

К.А. КУЛАКОВ, Ю.В. ЗАВЬЯЛОВА, И.М. ШАБАЛИНА
**СОЦИАЛЬНЫЙ НАВИГАТОР: РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ДЛЯ
ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

Кулаков К.А., Завьялова Ю.В., Шабалина И.М. Социальный навигатор: реализация программной инфраструктуры планирования маршрутов для людей с ограниченными возможностями.

Аннотация. Важной задачей современного общества является обеспечение людей с ограниченными возможностями всеми правами, в частности, правами на свободное передвижение. В статье представлена реализация проекта «Социальный навигатор» нацеленного на создание информационной инфраструктуры для поддержки людей с ограниченными возможностями при самостоятельном передвижении по населенному пункту. В проекте реализованы технологии, расширяющие возможности современных программных инструментов построения маршрутов. Рассмотрены способы организации и использования данных об имеющихся дорожных препятствиях, о доступности объектов социальной значимости. Особое внимание уделяется оценке сложности препятствий в зависимости от видов ограничений возможностей пользователей и влиянию препятствий на доступность маршрута. В рамках проекта реализована задача построения маршрута с учетом типа дорог и наличия препятствий, а также проведена адаптация информации стандартных картографических сервисов к использованию для построения пешеходных маршрутов для людей с ограничениями. Программная инфраструктура включает в себя сервисы для сбора препятствий и их экспертной оценки, картографический сервис для генерации графа дорог, сервис для сбора данных о доступности социальных объектов, приложение, позволяющее строить маршруты и осуществлять навигацию используя мобильное устройство. Для конечных пользователей доступны web и мобильные версии реализованных сервисов. Предложенная инфраструктура повышает качество жизни людей с ограниченными возможностями за счет организации их личной мобильности, упрощения доступа к социальным услугам и сервисам, полноценного вовлечения в жизнь местного сообщества.

Ключевые слова: доступная среда, маршрутизация, мобильность, социальный навигатор, паспорт доступности.

1. Введение. Одной из важных задач современного общества является обеспечение людей с ограниченными возможностями всеми правами, в частности — правами на свободное передвижение. Согласно статье 19 конвенции ООН [1] государства-участники принимают эффективные и надлежащие меры для обеспечения самостоятельного образа жизни и вовлеченности в местное сообщество людей с ограниченными физическими возможностями.

К сожалению, лишь недавно тема создания безбарьерной среды получила особую приоритетность [2, 3]. Недоступность объектов коллективного доступа повышает личную социальную изоляцию такого человека и исключение из жизни общества. Кроме того, проблема передвижения людей с ограниченными физическими возможностями из-

за возникающих дорожных препятствий, например, лестниц и бордюров, не позволяет воспользоваться имеющейся инфраструктурой без помощи посторонних лиц.

Существующие подходы к обеспечению доступности объектов коллективного доступа, как правило, используются на месте существующей проблемы и не обеспечивают информирование на расстоянии. Одним из способов обеспечения передачи информации о существующих проблемах и/или возможностях является использование информационных и коммуникационных технологий. Например, в рамках государственной программы «Доступная среда» [4] выполняется формирование паспортов доступности социальных объектов в регионах Российской Федерации. В республике Карелия Министерством здравоохранения и социального развития разработан и введен в эксплуатацию сервис «Паспорт Доступности» [5]. Сервис предназначен для сбора данных о доступности социально значимых объектов, оценка доступности осуществляется специалистами министерства. Однако, использование сервиса обычным пользователями затруднено в связи с большим объемом технической информации.

В рамках решения проблемы предложен проект «Социальный навигатор», предназначенный для сбора информации о доступности социально значимых объектов и повышения мобильности людей с ограниченными физическими возможностями за счет информированности о доступности маршрутов передвижения к объектам. Проект является ключевым элементом развития информационной среды, поскольку он объединяет собранную информацию о доступности инфраструктуры и объектов и предоставляет функциональные возможности для онлайн-поддержки людей с ограниченными возможностями.

В статье представлена реализация проекта «Социальный навигатор». Рассмотрены способ организации сбора и использования данных об имеющихся дорожных препятствиях, способ организации сбора и использования данных о доступности объектов коллективного доступа, задача построения пешеходного маршрута с учетом ограничений, сценарии использования сервиса планирования маршрутов и описание программных реализаций.

2. Обзор смежных работ. Задача построения маршрутов для пешеходов является актуальной, несмотря на значительное количество реализованных сервисов [6]. При этом существующие проекты по обеспечению мобильности людей с ограниченными возможностями, как правило, ориентированы на людей, передвигающихся в инвалидных колясках. В частности, в открытом картографическом проекте OpenStreetMap существует возможность добавления информации о

доступности объектов инфраструктуры для людей, передвигающихся в инвалидных колясках [7].

В работах [8-10] представлены адаптивные системы для навигации людей, передвигающихся в инвалидных колясках. Производится анализ дорожной сети, поиск наличия препятствий, влияющих на передвижение.

В работах [11, 12] рассмотрены навигационные системы для людей, передвигающихся в инвалидных колясках с использованием компьютерного зрения. Представленные системы позволяют предупредить о возникновении дорожного препятствия на пути следования.

Также существует ряд работ, посвященных сопровождению людей с нарушениями зрения. Например, в работах [13, 14] показана возможность построения маршрутов и сопровождения людей с нарушениями зрения с использованием мобильных устройств. В работе [15] представлена объектно-ориентированная модель данных для построения маршрутов между объектами массового доступа с учетом препятствий. В проекте «Говорящий город» (<http://www.speakingcity.org>) с помощью мобильного устройства-приемника и множества стационарных устройств-передатчиков выполняется ориентирование людей с нарушениями зрения.

Другой способ получения информации о доступности инфраструктуры использует анализ движения людей с ограниченными возможностями. В работе [16] представлена система для анализа движения пешехода на основе сбора информации о перемещении мобильного телефона. Анализ шаблона движения позволяет определить безбарьерные участки, где скорость передвижения пешехода максимальна, и труднопроходимые участки, где скорость передвижения минимальна.

Одним из популярных направлений разрешения проблемы барьеров на пути следования людей с ограниченными возможностями является устранение препятствий внутри помещений. Министерством регионального развития РФ подготовлен свод правил СНиП 35-01-2001 [17] «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». В письме Министерства здравоохранения и социального развития РФ [18] представлены рекомендации по анализу зданий, разработке рекомендаций и обеспечению доступности. В работе [19] описано решение проблемы организации доступной среды с помощью визуальной (навигационной) информационной системы. В работе [8] показана возможность использования открытых данных (OpenStreetMap) для прохождения прилегающей территории.

Для решения задачи построения маршрутов, как правило, используется либо готовый геоинформационный сервис с функцией навигации,

либо отдельное программное средство или библиотека совместно с загружаемым графом дорог. Программное обеспечение для построения маршрутов на базе карт OpenStreetMap позволяет строить маршруты как в веб-приложениях, так и в мобильных устройствах или портативных компьютерах. Существует большое количество библиотек на различных языках программирования для построения маршрутов с использованием данных OpenStreetMap. В частности, GraphHopper Directions API (<https://github.com/graphhopper/graphhopper>) имеет версию с открытым исходным кодом и реализован для различных операционных систем.

