с сервера элемент веб-страницы подтверждения доставки введенных данных традиционного веб-приложения; $P_{ij}^{подтв.АВП}$ – получаемое с сервера подтверждение доставки введенных данных АВП.

Характеристики локальных хранилищ: $C^{кэш.прил}$ – кэш в Application Cache для локального хранения данных $P_{ij}^{получ}$, полученных с сервера (объем хранилища может достигать максимального объема свободной памяти устройства); $C^{кэш.дан}$ – кэш в Local Storage для локального хранения введенных пользователем данных $P_{ij}^{отпр}$, которые не были доставлены на сервер (объем хранилища 2–10 мегабайт); $M^{кэш}$ – файл манифеста кэша, управляющий сохранением данных в $C^{кэш.прил}$; H – доля запросов (по количеству), обслуживаемых из кэша $C^{кэш.прил}$; B – доля данных (по объему), подаваемых из кэша $C^{кэш.прил}$.

Характеристики канала передачи данных: V_C – пропускная способность канала связи; t_C – время отклика сервера.

Последовательность событий (определяется протоколом HTTP): D – мультипоследовательность (мультимножество последовательностей) получения данных (входящий трафик); d_i – последовательность получения данных; U – мультипоследовательность отправки данных (исходящий трафик); u_i – последовательность отправки данных.

В разработанной модели приняты следующие обозначения: i – индекс последовательности получения или отправки клиентом сообщений; j – индекс

принимаемого или отправляемого файла или сообщения в рамках последовательности с индексом i ; j' – индекс принимаемого файла или сообщения в рамках последовательности получения подтверждения доставки на сервер введенных пользователем данных файла или сообщения с индексом j . Введены операторы: $\text{size} : X \rightarrow Y$, где X – файл, Y – размер данного файла в килобайтах; $\text{len} : W \rightarrow V$, где W – конечная последовательность или мультипоследовательность, V – число элементов данной последовательности или мультипоследовательности.

Благодаря наличию кэшей $C^{\text{пост.дан}}$ и $C^{\text{пост.прил}}$ АВП может резервировать все вводимые пользователем данные и обеспечивать несколько режимов работы с данными, получаемыми клиентом с сервера, в зависимости от объема локально сохраненных данных.

Работа клиентской части АВП состоит из первоначальной загрузки данных с сервера для инициализации кэша $C^{\text{пост.прил}}$, загрузки новых данных с сервера при работе кэша $C^{\text{пост.прил}}$, отправки введенных пользователем данных на сервер с использованием кэша $C^{\text{пост.дан}}$ для резервирования введенных данных. Работая с АВП можно свободно закрывать браузер и даже выключать устройство – данные в $C^{\text{пост.дан}}$ и $C^{\text{пост.прил}}$ не пропадут.

Описания режимов работы с данными, получаемыми клиентом с сервера, отличаются разными значениями коэффициентов $0 \leq H \leq 1$ и $0 \leq B \leq 1$, учитывающих попадание запросов в кэш данных веб-приложения как по числу запросов, так и по количеству переданных байт. В ходе эксплуатации АВП кэш $C^{\text{пост.прил}}$ пополняется новыми $P_{ij}^{\text{получ}}$ и значения коэффициентов H и B увеличиваются. $H = 1, B = 1$ означает полностью автономную работу с обращением к серверу только для проверки наличия обновлений сохраненных данных.

Представленная модель описывает функционирование АВП, а также распространяется на традиционное веб-приложение, как частный случай, если $H = 0, B = 0$ при $\text{size}(C^{\text{пост.дан}}) = 0$, $\text{size}(C^{\text{пост.прил}}) = 0$, $\text{size}(M^{\text{кэш}}) = 0$.

Данная модель включает в себя взаимодействие клиентов с сервером при работе традиционного веб-приложения и АВП и описывает: сетевой трафик; время загрузки страниц, количество запросов и время ожидания ответа сервера; время использования канала связи.

На основе модели проведен анализ преимуществ АВП по сравнению с традиционным веб-приложением по критериям уменьшения количества запросов к серверу, экономии трафика, уменьшения суммарных времен: ожидания ответа сервера, использования каналов связи и загрузки страниц.

Экономия трафика АВП ΔD при загрузке данных с сервера при работе с АВП по сравнению с традиционным веб-приложением достигается за счет загрузки некоторой определенной доли данных от общего объема загружаемых данных из локального хранилища $C^{\text{пост.прил}}$ и определяется по формуле

$$\Delta D = \sum_{i=1}^{\text{len}(D)} \left(B \sum_{j=1}^{\text{len}(d_i)} \text{size}(P_{ij}^{\text{получ}}) - \text{size}(M^{\text{кэш}}) \right), \quad (1)$$

где $\text{len}(D)$ – количество последовательностей d_i получения клиентом данных с сервера, $\text{len}(d_i)$ – количество страниц, файлов и сообщений, получаемых клиентом с сервера в последовательности d_i , $\text{size}(P_{ij}^{\text{получ}})$ – размер в килобайтах j -й страницы, файла или сообщения в последовательности d_i , $\text{size}(M^{\text{кэш}})$ – размер в килобайтах файла манифеста кэша $M^{\text{кэш}}$.

