

УДК 528.92

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-1-97-106

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «HERE TECHNOLOGIES»

Олеся Михайловна Николаева

HERE Technologies, 124445, Россия, г. Москва, ул. Смольная, 24 Д, главный специалист по взаимодействию с сообществами, тел. (989)533-74-15, e-mail: olesia.nikolaeva@here.com

Людмила Константиновна Радченко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sugit.ru

Данное исследование нацелено на становление основ научно-теоретической базы навигационного картографирования. Навигационное картографирование – один из лидирующих разделов в картографии, который получил стремительное развитие благодаря спутниковым и цифровым технологиям. Результатом деятельности навигационного картографирования стали навигационные приложения для автолюбителей, для широкого круга потребителей, специалистов различных служб МЧС, пожарных частей и служб скорой помощи. Этот широкий спектр навигационных приложений используется через смартфоны, персональные компьютеры, пешеходные и ручные навигаторы. Кроме ориентирования на местности, навигационная система позволяет проводить маршрутизацию: рассчитать кратчайший или оптимально-выгодный маршрут, вести сопровождение по маршруту. Маршрутизация по автомобильным дорогам называется автомобильной и работает в соответствии с алгоритмом по ранее созданному графу дорог. Построение маршрута осуществляется по определенным правилам с учетом статичных атрибутов дорожной сети и динамичных факторов геопространства. Эти аспекты маршрутизации раскрыты на примере картографической навигационной продукции компании HERE Technologies. HERE Technologies – крупная международная навигационная компания по созданию, обновлению и использованию навигационных карт. В статье также рассмотрены основные статичные атрибуты навигационной системы, которые участвуют в построении маршрута как в онлайн, так и в офлайн режиме; проанализированы основные динамичные факторы геопространства, влияющие на построение и корректировку маршрута. В исследовании использованы картографический метод исследования, метод маршрутизации и основные понятия теории графов.

Ключевые слова: навигационная картография, навигационная карта, навигационная система, граф дорог, маршрутизация, атрибуты дорожной сети, кратчайший путь, динамичные факторы геопространства, алгоритм, рассчитывающий маршрут

Введение

Благодаря развитию спутниковых и цифровых технологий, в навигационной картографии, которая как раздел общей картографии существовала еще до возникновения компьютеров [1], открываются новые перспективы и возможности использования различных инструментов для мониторинга геопространства [2]. В настоящее время навигационное картографирование стремительно развивается, появляется возможность оперативного решения повседневных навигационных задач с использованием картографических материалов, которая

требует постоянного внедрения в картографическое производство новых технологий [3].

Сегодня накоплен огромный объем информации об объектах, полученный на основе данных геолокации, которые позволяют создавать геолокационные платформы для решения широкого спектра задач, начиная от построения оптимальных маршрутов (маршрутизации) для повседневной автомобильной навигации и заканчивая предиктивной аналитикой с целью предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций.

Цель данного исследования: выявить и сформулировать критерии и факторы, влияющие на развитие навигационной картографии.

яющие на процесс маршрутизации и рассмотреть существующие технологии на примере картографической продукции компании HERE Technologies [4–6]. На сегодняшний день компания предоставляет широкий спектр сервисов геолокационной платформы для решения задач построения кратчайшего и экономически выгодного маршрутов в зависимости от целей конечного потребителя, вида транспорта, условий окружающей среды, различных внезапно возникающих ситуаций и т. п. Среди аналогичных производственных компаний по всему миру подобных открытых локационных платформ не существует.

Материалы и методы исследования

Самой главной функцией в любой навигационной программе является расчет и прокладка оптимального маршрута из пункта А в пункт Б.

В первых навигационных системах задача построения маршрута решалась предоставлением единственного наилучшего маршрута. В настоящий период времени на алгоритм построения маршрута влияет большое количество факторов геопространства. Появились новые возможности, например, расчет вре-

мени прибытия к месту назначения в зависимости от выбранного маршрута. А облачные сервисы позволяют системе мгновенно принимать решение в любой ситуации в зависимости от реальных событий. Современные навигационные системы реализуют несколько вариантов маршрутов и предоставляют пользователю на выбор любой, который подходит в конкретной ситуации.

Все это открывает огромные перспективы использования пространственных данных и навигационных сервисов как в обычной, так и в нестандартной или даже кризисной ситуации, такой как снегопад, наводнение, землетрясение, пожар, оползни, пробки.