В тоже время использование данных OpenStreetMap для построения пешеходных маршрутов требует предварительной подготовки. В работах [20, 21] представлены способы подготовки исходных данных OpenStreetMap для людей с ограниченными возможностями.

В работе [22] рассмотрена система для построения персонализированной карты доступности. Система PAM-Pitt выполняет построение как кратчайшего маршрута между двумя точками, так и более безопасного в соответствии с заданными видами ограничений.

Задача сбора информации о препятствиях также является актуальной. В работе [23] рассмотрена система для сбора информации о препятствиях и уведомления пользователя при его приближении к препятствию. В работе [24] представлено приложение для сбора информации о препятствиях с предложениями по улучшению качества собираемых данных.

3. Сбор дорожных препятствий. Основное различие между обычными пешеходами и людьми с ограниченными возможностями заключается в необходимости определения дорожных препятствий и сложности их преодоления при перемещении. Например, на перекрестке тротуар отделяется от проезжей части бордюром, не вызывающим трудности в преодолении обычным пешеходом. Однако, для людей, передвигающихся на инвалидных колясках, высокий бордюр может стать серьезной проблемой, требующей привлечения посторонней помощи или изменения маршрута движения. Разработанное в рамках проекта приложение для мобильного устройства предоставляет звуковую или визуальную инструкцию, что может позволить передвигаться человеку без помощи посторонних лиц.

Определение дорожных препятствий зависит от видов ограничений возможностей человека. Для проекта «Социальный навигатор»

были выбраны пять групп ограничений возможностей, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Категории ограничений возможностей

Категория	Особенности	Ограничения
(А) Лица, передвигающиеся на инвалидных колясках	Перепады высот, наклонные поверхности, узкие проходы	Ограничения способности к самостоятельному передвижению
(В) Лица с нарушением слуха	Звуковые сигналы, интенсивный трафик	Ограничение способности к общению, восприятию звуковой информации
(С) Лица с нарушением зрения	Знаки, визуальные сигналы, выступы	Ограничение способности к самостоятельному передвижению; Ограничение способности к ориентации
(D) Лица с нарушением опорно-двигательного аппарата	Перепады высот, наклонные поверхности, узкие проходы	Ограничения способности к самостоятельному передвижению
(Е) Люди с нарушением умственного развития	Восприятие знаков, сигналов, интенсивного трафика	Ограничение способности к общению; Ограничение способности к ориентации

В результате анализа ограничений возможностей и обследования городских территорий был сформирован список дорожных препятствий, представленный в таблице 2. Список дорожных препятствий может быть расширен при необходимости. В текущей реализации в список не включены временные препятствия, например, дорожные работы, лужи или гололед, так как для их учета требуется использование других источников данных (например, количество выпавших осадков в районе лужи, скорость стока воды в ливневую канализацию, солнечная активность, влажность воздуха и так далее) и отслеживание их актуальности.

Сложность прохождения препятствия оценивается на основе геометрических размеров и других технических параметров [17]. Для упрощения классификации используется пятибалльная шкала уровней сложности препятствия с шагом 0,5. Например, если на дороге присутствует бордюрный камень с пандусом для съезда и высота пандуса меньше 1,5 см, то перемещение людей с ограниченными физическими возможностями не будет вызывать затруднений (сложность 0; 0,5 или 1 в зависимости от других параметров). Однако о наличии такого

препятствия на маршруте следования следует информировать людей с нарушениями зрения.

Для оценки степени влияния препятствия на ограничение возможности используется таблица смежности с коэффициентами, представленными в таблице 3. Если препятствие несколько не затрудняет движение лица с ограниченными возможностями, то коэффициент сложности равен нулю (или «-»). В противном случае представлены 5 коэффициентов сложности.

Таблица 2. Категории дорожных препятствий

Название	Описание
(1) Бордюр	Отделение края пешеходной зоны от проезжей части, газонов и зеленых насаждений
(2) Нерегулируемый пешеходный переход	Пересечение пешеходной и проезжей частей, обозначенное соответствующими дорожными знаками с наличием пандуса или без него
(3) Регулируемый пешеходный переход	Пересечение пешеходной и проезжей частей с использованием светофора или другого способа регулирования движения
(4) Лестница без пандуса	Железобетонная, деревянная или металлическая конструкция со ступенями и поручнем для преодоления уклона местности
(5) Лестница с пандусом	Железобетонная, деревянная или металлическая конструкция со ступенями, поручнем и наклонной площадкой, соединяющая две горизонтальные плоскости, расположенные на разной высоте по отношению друг к другу, для преодоления уклона местности
(6) Неровная дорога	Яма или локальная неровность на дорогах, в том числе дороги без покрытия
(7) Уклон	Крутой подъем или спуск
(8) Сужение дороги	Сужение пешеходной части дороги за счет выступающих объектов
(9) Объект на дороге	Прочие объекты на дороге, например, столбы освещения, рекламные стенды
(10) Ворота	Ворота, шлагбаумы, турникеты и прочие механизмы для ограничения доступа
(11) Остановка	Остановочные комплексы для общественного/маршрутного транспорта или такси с платформой, навесом и/или указателями

1 — самостоятельное перемещение, беспрепятственное прохождение участка дороги, к которому привязано препятствие;

2 — самостоятельное перемещение затруднено, препятствие требует повышенного внимания, затрудняет движение;

3 — самостоятельное перемещение требует подготовки, препятствие сильно затрудняет перемещение;

4 — перемещение только при наличии помощи, для человека с ограничениями без сопровождающего участок дороги с препятствием вызовет сильные затруднения;

5 — непреодолимое препятствие, человек с ограничениями не может использовать данный участок пути при передвижении.

Таблица 3. Коэффициенты сложности прохождения препятствия

Препятствие	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
(1)	1,2,3,4,5	—	1,1,2,3,4	1,1,2,3,4	—
(2)	1,2,3,4,5	—	1,1,2,2,3	1,1,2,2,3	—
(3)	—	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	—	1,2,3,4,5
(4)	1,2,3,4,5	—	1,1,2,3,4	1,1,2,3,4	—
(5)	1,2,3,4,5	—	—	1,2,3,4,5	—
(6)	—	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	—	1,2,3,4,5
(7)	1,2,3,4,5	—	—	1,1,2,2,3	—
(8)	—	—	1,2,3,4,5	—	—
(9)	1,2,3,4,5	—	1,2,3,4,5	—	—
(10)	1,2,3,4,5	—	1,2,3,4,5	1,2,3,4,5	1,1,2,2,3
(11)	1,2,3,4,5	—	1,1,2,2,3	1,1,2,2,3	—

Для каждого уровня сложности препятствий определены коэффициенты сложности для каждой категории ограничений возможностей. Например, если волонтер обнаружил крутой склон дороги и отметил его уровнем сложности 3 (в соответствии с техническими характеристиками препятствия), то для колясочников для такого препятствия используется коэффициент сложности, равный 3, для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата коэффициент будет равен 2, а для людей с нарушением слуха коэффициент сложности равен нулю. Порядок коэффициентов в списке соответствует уровням сложности по возрастанию.