При этом $\Delta D > 0$, так как при предлагаемой организации работы кэша АВП размер закешированных файлов всегда больше размера файла манифеста кэша $M^{\text{кэш}}$.

В работе рассматриваются четыре режима работы кэшей:

1. Резервирование вводимых пользователем данных в $C^{\text{пост.дан}} = \{P_{ij}^{\text{отпр}}\}$;
2. Режим работы АВП с минимальным начальным объемом локальных данных $C^{\text{пост.прил}} \subset d_i$ (все сохраненные данные есть на каждой странице);
3. Режим работы АВП с универсальным набором локальных данных $C^{\text{пост.прил}} \cup d_i$ (сохраненные данные в разном составе есть на разных страницах);
4. Автономный режим работы АВП с хранением всех данных автономных последовательностей в $C^{\text{пост.прил}} = \{d_i\}$ (все данные группы страниц сохранены локально).

У режимов 2 и 3 есть модификации: «с изображениями» – для страниц с графическими геоданными, «только текст» – для загрузки только слоев текстовых описаний для предварительно сохраненной графической подложки.

Отправка введенных пользователем данных на сервер у традиционного веб-приложения и у АВП происходит с одинаковым расходом исходящего трафика; существенные отличия возникают при получении подтверждения от сервера. Традиционному веб-приложению требуется сначала загрузить набор связанных элементов $\{P_{ij}^{\text{подтв.трад}}\}$, чтобы удостовериться, что сервер получил введенное сообщение, и только потом загрузить следующую страницу $\{P_{ij}^{\text{получ}}\}$ с данными, в то время как АВП достаточно загрузить одно единственное сообщение $P_{ij}^{\text{подтв.АВП}}$.

Отличие загрузки ответа сервера, подтверждающего доставку отправленных клиентом на сервер данных от обычной загрузки страниц состоит в том, что первым запросом является не запрос веб-страницы, а отправка введенных пользователем данных.

Экономия трафика $\Delta D^{\text{подтв}}$, затрачиваемого на загрузку ответа сервера, подтверждающего доставку отправленных клиентом на сервер данных при работе с АВП по сравнению с традиционным веб-приложением достигается за счет уменьшения количества загружаемых файлов подтверждения доставки и

снижения их объема, и определяется по формуле

$$\Delta D^{nodms} = \sum_{i=1}^{\text{len}(U)} \sum_{j=1}^{\text{len}(u_i)} \left(\left(\sum_{j'=1}^{\text{len}(d_{ij}^{nodms})} \text{size}(P_{ijj'}^{nodms} .mpad) \right) - \text{size}(P_{ij}^{nodms} .ABП) \right), \quad (2)$$

где $\text{len}(U)$ – количество последовательностей u_i отправки клиентом данных на сервер, $\text{len}(u_i)$ – количество сообщений, отправляемых клиентом на сервер в последовательности u_i , $\text{len}(d_{ij}^{nodms})$ – количество страниц, файлов и сообщений, загруженных клиентом с сервера для подтверждения доставки отправленных на сервер данных традиционным веб-приложением в последовательности u_i , $\text{size}(P_{ijj'}^{nodms} .mpad)$ – размер в килобайтах j' -й загружаемой с сервера традиционным веб-приложением страницы, файла или сообщения, последовательности элементов, подтверждающих доставку сообщения P_{ij}^{omnp} , отправленного пользователем на сервер, $\text{size}(P_{ij}^{nodms} .ABП)$ – размер в килобайтах сообщения об успешном получении введенных данных, отправляемого сервером клиенту АВП в ответ на получение каждого сообщения P_{ij}^{omnp} .

При этом $\Delta D^{nodms} > 0$, так как $\sum_{j'=1}^{\text{len}(d_{ij}^{nodms})} \text{size}(P_{ijj'}^{nodms} .mpad) > \text{size}(P_{ij}^{nodms} .ABП)$ и даже $\text{size}(P_{ij1}^{nodms} .mpad) > \text{size}(P_{ij}^{nodms} .ABП)$, поскольку $P_{ij1}^{nodms} .mpad$ является HTML-файлом или HTML-сообщением (в случае асинхронного подтверждения), содержащим информацию и HTML-разметку для формирования интерфейса, в то время как $P_{ij}^{nodms} .ABП$ содержит только информацию, а все неизменяемые компоненты интерфейса уже находится в $C^{post} .прил$ на момент отправки пользователем каких-либо введенных данных на сервер.

Отправляемые на сервер введенные пользователем данные одинаковы как при работе с традиционным веб-приложением, так и при работе с АВП.

Уменьшение времени загрузки страниц АВП Δt_D клиентом с сервера ГИС при работе с АВП по сравнению с традиционным веб-приложением достигается за счет уменьшения загружаемого объема данных и снижения количества запросов к серверу (что, в свою очередь, влияет на уменьшение времени ожидания ответа сервера и уменьшение времени использования каналов связи), и определяется по формуле

$$\Delta t_D = \frac{\Delta D}{V_C} + t_C \left(H \text{len}(D) + \sum_{i=1}^{\text{len}(D)} \left[\frac{H(\text{len}(d_i) - 1) - 1}{k^{парал}} \right] \right), \quad (3)$$

где V_C – пропускная способность канала связи (скорость передачи данных), t_C – время отклика сервера – время между отправкой клиентом по каналу связи запроса или первого байта введенных данных на сервер и получением первого байта ответа сервера, $k^{парал}$ – количество одновременных

соединений веб-браузера клиента с сервером, $\lceil \cdot \rceil$ – операция округления до ближайшего большего целого.