Главные составляющие маршрутизации – это дорожный граф и алгоритм, рассчитывающий маршрут. В приказе Министерства экономического развития Российской Федерации от 01.09.2010 № 464 «Об утверждении порядка создания, обновления, использования, хранения и распространения цифровых навигационных карт» [7] изложены требования, предъявляемые к формированию дорожного графа. Что касается маршрутизации, то она постоянно и непрерывно усовершенствуется с целью приближения к идеальному результату на основе всех статичных и динамичных данных, влияющих на построение маршрута (рис. 1).

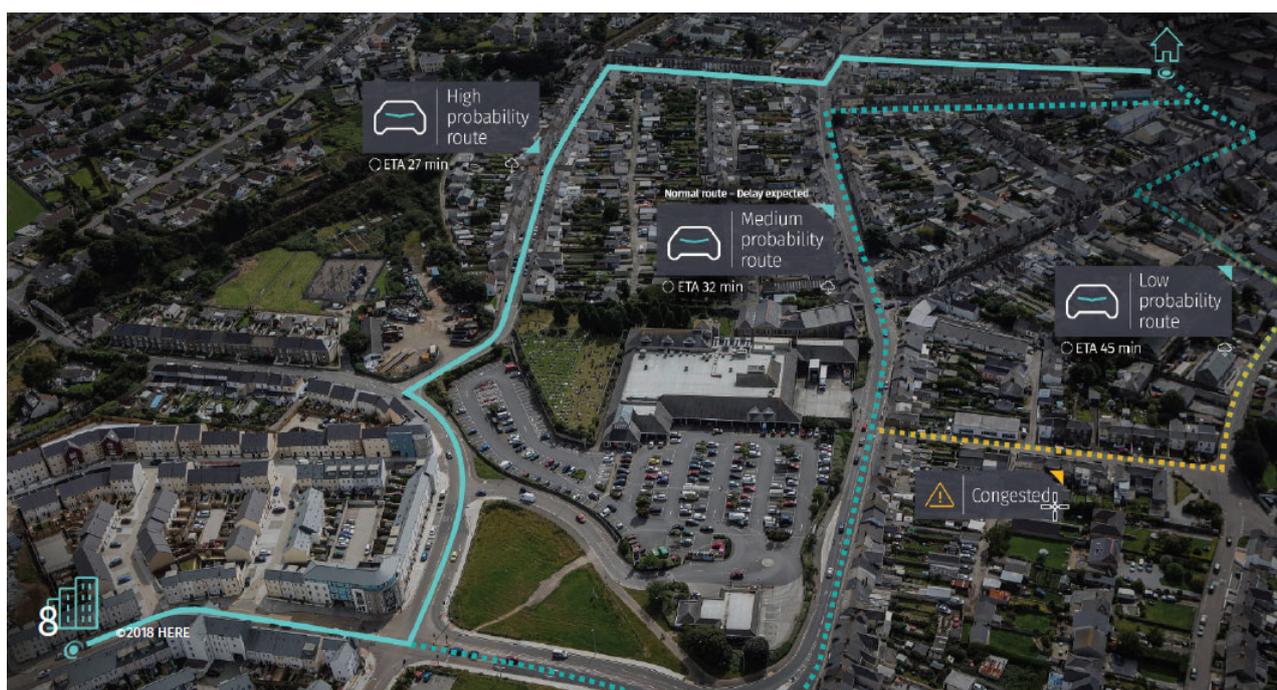


Рис. 1. Многофакторный расчет маршрутов

Навигационные приложения могут хранить массив данных непосредственно на навигационном устройстве, на удаленном сервере, а также сочетать оба способа хранения данных [2, 8].

Навигационные системы, хранящие данные на удаленном сервере, способны отображать информацию и выполнять свои функции только в режиме онлайн. В случае, когда нет возможности быть постоянно подключенным к Интернету, можно загрузить и сохранить данные один раз с сервера, что дает возможность работать в режиме

офлайн (в автономном режиме). Нужно учесть, что такие базы данных требуют обновления, периодичность которого зависит от компании-производителя. Встречаются также навигационные приложения, у которых некоторые дополнительные офлайн-функции доступны только при подключении к сети Интернет.

Оба режима работы навигационного устройства содержат в себе ряд статичных атрибутов дорожной сети и динамичных факторов геопространства, влияющих на построение маршрута (рис. 2).