В проекте «Социальный навигатор» информация о препятствиях размещается на геоинформационном сервере GeTS (<http://gets.cs.petrso.ru/obstacle/service>) разработанном на основе технологии Geo2tag [25]. Сервер GeTS обеспечивает доступ к сбору и управлению данными о дорожных препятствиях с помощью стороннего программного обеспечения через программный интерфейс (API) и веб-интерфейс. Пользователи сервера классифицируются в соответствии с уровнем доступа и возможностями: гости, авторизованные пользователи, доверенные пользователи и администраторы. Все авторизованные пользователи могут управлять информацией в предоставляемом сервером личном пространстве. Доверенные пользователи и

администраторы также имеют право на публикацию и управление информацией в общем открытом пространстве. Открытое пространство доступно для чтения всем категориям пользователей сервера GeTS.

Веб-интерфейс (<http://gets.cs.petsru.ru/obstacle/web-client>) включает в себя карту для отображения точек, список ближайших объектов и набор вкладок с точками, соответствующими препятствиям, социальным объектам и административным функциям. Фрагмент формы редактирования точки препятствия показан на рисунке 1. Пользователь может редактировать общие поля, такие как имя точки, координаты и описание, добавлять фотографию подтверждения и добавлять/редактировать дополнительные поля. Кроме того, веб-интерфейс обеспечивает более точное позиционирование, и пользователь может при необходимости уточнить координаты точки.

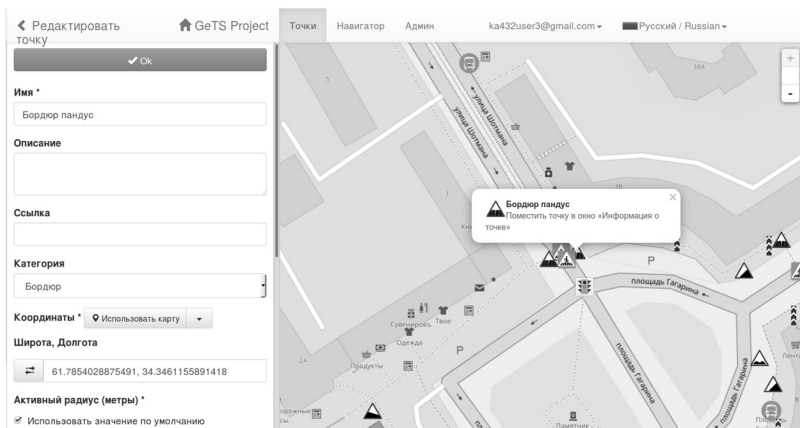


Рис. 1. Фрагмент формы GeTS для редактирования точки

Приложение для мобильных устройств GeTS предоставляет возможность добавлять и редактировать препятствия на карте, публиковать их в открытом пространстве. Это приложение позволяет упростить ручной ввод, осуществлять сбор данных «на местности», определять местоположение пользователя. Приложение отображает окно с картой, на которой пользователь указывает точку и набор параметров. Пользователь вводит название препятствия, затем выбирает категорию и ставит уровень сложности препятствия по пятибалльной шкале. Веб-интерфейс является аналогом приложения для редактирования мобильных препятствий.

Существует несколько способов сбора информации о препятствиях.

– Автоматический импорт известных препятствий от стороннего источника. Этот способ применяется для некоторых типов препятствий, например, перекрестков. Полученные данные должны быть проверены и оценены экспертом. В качестве стороннего источника в проекте «Социальный навигатор» используется база данных свободно-картографического сервиса OpenStreetMap (<http://openstreetmap.org>).

– Ручной ввод препятствий. Ручной ввод может быть выполнен через веб-интерфейс GeTS. Это достаточно медленный, но надежный способ, ориентированный на хорошую память эксперта и/или предварительный сбор данных.

– Использование мобильного приложения GeTS supplement для ввода препятствий. Приложение доступно в магазине Android Google Play для бесплатной загрузки (<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.fruct.oss.getssupplement>).

Согласно результатам исследования пилотного района, предпочтительным является объединение способов в следующей последовательности:

1. Автоматический импорт известных препятствий из OpenStreetMap, получение данных о лестницах, пешеходных переходах и светофорах.

2. Составление плана обследования территории волонтерами с указанием списка улиц.

3. Обследование территории для обнаружения дорожных препятствий. Информация о найденном дорожном препятствии вводится с помощью приложения GeTS supplement и включает рейтинг, комментарии волонтера, фотографии и аудио с пояснениями при необходимости.

4. Ручная коррекция собранных препятствий с использованием веб-интерфейса GeTS: уточнение местоположения дорожных препятствий, связывание с пешеходными дорогами, коррекция рейтинга и комментария.

Использование собранных данных о дорожных препятствиях в алгоритме маршрутизации требует привязки точек к участкам пешеходных дорог. При использовании автоматического определения местоположения в приложении GeTS supplement, присутствует погрешность в определении местоположения с помощью gps-модуля мобильного устройства. Также пользователь может некорректно задать точку, например, в стороне от дороги. Для решения этой проблемы приложение GeTS supplement включает функцию «магнит», которая перемещает новую точку к ближайшей линии дороги. Эта функция требует наличия графа дорог в мобильном приложении. Пользователь может включить или отключить «магнит» в зависимости от ситуации в соответствии с рисунком 2. С помощью функции «магнит» получаются

более точные координаты точки и можно явно определить, на каком участке дороги расположено препятствие. Данная функция необходима при нанесении препятствий близко к пересечениям дорог — без привязки к конкретному участку препятствие может влиять на маршрут, который не проходит через данное препятствие.

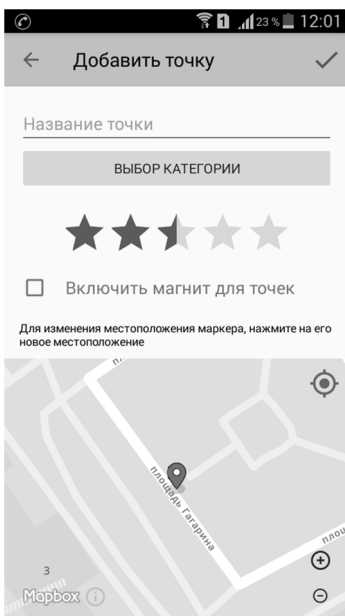


Рис. 2. Фрагмент формы GeTS supplement для добавления точки

4. Построение маршрутов. По результатам анализа существующих библиотек для построения маршрутов была выбрана библиотека с открытым исходным кодом GraphHopper (<https://graphhopper.com>). Основным преимуществом библиотеки является использование данных OpenStreetMap, что дает возможность их модификации и дополнения данных.