При этом $\Delta t_D > 0$, так как в среднем для сайтов в Интернете при использовании АВП $H = 0,46$ и $\text{len}(d_i) = 96$ по статистике HTTP Archive.

Уменьшение времени загрузки $\Delta t_D^{\text{nodms}}$ подтверждения с сервера о получении введенных данных при работе с АВП по сравнению с традиционным веб-приложением достигается за счет уменьшения загружаемого объема подтверждений и снижения количества запросов к серверу, и определяется по формуле

$$\Delta t_D^{\text{nodms}} = \frac{\Delta D^{\text{nodms}}}{V_C} + t_C \sum_{i=1}^{\text{len}(U)} \sum_{j=1}^{\text{len}(u_i)} \left\lceil \frac{\text{len}(d_{ij}^{\text{nodms}}) - 1}{k^{\text{парал}}} \right\rceil. \quad (4)$$

При этом $\Delta t_D^{\text{nodms}} > 0$, так как $\text{len}(d_{ij}^{\text{nodms}}) \geq 1$, поскольку каждому отправленному сообщению соответствует последовательность загрузки данных подтверждения d_{ij}^{nodms} , состоящая не менее чем из одного элемента.

Таким образом, в результате анализа моделей традиционного веб-приложения и АВП установлено, что АВП, помимо наличия функции резервирования вводимых пользователем данных и возможности полностью автономной работы с данными, полученными с сервера, также превосходят традиционные веб-приложения по критериям экономии трафика и времени загрузки страниц. Тестирование модели АВП подтвердило экономию трафика и уменьшение времени загрузки страниц по сравнению с традиционным веб-приложением при работе в различных режимах $C^{\text{пост.прил}}$.

В третьей главе представлено описание разработанного программного комплекса АВП, реализующего предложенный метод. Рассмотрены архитектура и назначение разработанных программных модулей, их взаимодействие между собой и с пользователем (рис. 4). Приводится методика тестирования выполненной разработки, результаты тестирования, а также рассмотрены примеры использования АВП при решении практических задач.

При реализации АВП использованы следующие основные конструктивы стандарта HTML5 и технологии:

- постоянное локальное хранилище данных Local Storage – применяется для локального резервирования введенных пользователем данных путем их сохранения перед отправкой на сервер и удаления только после подтверждения доставки для обеспечения надежной доставки вне зависимости от качества соединения;
- постоянное локальное хранилище данных Application Cache – применяется для локального сохранения кода клиентской части АВП и данных, получаемых с сервера, для обеспечения автономной работы АВП с уже загруженными данными при разрывах соединения с сервером;
- кроссбраузерная JavaScript библиотека jQuery – применяется для обеспечения одинакового функционирования и унификации

программного кода клиентской части разработанной системы для всех современных веб-браузеров различных терминальных устройств.

Для демонстрации возможностей модернизации существующего традиционного веб-приложения до АВП использована система WackoWiki как пример модульной системы с многопользовательским редактированием данных. В качестве источника геоданных использовался сервис OpenStreetMap.