В проекте «Социальный навигатор» применяется алгоритм маршрутизации, описанный в [26]. Для определения кратчайшего пути кроме веса ребер графа дорог, полученного с помощью стандартного алгоритма маршрутизации, используются классификация типов дорог и привязка препятствий к ребрам графа. В данных OpenStreetMap тип дороги определяется атрибутом «highway», в зависимости от его значения можно определить дороги, подходящие или не рекомендуемые для перемещения пешеходов. В ходе анализа данных OpenStreetMap были сформированы 3 класса дорог.

1. Дороги, предназначенные для движения пешеходов или с наличием преимущественного права у пешеходов. Перечень типов дорог представлен в таблице 4. Для таких типов дорог используется коэффициент $R = 1$.

Таблица 4. Атрибуты предпочтительных дорог для пешеходов

Атрибут	Описание значения
highway=residential	Для обозначения улиц и переулков, которые проходят вокруг и между жилых зон
highway=service	Подъезд во двор, к зданию, к пляжу, кемпингу, промышленной недвижимости, бизнес-парку и так далее
highway=living_street	Для обозначения улиц со знаками 5.21 и 5.22 «Жилая зона»
highway=pedestrian	Выделенные для пешеходов улицы и площади городов, имеющих твердое (негрунтовое) покрытие
highway=footway	Пешеходные дорожки, выделенные или исключительно, или в основном для пешеходов
highway=steps	Обозначение лестниц и лестничных пролетов
highway=path	Этот тег используется для обозначения стихийных пешеходных троп, троп, используемых для передвижения на лыжах, велосипеде, лошадях

2. Дороги, не предназначенные для движения пешеходов. Перечень типов дорог представлен в таблице 5. Для таких типов дорог используется заградительный коэффициент $R = 10$. Дороги таких типов используются для обеспечения связности графа и применяются в случае отсутствия других вариантов (например, дорога регионального значения, используемая в качестве центральной улицы населенного пункта).

Таблица 5. Атрибуты нежелательных дорог для пешеходов

Атрибут	Описание значения
highway=primary	Автомобильные дороги регионального значения, соединяющие крупные города и/или областные центры
highway=secondary	Автомобильные дороги областного значения, соединяющие областные центры с крупными населенными пунктами, а также крупные населенные пункты между собой
highway=tertiary	Важные автомобильные дороги местного значения, которыми соединяются сёла
highway=trunk	Автомобильные дороги федерального значения, межрегиональные трассы, формирующие опорную сеть автодорог страны
highway=motorway	Автомагистрали
highway=unclassified	Дороги, образующие соединительную сеть вне населенных пунктов
highway=bus_guideway	Дорожные полосы со специальными направляющими

3. Дороги, не имеющие преимущественного права у пешеходов. При прохождении таких дорог пешеход движется по обочине или краю проезжей части, пропускает других участников движения и обходит неровности и другие препятствия. Для учета дополнительных затрат на прохождение дороги используется коэффициент $R = 3$.

Значения коэффициентов R были получены при проведении экспериментальных исследований, связанных с построением графов дорог для населенных пунктов разных типов. В дальнейшем значения коэффициентов будут уточняться на основе результатов практического использования сервиса.

Для определения сложности маршрута требуется вычисление весов ребер графа дорог, формирующих маршрут перемещения, с учетом коэффициентов и уровней сложности препятствий. Вес O_i для препятствия i рассчитывается следующим образом:

$$O_i = K(D_i, C),$$

где K — функция определения сложности препятствия на основе таблицы 3, D_i — уровень сложности препятствия i , а C — выбранная категория ограничений. Для ребра j общий вес E_j рассчитывается следующим образом:

$$E_j = W_j * R + \sum_{i \in I_j} O_i,$$

где W_j — вес ребра, определенный заранее, I_j — множество ближайших препятствий. Вес дороги определяется на этапе генерации графа дорог. Вес препятствия и общий вес ребра рассчитывается для каждого запроса на построение маршрута.

В проекте «Социальный навигатор» выполняется расчет трех типов маршрутов:

- «Безопасный маршрут»: все препятствия имеют вес не более 1.
- «Умеренно опасный маршрут» с весом каждого включенного препятствия менее 5.
- «Кратчайший маршрут» — это маршрут с кратчайшим путем без учета стоимости препятствий.

Если невозможно построить «Безопасный маршрут» и/или «Умеренно опасный маршрут», то они не присутствуют в выводе.

Основная проблема использования такого подхода — построение маршрутов через дороги с тротуарами. Алгоритм маршрутизации не может определить правильность поворота, поскольку дорога с тро-

туарами представляет собой одно ребро. Например, на рисунке 3 представлена дорога с тротуарами по обеим сторонам имеющая два «Т» перекрестка в разных направлениях и один «Х» перекресток с тротуаром. Правильный пешеходный путь от пункта А до пункта D идет через точку E, но алгоритм маршрутизации предлагает маршрут А-В-С-D, хотя в точках В и С отсутствуют пешеходные переходы.

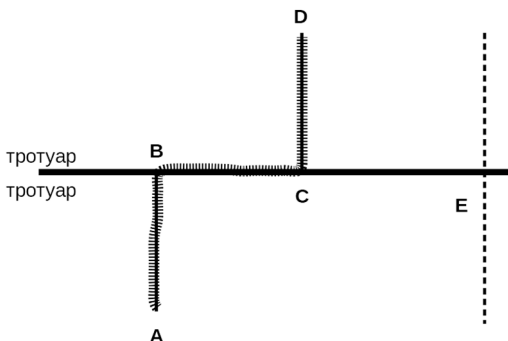


Рис. 3. Пример маршрута через дорогу без отделения тротуаров

Решением является создание отдельных линий тротуаров для пешеходов, проходящих параллельно проезжей части и запрет доступа пешехода к проезжей части [21]. Новые дороги пересекаются со всеми перекрестками, и пешеходы могут пересечь дорогу по умолчанию. Ограничения для пересечения проезжей части могут быть установлены с использованием дорожных препятствий. Полученный граф показан на рисунке 4, и алгоритм маршрутизации, использующий отделение тротуаров от проезжей части, предлагает правильный маршрут.

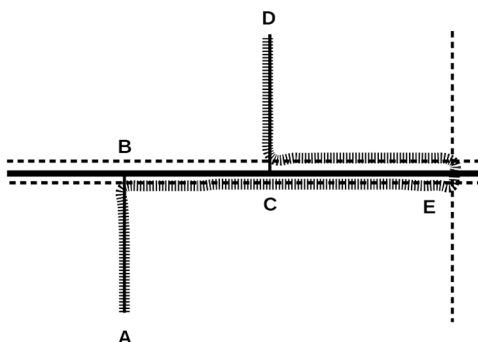


Рис. 4. Пример маршрута через дорогу с отдельными тротуарами

Результат анализа исходных графов позволяет построить более точные пешеходные маршруты. Расширение дорожного графа позволяет более точно устанавливать ограничения движения.

Архитектура проекта «Социальный навигатор» была представлена в работах [26, 27]. Расширенная версия архитектуры с включением картографического сервиса для генерации графа дорог и фрагментов карт показана на рисунке 5. Сервер GeTS используется для хранения данных о дорожных препятствиях. Пользователи могут сохранять найденные препятствия, используя приложение GeTS supplement или через веб-интерфейс. Служба паспортов доступности обеспечивает информирование об ограничениях мобильности на объектах коллективного доступа. Хранилище OSM предоставляет картографическую информацию для мобильных приложений.