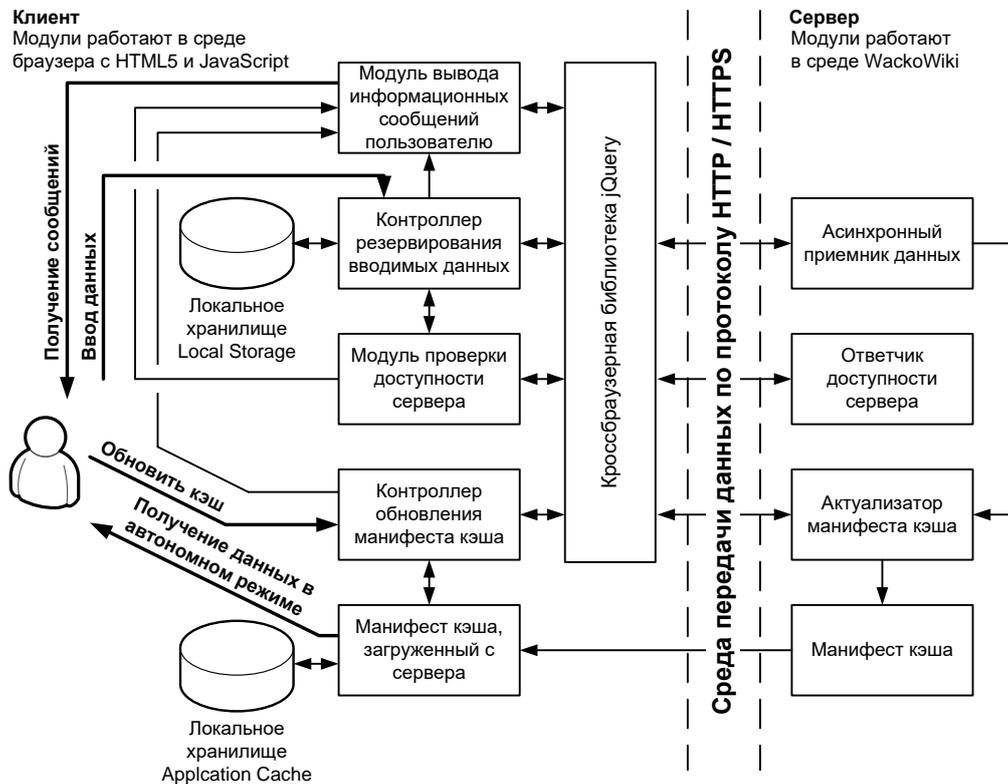


Рис. 4. Состав и взаимодействие разработанных модулей АВП

Реализованный программный комплекс включает в себя:

- клиентский модуль вывода информационных сообщений пользователю о действиях АВП, состоянии локальных хранилищ данных и соединения с сервером;
- клиентский контроллер резервирования данных в Local Storage для автоматического локального сохранения вводимых пользователем данных и их асинхронной передачи на сервер, обеспечивающий отказоустойчивый ввод данных при разрывах соединения с сервером;
- клиентский модуль проверки доступности сервера для проверки соединения с сервером;
- клиентский контроллер обновления манифеста кэша для инициализации процедуры обновления локального хранилища Application Cache при вводе данных пользователем или по его команде;
- загруженную с сервера копию манифеста кэша для управления сохранением клиентом получаемых с сервера данных в Application Cache для обеспечения автономной работы с данными;
- серверный публикатор страниц и комментариев для обеспечения

- асинхронного приема сохраненных данных от клиента;
- серверный ответчик доступности, проверяющий возможность сервера принять данные от клиента и сигнализирующий ему об этом;
 - серверный актуализатор манифеста кэша, осуществляющий внесение изменений в манифест кэша на сервере;
 - манифест кэша на сервере, осуществляющий управление клиентским локальным хранилищем Application Cache для данных и программного кода, получаемых с сервера.

Описано автоматическое аварийное резервирование вводимых пользователем данных и их отправка на сервер при восстановлении соединения, установка, автономная работа, обновление и удаление клиентской части АВП, а также управление ее конфигурацией с сервера системы.

Приведена методика тестирования работоспособности полученного АВП, которая включает в себя открытие страниц и ввод пользователем данных на разных платформах. Согласно ей, в веб-браузерах, не поддерживающих HTML5, проверяется, что АВП ведет себя как традиционное веб-приложение и не ограничивает исходную функциональность. В веб-браузерах с поддержкой HTML5 дополнительно проверяется: 1) загрузка АВП в локальное хранилище с последующим отключением соединения с сервером и доступом к локально сохраненным данным; 2) обновление АВП локально сохраненных данных при изменении этих данных на сервере с последующим отключением соединения с сервером и доступом к локально сохраненным данным; 3) резервирование вводимых пользователем данных при отключенном соединении с сервером, их автоматическая отправка на сервер при возобновлении соединения и повторно п. 2, если ввод данных требует обновления локально сохраненных данных. Проведенное тестирование по предложенной методике позволяет сделать вывод о возможности безошибочного перехода от традиционного веб-приложения к АВП.

В работе рассмотрены примеры, подтверждающие заявленные возможности АВП, применительно к решению двух классов задач:

а) мониторинга земной поверхности в интересах лесного хозяйства. Данный класс задач характеризуется требованиями к пространственному разрешению данных ДЗЗ от 1 до 10 м и необходимым периодом обновления данных не более 1 суток;

б) проведения геодезических работ. Данный класс задач характеризуется требованиями к пространственному разрешению данных ДЗЗ от 0,5 до 10 м и необходимым периодом обновления данных от 1 до 6 месяцев.

Задача мониторинга земной поверхности в интересах лесного хозяйства рассмотрена на примере отслеживания выполнения плана вырубki леса и выявления незаконных рубок в рамках выделенного участка площадью 9000 га. Векторные слои содержат 200 объектов (схемы лесных кварталов и выделов, план разрешенных рубок, схема временных дорог и коммуникаций и прочее). В данном примере ежедневно поступают новые данные ДЗЗ и после серверной обработки для определения отличий ежедневно изменяется 0,057%

растрового слоя, данные на векторных слоях меняются на 10% ежедневно благодаря меткам пользователей и серверной обработки результатов мониторинга. В примере АВП функционирует с полным набором сохраненных необходимых данных и программного кода и возможностью автономной работы с резервированием вводимых пользователем данных (режимы 1 и 4).

Для сравнения с традиционным веб-приложением (помимо отсутствия у него возможностей автономной работы и резервирования вводимых пользователем данных) отметим, что в традиционном веб-приложении ежедневно загружается около 20% от общего объема растровых и векторных данных карты участка (то есть пользователь работает с различными районами того же участка) и весь программный код традиционного веб-приложения.