Приложение «Социальный навигатор» [26] позволяет создавать маршруты и осуществлять навигацию, используя мобильное устройство. Для людей с нарушениями зрения приложение предоставляет функцию аудио сопровождения. Модульная структура приложения позволяет реализовать комплекс ассистивных информационных технологий [3] для использования людьми с нарушениями зрения, слуха и функций рук.

Картографический сервис использует в качестве источника данных проект OpenStreetMap и генерирует выходные файлы данных для каждой выбранной области [27]. Полученные результаты используются для создания графа дорог в мобильном приложении «Социальный Навигатор», приложении GeTS Supplement, для построения маршрутов в веб-интерфейсе и создания карт.

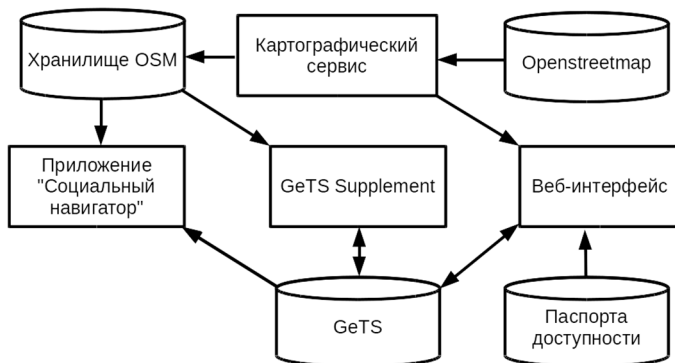


Рис. 5. Архитектура проекта «Социальный навигатор»

Для построения маршрутов пользователь выбирает точки начала и конца маршрута, тип инвалидности, запрос отправляется на серверный скрипт. Скрипт получает список близко расположенных дорожных препятствий и вызывает приложение Graphhopper. Результат возвращается в веб-интерфейс для представления на карте. Снимок экрана веб-

интерфейса показан на рисунке 6. Пользователь может видеть найденные маршруты, оценки сложности прохождения маршрута в баллах, список дорожных препятствий в выбранном маршруте с их описаниями.

5. Объекты коллективного доступа. Информирование людей о доступности объектов коллективного доступа является одной из актуальных задач. В рамках государственной программы «Доступная среда» [4] выполняется формирование паспортов доступности социальных объектов в регионах Российской Федерации. В республике Карелия Министерством здравоохранения и социального развития разработан и введен в эксплуатацию сервис «Паспорт Доступности» [5]. Сервис предназначен для предварительного сбора данных о доступности социально значимых объектов специалистами.

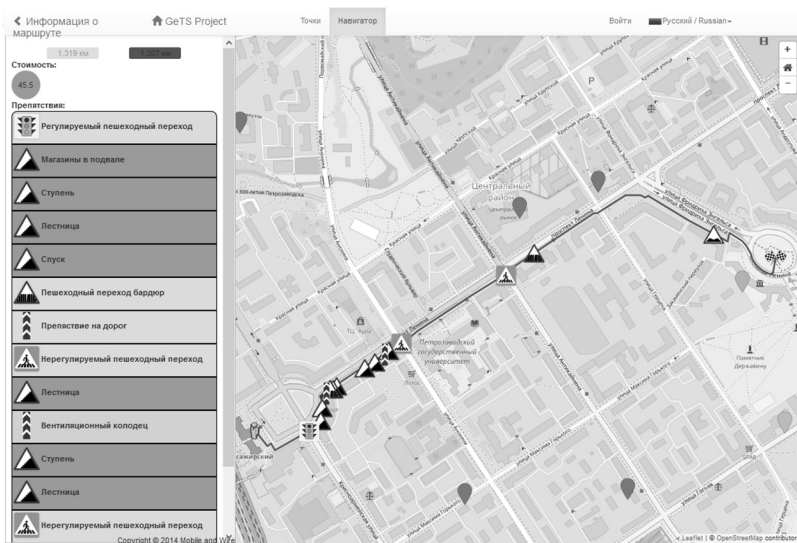


Рис. 6. Построение маршрута в веб-интерфейсе

База данных сервиса «Паспорт Доступности» содержит значительный набор данных, полученных в результате инспектирования объектов социальной инфраструктуры специалистами. Лишь часть этой информации требуется для работы публичных сервисов. Именно эта выборка из первоначального набора данных является основой для работы публичных социальных сервисов. Одним из способов получения результатов паспортизации является использование мобильного приложения «Карта доступности» [26].

В проекте «Социальный навигатор» реализовано взаимодействие с базой данных паспортов доступности, что позволяет пользова-

телю получить более полное описание объекта по сравнению с OpenStreetMap [8]. Обследованные объекты коллективного доступа размещены в веб-интерфейсе GeTS, как показано на рисунке 7.

Каждый объект коллективного доступа представлен в проекте следующей информацией о себе:

- название объекта;
- сфера деятельности объекта;
- место нахождения объекта (фактический адрес);
- описание близлежащих остановок общественного транспорта;
- для каждого вида ограничения мобильности указана:
 - доступность зоны целевого назначения здания;
 - доступность пути движения к объекту (от остановки транспорта);
 - доступность санитарно-гигиенических помещений;
 - доступность системы информации на объекте;
 - доступность территории, прилегающей к зданию (участок).

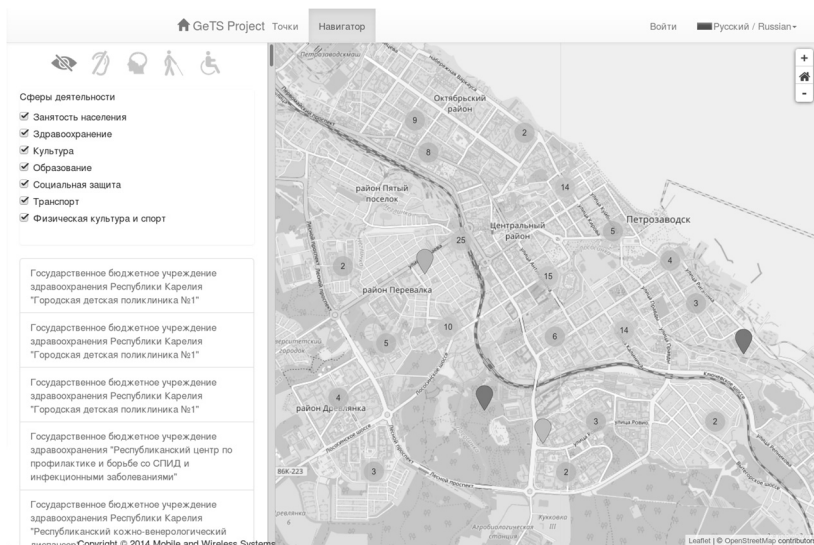


Рис. 7. Отображение объектов коллективного доступа в Web-интерфейсе GeTS

Пользователь может указать тип ограничения возможностей, выбрать объект коллективного доступа и построить маршрут к выбранному объекту. В результате пользователю будет предоставлена информация как о наличии или отсутствии барьеров на пути к объекту коллективного доступа, так и ограничения мобильности внутри объекта коллективного доступа.

6. Апробация результатов. В качестве пилотной зоны для проведения апробации результатов проекта «Социальный навигатор» была выбрана территория республики Карелия. Выполнение ручного обследования было сконцентрировано в городах Петрозаводск, Олонец и Кондопога. Апробация проекта проходила по следующему плану:

1) Загрузка картографических данных о выбранной территории из OpenStreetMap, генерация файлов данных для мобильных приложений и веб-интерфейса.

2) Импорт известных дорожных препятствий из картографических данных.

3) Обследование территории с использованием GeTS Supplement.

4) Анализ результатов сбора дорожных препятствий, построение маршрутов с использованием мобильного приложения «Социальный навигатор» и веб-интерфейса.

В ходе импорта картографических данных был произведен анализ наличия тротуаров и предоставление тротуаров в виде самостоятельных дорожных линий. По результатам анализа было найдено 129 некорректно отмеченных участков дорог, отделено 90 проезжих частей от тротуаров.

Импорт известных дорожных препятствий был разделен на два этапа: поиск дорожных препятствий, соответствующих заданным критериям, и обновление базы данных GeTS. По результатам импорта в базу данных было добавлено 3233 дорожных препятствий.

Обследование территории происходило с привлечением волонтеров из карельской региональной общественной организации инвалидов-опорников «Петросино». В качестве основной территории обследования был выбран центр Петрозаводска. Также были совершены выезды в г. Кондопога и г. Олонец. По результатам обследования были добавлены 533 препятствия. Анализ результатов сбора дорожных препятствий выявил достаточно высокое количество барьеров на пути следования людей с ограниченными возможностями.

Апробация сервиса построения пешеходного маршрута выполнялась на обследованной территории. В ходе апробации было проанализировано отклонение безопасного и умеренно-опасного маршрутов от кратчайшего. В частности, для людей с нарушениями зрения умеренно-опасный маршрут, представленный на рисунке 6, имеет суммарный вес ребер $\sum_{j \in J} E_j = 2635$, проходит через 16 препятствий с суммарным весом

$\sum_{i \in I} O_i = 33,5$ и имеет длину 1319 м. В то же время кратчайший маршрут

имеет меньший общий вес $\sum_{j \in J} E_j = 2584$ и длину в 1307 м, но проходит

через 15 препятствий с суммарным весом $\sum_{i \in I} O_i = 45,5$. По результатам

апробации были выявлены следующие проблемы:

- наличие необследованных территорий (дворы) приводит к построению маршрута через них;
- часть дорог отмечена как доступная для пешеходов, однако проход по ним запрещен;
- алгоритм маршрутизации не учитывает местоположение входа в здание и может привести пользователя к пожарному выходу, который закрыт.

Эти проблемы могут быть решены путем дополнительного обследования и добавления требуемой информации.

7. Заключение. В ходе проекта реализована программная инфраструктура планирования маршрутов для людей с ограниченными возможностями. В составе предложенной инфраструктуры реализованы следующие приложения и сервисы:

- сервис сбора данных о дорожных препятствиях, предоставляющий возможность добавлять и редактировать препятствия, публиковать информацию в открытое пространство;
- картографический сервис для генерации графа пешеходных дорог и фрагментов карт;
- хранилище, содержащее данные о препятствиях, социальных объектах и их доступности.
- сервис построения пешеходного маршрута, использующий граф дорог, и алгоритм, учитывающий привязку препятствий к ребрам графа для увеличения веса ребра в зависимости от сложности препятствия и вида ограничения возможностей пользователя;
- мобильное приложение «Социальный навигатор» в котором используются сервис построения маршрутов и сопровождение, возможность адаптации для различных типов инвалидности, например, для слабовидящих пользователей реализовано аудио сопровождение при перемещении по маршруту.

В ходе работы получены следующие результаты:

- средствами сети Интернет и мобильных приложений изучена мировая практика по поддержке людей с ограниченными возможностями; выявлено, что среди решений отсутствует комплексное предоставление информации о доступности объектов и маршрутов следования;
- предложены подходы к созданию информационной инфраструктуры для людей с ограниченными возможностями, разработано архитектурное решение, связывающее несколько сервисов реализующих разные функции;

– реализована возможность сбора данных о препятствиях «на местности» с использованием мобильного приложения, а также возможность работы с точками-препятствиями посредством web-интерфейса;

– предложены подходы к повышению точности расстановки препятствий на карте для дальнейшего использования при построении маршрута — возможность ручной коррекции расположения точек, привязка точек к участкам дорог;

– построен граф пешеходных дорог для пилотной зоны проекта на основе стандартного графа дорог сервиса OSM с использованием алгоритма выявления участков наиболее безопасных для перемещения людей с ограничениями;

– реализовано приложение для построения маршрутов, определяющее маршруты разной степени доступности и безопасности с учетом видов ограничений.

При проведении апробации разработанных сервисов было выявлено, что инфраструктура населенных пунктов пилотного региона слабо адаптирована к самостоятельному перемещению людей с ограничениями, особенно инвалидов-колясочников. В таких условиях создание и расширение информационной инфраструктуры способно существенно облегчить выбор подходящего маршрута, а также расширить «зону доступности» объектов и услуг [28]. Повышение информированности позволяет людям с ограниченными возможностями увеличить их личную мобильность, упростить доступ к социальным услугам и сервисам, повысить вовлеченность в жизнь местного сообщества.

Разработанная программная инфраструктура может быть интегрирована с другими проектами по сбору информации о препятствиях и сопровождению людей с ограниченными возможностями. В частности, с проектами «Народная карта Яндексa» (<http://n.maps.yandex.ru>) и «Говорящий город» (<http://www.speakingcity.org/>).

Литература

1. Конвенция о правах инвалидов. Организация объединенных наций. URL: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N06/500/79/PDF/N0650079.pdf> (дата обращения: 24.04.2017).
2. Терскова С.Г. Механизм формирования доступной среды для инвалидов // Гуманитарные научные исследования. 2015. № 7. URL: <http://human.snauka.ru/2015/07/12062> (дата обращения: 24.04.2017).
3. Карнов А.А. Ассистивные информационные технологии на основе аудиовизуальных речевых интерфейсов // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 4(27). С. 114–128.
4. «Доступная среда» для людей с ограниченными возможностями. URL: <http://zhit-vmeste.ru/> (дата обращения: 24.04.2017).