Применение АВП позволяет реализовать сценарий работы (рис. 5) пользователей с геоданными как при наличии, так и при отсутствии соединения с сервером, чего традиционное веб-приложение обеспечить не может.

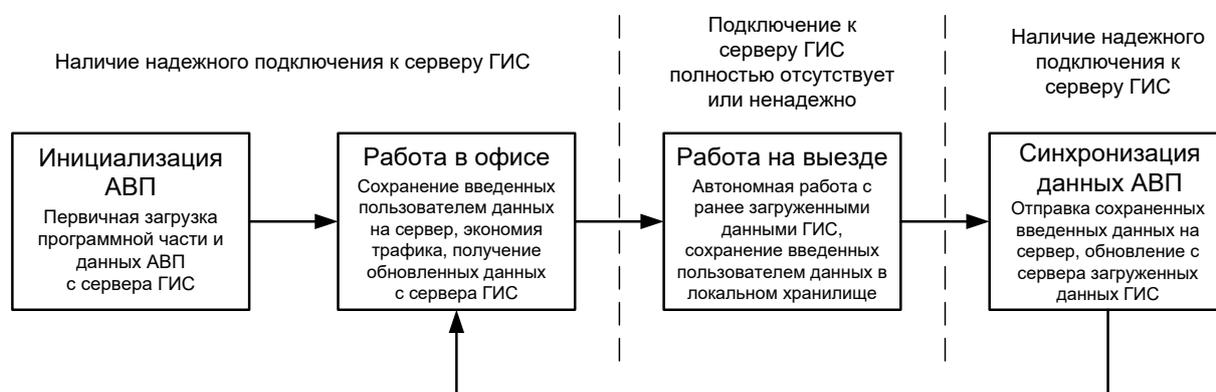


Рис. 5. Процесс работы пользователя с АВП

При такой работе проявляются преимущества АВП, обусловленные сохранением на устройстве пользователя необходимых данных на период их актуальности. В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа АВП и традиционного веб-приложения в задаче мониторинга земной поверхности в интересах лесного хозяйства, полученные при названных выше исходных данных.

Таблица 1. Преимущества АВП перед традиционным веб-приложением в задаче мониторинга земной поверхности в интересах лесного хозяйства

| Пример, № | Площадь растровой подложки, км ² | Количество элементов векторных слоев, ед. | Пропускная способность канала передачи данных, Кбит/с | Экономия времени ожидания загрузки данных одного сеанса АВП по сравнению с традиционным веб-приложением, % | Экономия трафика АВП по сравнению с традиционным веб-приложением, % | |
|-----------|---|---|---|--|---|-----------------|
| | | | | | За первую неделю | За первый месяц |
| 1. | 90 (9000 га) | 200 | 64 | 92,28 | 31,84 | 79,40 |
| | | | 1024 | 92,54 | | |

Представленные в таблице 1 данные обосновываются следующим.

Экономия трафика АВП. На рис. 6 и 7 представлены результаты расчетов зависимостей суммарного расхода и экономии трафика АВП от числа сеансов получения данных клиентом.

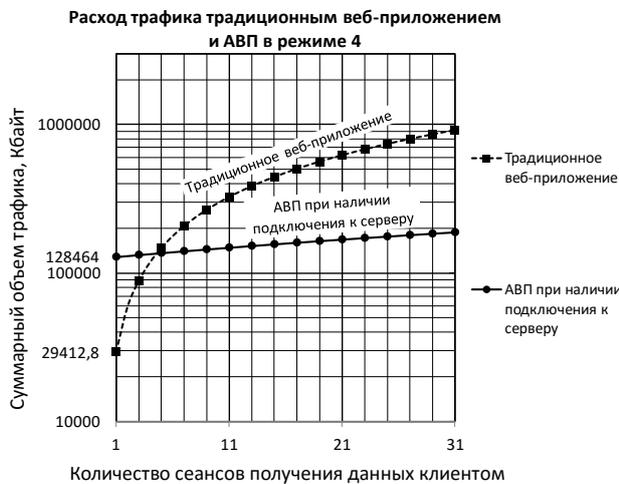


Рис. 6. Зависимость суммарного расхода трафика АВП от числа сеансов, включая инициализацию

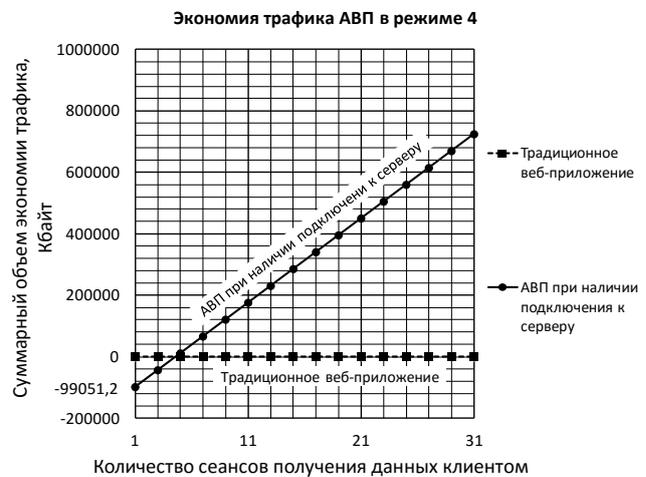


Рис. 7. Зависимость суммарной экономии трафика АВП от числа сеансов, включая инициализацию