5. *Apanasik Y., Shabalina I., Shabaev A.* “Accessibility Passports” Service for Information Social Infrastructure // Proc. of the 14th Conference of Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications Program. Spb.: SUAI. 2013. pp. 3–8.
6. *Karimi H.A., Jiang M., Zhu R.* Pedestrian navigation services: challenges and current trends // *Geomatica*. 2013. vol. 67. no. 4. pp. 259–271.
7. Wheelchair routing — OpenStreetMap Wiki. URL: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Wheelchair_routing (дата обращения 24.04.2017).
8. *Weyrer T., Hochmair H., Paulus G.* Intermodal door-to-door routing for people with physical impairments in a web-based, open-source platform // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014. vol. 2469. pp. 108–119.
9. *Ding D. et al.* Design considerations for a personalized wheelchair navigation system // 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2007). 2007. pp. 4790–4793.
10. *Kasemsuppakorn P., Karimi H.A.* Personalized routing for wheelchair navigation // *Journal of Location Based Services*. 2009. vol. 3. no. 1. pp. 24–54.
11. *Alshraideh M. et al.* A robotic intelligent wheelchair system based on obstacle avoidance and navigation functions // *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. 2015. vol. 27. no. 4. pp. 471–482.
12. *Levine S.P. et al.* The NavChair assistive wheelchair navigation system // *IEEE transactions on rehabilitation engineering*. 1999. vol. 7. no. 4. pp. 443–451.
13. *Dornhofer M., Bischof W., Krajnc E.* Comparison of Open Source routing services with OpenStreetMap Data for blind pedestrians // *Online Proceedings FOSS4G-Europe 2014*. 2014. pp. 1–6.
14. *Kammoun S. et al.* Route selection algorithm for blind pedestrian // *Control Automation and Systems (ICCAS)*. 2010. pp. 2223–2228.
15. *Chen M. et al.* An object-oriented data model built for blind navigation in outdoor space // *Applied Geography*. 2015. vol. 60. pp. 84–94.
16. *Ren M., Karimi H.A.* Movement pattern recognition assisted map matching for pedestrian/wheelchair navigation // *Journal of Navigation*. 2012. vol. 65. no. 04. pp. 617–633.
17. СП 59.13330.2012 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения // М.: Минстрой России. 2015.
18. О методических рекомендациях, нацеленных на устранение наиболее часто встречающихся барьеров на пути следования инвалидов и других маломобильных групп населения при посещении административных зданий и служебных помещений: письмо Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 11 апреля 2012 г. N 30-7/10/2-3602. 2012. URL: <http://base.garant.ru/70216056/#block16#ixzz4esufMquK> (дата обращения 24.04.2017).
19. *Акбашева З.Р., Давыдова Е.М., Казакова Т.Д., Радченко В.Ю.* Организация доступной среды в вузе посредством визуальной навигационной системы // *Современные научные исследования и инновации*. 2017. № 3. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/03/79149> (дата обращения: 24.04.2017).
20. *Prandi F. et al.* Collaboratively collected geodata to support routing service for disabled people // *Proceedings of the 11th international Symposium on Location-Based Services*. 2014. pp. 67–79.
21. *Neis P., Zielstra D.* Generation of a tailored routing network for disabled people based on collaboratively collected geodata // *Applied Geography*. 2014. vol. 47. pp. 70–77.

22. *Karimi H.A., Zhang L., Benner J.G.* Personalized accessibility map (PAM): A novel assisted wayfinding approach for people with disabilities // *Annals of GIS*. 2014. vol. 20. no. 2. pp. 99-108.
23. *Prandi C., Salomoni P., Mirri S.* mPASS: integrating people sensing and crowdsourcing to map urban accessibility // *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*. 2014. pp. 591-595.
24. *Rice R.M. et al.* Position validation in crowdsourced accessibility mapping // *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 2016. vol. 51. no. 2. pp. 55-66.
25. *Balandina E. et al.* Innovative e-tourism services on top of Geo2Tag LBS platform // *11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*. 2015. pp. 752-759.
26. *Kulakov K. et al.* "Accessibility Map" and "Social navigator" services for persons with disabilities // *Proceedings of 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. 2014. pp. 69-76.
27. *Kulakov K., Zavyalova Y., Shabalina I.* Navigation Infrastructure for People with Disabilities // *Proceedings of 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. 2017. pp. 209-215.
28. *Семенов С.П., Славский В.В., Ташкин А.О.* Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. 2016. Т. 14. №. 1. С. 83-102.

Кулаков Кирилл Александрович — доцент, доцент кафедры информатики и математического обеспечения, Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ). Область научных интересов: диофантовы уравнения, интеллектуальные пространства, электронный туризм, анализ данных. Число научных публикаций — 32. kulakov@cs.karelia.ru, <http://cs.karelia.ru/~kulakov/>; пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910; р.т.: +7(8142)711015.

Завьялова Юлия Вячеславовна — младший научный сотрудник подразделения «управление научных исследований», Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ). Область научных интересов: методы и системы интеллектуального анализа данных и распознавания образов, программные модели и системы, интеллектуальные Интернет-технологии в медицине. Число научных публикаций — 10. yzavyalo@cs.karelia.ru; пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910; р.т.: +7(8142)711015.

Шабалина Ирина Михайловна — доцент кафедры прикладной математики и кибернетики, Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ), ведущий программист, Центр Систем Автоматизации. Область научных интересов: математическое моделирование, прикладные статистические методы, разработка информационных систем. Число научных публикаций — 41. ishabalina@opti-soft.ru; пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910; р.т.: +7(8142)713-226, Факс: +7(8142)713-216.

Поддержка исследований Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (проект «УМНИК» № 6893/2015 на 2015-2017 года).

K.A. KULAKOV, Y.V. ZAVYALOVA, I.M. SHABALINA
**SOCIAL NAVIGATOR: IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE
INFRASTRUCTURE OF ROUTE PLANNING FOR PEOPLE WITH
DISABILITIES**

K.A. Kulakov, Y.V. Zavyalov, I.M. Shabalina **Social Navigator: Implementation of the Software Infrastructure of Route Planning for People with Disabilities.**

Abstract. An important task of the modern society is to provide people with disabilities with all rights, and in particular, the rights to free movement. The article presents the implementation of the project "Social Navigator" aimed at creating an information infrastructure to support people with disabilities when traveling through the city. The project implements technologies that extend the capabilities of modern software tools for building routes. Ways to organize and use data on road obstacles and availability of social significance objects are considered. Particular attention is paid to assessing the complexity of obstacles, depending on the availability of the route based on the types of users' capabilities limitations and the impact of obstacles. The project implemented the task of constructing a route taking into account road type and obstacles, as well as the adaptation of the information about standard map services to be used for the construction of pedestrian routes for people with disabilities. The software infrastructure includes services for the collection and expert evaluation of obstacles, mapping service for generating a road graph, a service for collecting data on the availability of social objects, an application that allows building routes and navigating using a mobile device. For the end users, the web and mobile versions of the implemented services are available. The proposed infrastructure improves the quality of life of people with disabilities by organizing their personal mobility, simplifying access to social services and services, and fully engaging in the local community life.

Keywords: accessible environment, routing, mobility, social navigator, availability passport.

Kulakov Kirill Alexandrovich — Ph.D., associate professor, associate professor of informatics and mathematics department, Petrozavodsk State University (PetrSU). Research interests: diophantine equations, smart spaces, e-tourism, data analysis. The number of publications — 32. kulakov@cs.karelia.ru, <http://cs.karelia.ru/~kulakov>; 33, Lenin str., Petrozavodsk, 185910, Russia; office phone: +7(8142)711015.

Zavyalova Yulia Vyacheslavovna — junior researcher of "management of scientific research" division, Petrozavodsk State University (PetrSU). Research interests: methods and systems of data mining and recognition, software models and systems, intelligent Internet technologies in medicine. The number of publications — 10. yzavyalo@cs.karelia.ru; 33, Lenin str., Petrozavodsk, 185910, Russia; office phone: +7(8142)711015.

Shabalina Irina Mikhailovna — Ph.D., associate professor of applied mathematics and cybernetics department, Petrozavodsk State University (PetrSU), leading programmer, Center for Automation Systems. Research interests: mathematical modeling, applied statistical methods, development of information systems. The number of publications — 41. ishabalina@opti-soft.ru; 33, Lenin str., Petrozavodsk, 185910, Russia; office phone: +7(8142)713-226, Fax: +7(8142)713-216.

Acknowledgements. This research is supported by the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology within project # 6893/2015 for 2015–2017 of “UMNIK” program.

References

1. Конвенция о правах инвалидов. Организация об#единенных наций [Convention on the rights of persons with disabilities. United Nations]. 2007. Available at: https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC_GEN/N06/500/79/PDF/N0650079.pdf. (accessed: 24.04.2017).
2. Terskova S.G. [Formation mechanism of an accessible environment for people with disabilities]. *Gumanitarnye nauchnye issledovaniya – Humanitarian research*. 2015. vol. 7. Available at: <http://human.snauka.ru/2015/07/12062>. (accessed: 24.04.2017). (In Russ.).
3. Karpov A.A. Assistive Information Technologies based on Audio-Visual Speech Interfaces]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 4(27). pp. 114–128.
4. Dostupnaya sreda dlya lyudej s ogranichennymi vozmozhnostyami [Accessible environment for people with disabilities]. Available at: <http://zhit-vmeste.ru/>. (accessed: 24.04.2017). (In Russ.).
5. Apanasik Y., Shabalina I., Shabaev A. “Accessibility Passports” Service for Information Social Infrastructure. Proc. of the 14th Conference of Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications Program. Spb.: SUAI. 2013. pp. 3–8.
6. Karimi H. A., Jiang M., Zhu R. Pedestrian navigation services: challenges and current trends. *Geomatica*. 2013. vol. 67. no. 4. pp. 259–271.
7. Wheelchair routing — OpenStreetMap Wiki. Available at: http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Wheelchair_routing (accessed: 24.04.2017).
8. Weyrer T., Hochmair H., Paulus G. Intermodal door-to-door routing for people with physical impairments in a web-based, open-source platform. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014. vol. 2469. pp. 108–119.
9. Ding D. et al. Design considerations for a personalized wheelchair navigation system. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2007). 2007. pp. 4790–4793.
10. Kasemsuppakorn P., Karimi H.A. Personalized routing for wheelchair navigation. *Journal of Location Based Services*. 2009. vol. 3. no. 1. pp. 24–54.
11. Alshraideh M. et al. A robotic intelligent wheelchair system based on obstacle avoidance and navigation functions. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. 2015. vol. 27. no. 4. pp. 471–482.
12. Levine S. P. et al. The NavChair assistive wheelchair navigation system. *IEEE transactions on rehabilitation engineering*. 1999. vol. 7. no. 4. pp. 443–451.
13. Dornhofer M., Bischof W., Krajnc E. Comparison of Open Source routing services with OpenStreetMap Data for blind pedestrians. Online Proceedings FOSS4G-Europe 2014. 2014. pp. 1–6.
14. Kammoun S. et al. Route selection algorithm for blind pedestrian. Control Automation and Systems (ICCAS). 2010. pp. 2223–2228.
15. Chen M. et al. An object-oriented data model built for blind navigation in outdoor space. *Applied Geography*. 2015. vol. 60. pp. 84–94.
16. Ren M., Karimi H.A. Movement pattern recognition assisted map matching for pedestrian/wheelchair navigation. *Journal of Navigation*. 2012. vol. 65. no. 04. pp. 617–633.
17. Svod pravil 59.13330.2012 dostupnost zdaniy i sooruzhenij dlya malomobilnyh grupp naseleniya [Code of Regulations 59.13330.2012 Availability of buildings and structures for low-mobile groups of the population]. Moscow.: Ministroy rossii. 2015. (In Russ.).

18. O metodicheskikh rekomendatsiyah, naceleennyh na ustranenie naibolee chasto vstrechayushchihsya bar'erov na puti sledovaniya invalidov i drugih malomobil'nyh grupp naseleniya pri poseshchenii administrativnyh zdaniy i sluzhebnyh pomeshchenij: pis'mo Ministerstva zdrazvoohraneniya i social'nogo razvitiya RF ot 11 aprelya 2012 g. N 30-7/10/2-3602. 2012. [On the methodical recommendations aimed at eliminating the most common barriers to the movement of disabled people and other low-mobility groups when visiting administrative buildings and offices: a letter from the Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation of April 11, 2012 No. 30-7 / 10 / 2- 3602. 2012.]. Available at: <http://base.garant.ru/70216056/#block16#ixzz4esufMquK> (accessed: 24.04.2017). (In Russ.).
19. Akbasheva Z.R., Davydova E.M., Kazakova T.D., Radchenko V.Yu. [Organization of an accessible environment in the university through a visual navigation system]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii – Modern scientific research and innovations*. 2017. vol. 3. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2017/03/79149> (accessed: 24.04.2017). (In Russ.).
20. Prandi F. et al. Collaboratively collected geodata to support routing service for disabled people. *Proceedings of the 11th international Symposium on Location-Based Services*. 2014. pp. 67–79.
21. Neis P., Zielstra D. Generation of a tailored routing network for disabled people based on collaboratively collected geodata. *Applied Geography*. 2014. vol. 47. pp. 70–77.
22. Karimi H.A., Zhang L., Benner J.G. Personalized accessibility map (PAM): A novel assisted wayfinding approach for people with disabilities. *Annals of GIS*. 2014. vol. 20. no. 2. pp. 99–108.
23. Prandi C., Salomoni P., Mirri S. mPASS: integrating people sensing and crowdsourcing to map urban accessibility. *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*. 2014. pp. 591–595.
24. Rice R.M. et al. Position validation in crowdsourced accessibility mapping. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 2016. vol. 51. no. 2. pp. 55–66.
25. Balandina E. et al. Innovative e-tourism services on top of Geo2Tag LBS platform. *11th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*. 2015. pp. 752–759.
26. Kulakov K. et al. “Accessibility Map” and “Social navigator” services for persons with disabilities. *Proceedings of 15th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. 2014. pp. 69–76.
27. Kulakov K., Zavyalova Y., Shabalina I. Navigation Infrastructure for People with Disabilities. *Proceedings of 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. 2017. pp. 209–215.
28. Semenov S.P., Slavskii V.V., Tashkin A.O. [The analysis of the information resources directed on satisfaction in information needs of physically disabled people]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informacionnye tehnologii – Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information technology*. 2016. vol. 14. no. 1. pp. 83–102.