Данные расчетов показывают, что для АВП полный объем локально сохраненных данных составляет 128464 Кбайт, примерно 1699,21 Кбайт обновляются каждый день, суммарный трафик составит: за неделю (7 дней) – 140339,25 Кбайт, за месяц (31 день) – 187840,23 Кбайт. Для традиционного веб-приложения ежедневно загружается примерно 29412,8 Кбайт, суммарный трафик составит: за неделю – 205890 Кбайт, за месяц – 911797 Кбайт. Экономия трафика (1) при использовании АВП по сравнению с традиционным веб-приложением составит 31,84% (65550,4 Кбайт) за неделю использования и 79,40% (723957 Кбайт) за месяц. Суммарная экономия трафика АВП по сравнению с традиционным веб-приложением возрастает пропорционально количеству сеансов работы пользователя с геоданными, а относительный расход трафика на один сеанс снижается.

Уменьшение времени загрузки страниц становится возможным благодаря первичной инициализации на стороне клиента постоянного локального хранилища получаемых с сервера данных $C^{пост.прил}$, что происходит автоматически при первом запуске АВП. Время инициализации $C^{пост.прил}$ варьируется в зависимости от V_C , t_C и предполагаемого режима работы локального кэша. В рассматриваемом примере АВП работает в режиме 4 (рис. 8). Учитывая большой объем предварительно загружаемых АВП данных, его первый запуск рекомендуется осуществлять при сетевом подключении с большой пропускной способностью V_C и минимальным временем отклика сервера t_C . После инициализации $C^{пост.прил}$ количество запросов к серверу и объем загружаемых с сервера данных уменьшается, благодаря чему время открытия страниц АВП становится меньше по сравнению с традиционным веб-приложением (рис. 9).

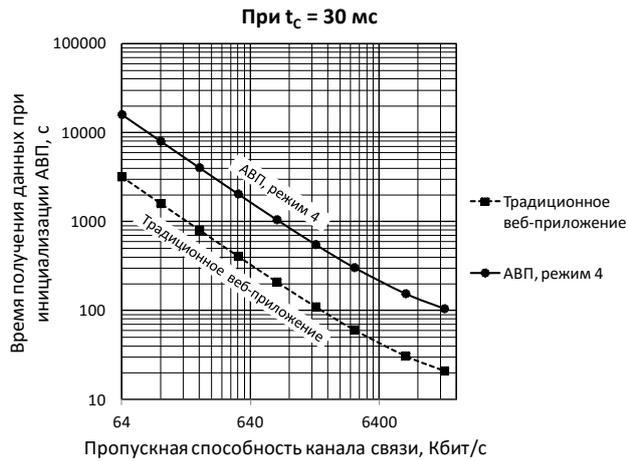


Рис. 8. Зависимость времени инициализации $C^{пост.прил}$ АВП от V_C ($t_C = 30$ мс)

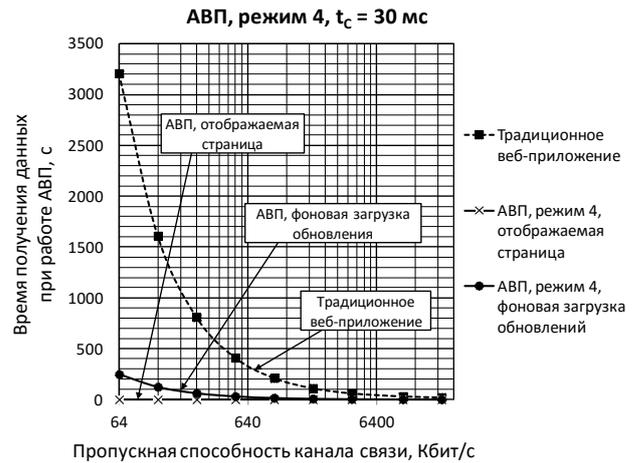


Рис. 9. Зависимость времени получения данных с сервера традиционным веб-приложением и АВП от V_C ($t_C = 30$ мс)

Использование АВП позволяет значительно ускорить загрузку страниц веб-приложений клиентом за счет постоянного локального хранения повторно загружаемых данных. Численные значения экономии времени загрузки страниц АВП зависят от режима работы $C^{пост.прил}$ АВП: режим 2, с изображениями – до 44%; режим 3, с изображениями – до 54%; режимы 2 и 3, только текст – до 97%; режим 4 отображает страницу мгновенно, а после этого загружает файл манифеста кэша и обновления сохраненных данных, поэтому экономия времени загрузки страниц – до 100%. В примере эта экономия достигает более 92%, поскольку АВП работает в режиме 4 с полным объемом сохраненных необходимых данных и загружает только обновления.

Разработанные АВП наиболее эффективны в случаях, когда пользователь продолжительное время работает с повторно используемыми наборами данных. Разница становится особенно заметной на загруженных каналах связи с малой пропускной способностью.

Уменьшение суммарного времени отправки введенных данных

Суммарные затраты времени на отправку введенных данных на сервер и получение подтверждения при использовании АВП меньше, чем при использовании традиционного веб-приложения за счет меньшего объема подтверждения доставки данных, получаемого с сервера АВП. В примерах объем вводимых пользователем за сеанс данных не превышает 100 Кбайт.

Уменьшение времени загрузки данных с сервера и суммарного времени доставки введенных данных на сервер с получением подтверждения, достигаемые при использовании АВП, сохраняются на любых беспроводных и проводных каналах связи.

Получение преимуществ использования АВП при решении задач мониторинга земной поверхности, показанных на примере мониторинга лесного хозяйства, можно ожидать и при решении других практических задач (например, определения границ схода снежного покрова и сроков наступления

пожароопасного сезона, определения степени увлажнения лесных горючих материалов, выявления очагов возгорания, слежения за динамикой лесных пожаров, оценки изменений в лесном фонде и т. п.).

В качестве примера проведения геодезических работ (как один из повсеместно востребованных видов использования данных ДЗЗ) рассмотрены работы: 1) на участке площадью 25 км², что эквивалентно участку автодороги или трассы коммуникаций протяженностью 50 км. Векторные слои содержат 500 объектов (чертежи расположения объектов и коммуникаций); 2) на участке линии электропередачи (ЛЭП) 330кВ, протяженностью 100 км. Векторные слои содержат 250 объектов (опоры ЛЭП); 3) на участке Москва–Тверь федеральной автомобильной дороги М-10 протяженностью 168 км. Векторные слои содержат 100 объектов (автозаправочные станции). Отображение автодорог и трасс коммуникаций включает в себя по 0,25 км прилегающей территории в обе стороны от осевой линии. В примерах (таблица 2) проведения геодезических работ данные растрового слоя имеют период актуальности 6 месяцев, а 10% объектов векторного слоя обновляются каждые 3 дня.

Таблица 2. Преимущества АВП перед традиционным веб-приложением в примерах проведения геодезических работ

| Пример, № | Площадь растровой подложки, км ² | Количество элементов векторных слоев, ед. | Пропускная способность канала передачи данных, Кбит/с | Экономия времени ожидания загрузки данных одного сеанса АВП по сравнению с традиционным веб-приложением, % | Экономия трафика АВП по сравнению с традиционным веб-приложением, % | |
|-----------|---|---|---|--|---|-----------------|
| | | | | | За первую неделю | За первый месяц |
| 2. | 25 | 500 | 64 | 86,46 | 31,89 | 81,04 |
| | | | 1024 | 86,88 | | |
| 3. | 50 | 250 | 64 | 94,90 | 31,32 | 82,72 |
| | | | 1024 | 95,10 | | |
| 4. | 84 | 100 | 64 | 97,80 | 30,33 | 83,14 |
| | | | 1024 | 97,90 | | |

Показанные преимущества могут быть получены при использовании АВП в ГИС, применяемых для подготовки и проведения строительных работ, прокладки транспортных магистралей, различных коммуникаций, кадастрового учета, землеустройства и других задач.

В целях определения реальных значений t_c были проведены измерения времени отклика тестового сервера. Средние значения измеренного времени отклика сервера составили: для LTE 72,04 мс, для HSPA+ 49,89 мс, для UMTS 323,92 мс, для EDGE 790,78 мс. Это означает, что преимущества АВП перед традиционным веб-приложением, оцененные для различных значений пропускной способности каналов передачи данных при $t_c = 30$ мс, будут в реальности еще больше, так как измеренное среднее время отклика сервера при использовании мобильной связи значительно превышает 30 мс. Показано, что при хорошей связи с сервером АВП обеспечивает количественные

преимущества по сравнению с традиционным веб-приложением, при плохой – качественные и количественные, а при ее полном отсутствии – качественные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ специфики геоданных и структуры веб-представлений геоданных с учетом комбинации растровых и векторных слоев многослойной интерактивной карты.

2. В работе показано, что за счет использования выявленной специфики геоданных и структуры веб-представлений геоданных, а также технологий, базирующихся на стандарте HTML5, возможно создание нового типа веб-приложений – АВП, которое позволяет расширить множество возможных терминальных устройств для систем мониторинга земной поверхности и ГИС с использованием данных ДЗЗ.

3. Разработаны метод функционирования и архитектура АВП, которое может использоваться в качестве клиентского приложения для систем мониторинга земной поверхности и ГИС с использованием данных ДЗЗ для автономной работы с полученными с сервера данными, автоматического аварийного резервирования вводимых пользователем данных и поддержки различных клиентских платформ.

4. Предложенное решение распространяется, в первую очередь, на мобильные устройства, для которых особенно актуальна возможность резервирования вводимых пользователем данных для достижения отказоустойчивости и возможность автономной работы.

5. Построены и проанализированы математические модели для оценки количественных преимуществ использования АВП для доступа к геоданным. Использование разработанных моделей показало преимущества АВП по сравнению с традиционным веб-приложением: экономию трафика – более 30%; уменьшение времени загрузки обновлений данных – более 86%; возможность моментального запуска.

6. Предложена архитектура АВП, основу которой составляют объединенные разработанными в диссертации алгоритмами элементы стандарта HTML5 (Local Storage, Application Cache), библиотека jQuery, а также концепция построения интерактивных веб-интерфейсов AJAX. В ходе экспериментов предложенная архитектура показала свою работоспособность для решения поставленных задач.

7. Согласно предложенной архитектуре реализован и протестирован программный комплекс АВП, который использовался для проведения названных выше натурных экспериментов и подтверждения достоверности разработанных моделей.

8. Заявленные преимущества АВП подтверждены в ходе натурных экспериментов на базе реализованных АВП на примерах решения задач: а) мониторинга лесного хозяйства; б) проведения геодезических работ.

9. Развитие исследуемой темы может осуществляться в следующих направлениях:

- использование в АВП других технологий локального сохранения данных средствами веб-приложения;
- повышение автономности клиентов АВП за счет обеспечения прямого обмена данными между ними;
- развитие применения АВП в других областях, для которых характерна работа пользователей с большими объемами данных подверженными постоянным небольшим изменениям, получаемым с сервера.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Гинзбург И. Б. Концепция построения распределенных систем информационной поддержки технического обслуживания аэрокосмической техники с использованием функционально насыщенных веб-клиентов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №5. – С. 159–161.
2. Гинзбург И. Б. Состав и архитектура взаимодействия модулей функционально насыщенного автономного веб-приложения для распределенных систем информационной поддержки различных этапов жизненного цикла аэрокосмической техники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №6. – С. 130–133.
3. Гинзбург И. Б., Падалко С. Н. Автономные веб-приложения для систем обработки космической информации [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №82. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=58832>.
4. Гинзбург И. Б., Падалко С. Н., Терентьев М. Н. Концепция систем дистанционного мониторинга процессов производства и испытаний аэрокосмической техники на основе многошлюзовой беспроводной сенсорной сети с автономным веб-приложением // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №4. – С. 58–61.
5. Гинзбург И. Б. Автономные отказоустойчивые веб-приложения для систем обеспечения доступа к данным дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс] // Журнал «Труды МАИ». – 2015. – №84. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63149>.

иные публикации

6. Гинзбург И. Б. Организация интерактивного взаимодействия распределенных профессиональных сообществ // Всероссийская конференция молодых ученых и студентов «Информационные технологии в авиационной и космической технике – 2008», 21–24 апреля 2008 г. Москва. Тезисы докладов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2008. – С. 103.
7. Гинзбург И. Б. Автоматизированное структурирование знаний распределенных рабочих групп // Всероссийская конференция молодых

- ученых и студентов «Информационные технологии в авиационной и космической технике – 2009», 20–24 апреля 2009 г. Москва. Тезисы докладов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – С. 59–60.
8. Гинзбург И. Б. Автоматизированное структурирование материалов в самоорганизующихся образовательных системах // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Тр. VI Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Центральный регион. Москва. 1–2 апреля 2009 г. – М.: Вузовская книга, 2009. – С. 115–116.
 9. Гинзбург И. Б. Интеграция системы управления рабочими процессами обмена неструктурированными знаниями распределенных групп пользователей с PLM-системами // 8-я международная конференция «Авиация и Космонавтика – 2009». 26–29 октября 2009. Москва. Тезисы докладов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – С. 204–205.
 10. Гинзбург И. Б. Интеграция и единая аутентификация пользователей и компонентов PLM-систем с помощью OpenID и OAuth // 9-я международная конференция «Авиация и Космонавтика – 2010». 16–18 ноября 2010 года. Москва. Тезисы докладов. – СПб.: Мастерская печати, 2010. – С. 237–238.
 11. Гинзбург И. Б. Использование автономных клиентских веб-приложений для информационных систем поддержки жизненного цикла изделий // Развитие науки и образования в современном мире: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2014 г. В 7 частях. Часть III. – М.: «АР-Консалт», 2014. – С. 94–96.
 12. Гинзбург И. Б. Автономные кроссплатформенные клиентские информационные приложения для информационных систем поддержки ЖЦИ // 13-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2014». 17–21 ноября 2014 года. Москва. Тезисы. – СПб.: Мастерская печати, 2014. – С. 117–118.
 13. Гинзбург И. Б. Формирование автономных клиентских веб-приложений для распределенных систем информационной поддержки жизненного цикла аэрокосмической техники // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 ноября 2014 г. в 5 частях. Часть III. – М.: «АР-Консалт», 2014. – С. 19–20.
 14. Гинзбург И. Б. Методика тестирования автономных веб-приложений для систем обработки космической информации // Актуальные проблемы развития современной науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 апреля 2015 г.: в 5 частях. Часть III. – М.: «АР-Консалт», 2015. – С. 55–56.
 15. Гинзбург И. Б. Использование автономного веб-приложения при работе с данными дистанционного зондирования Земли и векторными кадастровыми слоями // Альманах мировой науки. 2015. № 1-1(1). Актуальные проблемы развития современной науки и образования: по материалам Международной научно-практической конференции 31.10.2015 г. Часть 1. – С. 79–80.