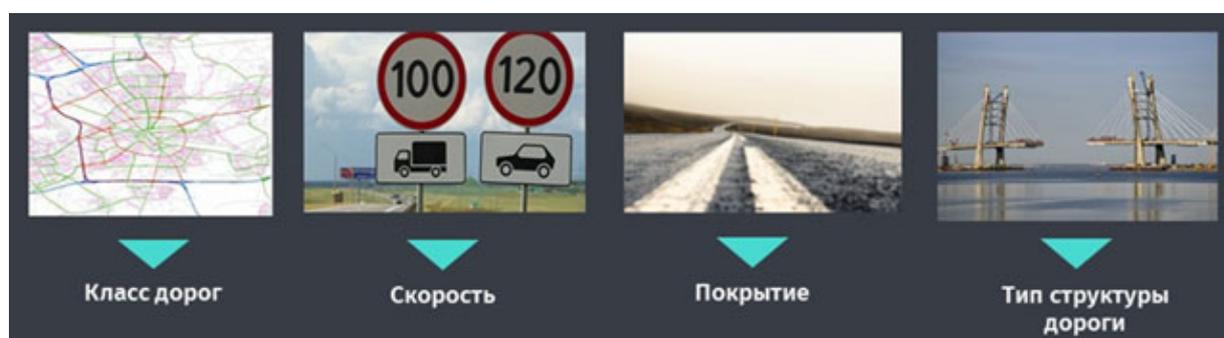


Рис. 2. Основные статичные атрибуты дорожной сети

Результаты исследования и их обсуждение

К основным статичным атрибутам дорожной сети относят класс дорог, скорость, покрытие дороги и тип структуры дороги.

Класс дорог. Иерархическая классификация дорожной сети используется для оптимизации расчета маршрута согласно заданному алгоритму.

Согласно Федеральному закону «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [9], автомобильные дороги по условиям движения и доступа на них транспортных средств разделяют на три класса:

- автомагистраль;
- скоростная дорога;
- дорога обычного типа (не скоростная дорога).

Для картографирования дорог и построения маршрута в навигационных системах, представленной выше классификации недо-

статочно, поэтому в навигационной системе Here Technologies выделяют пять классов дорог (рис. 3).

1. Автострада (Level 1) – крупная автомобильная дорога, соединяющая населенные пункты внутри государства и государства между собой.

2. Главная дорога (Level 2) – дорога, соединяющая крупные города между собой, также она может проходить внутри города или быть объездной.

3. Дорога «местный доступ» (Level 3) – дорога, проходящая через город или соединяющая районы города между собой, или соединяет небольшие населенные пункты друг с другом.

4. Дорога «жилая» (Level 4) – общественная дорога, позволяющая подъехать к жилым домам, организациям или другим объектам городской инфраструктуры.

5. Дорожка (Level 5) – пешеходная дорога, предназначенная для движения пешеходов и велосипедистов, причем движение автомобилям по данной дороге запрещено.

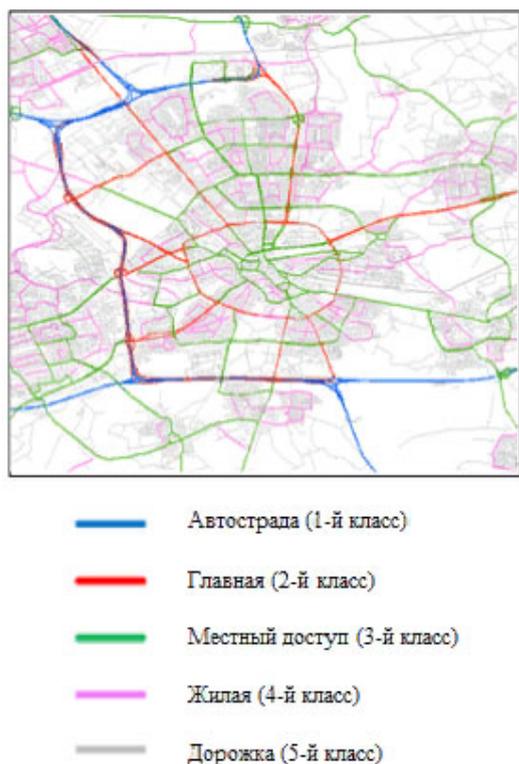


Рис. 3. Отображение автодорог по классам

При построении маршрута учитываются следующие правила в соответствии с классом автомобильных дорог:

- 1) маршруты на большие расстояния рассчитываются путем поиска дорожной сети по более высокому функциональному классу дорог. Съезд на более низкие классы дорог рассчитывается для достижения финальной точки маршрута;
- 2) первые три класса дорог формируют сеть приоритетных дорог при построении

маршрута, и только на жилой территории, навигатор будет руководствоваться скоростным режимом, чтобы поскорее вывести средства передвижения на сеть основных дорог. При формировании дорожного графа первых трех классов соблюдаются правила топологии, в зависимости от функционального назначения конечного участка дороги присваивается класс дорог. При формировании дорожного графа данных дорог недопустимо наличие геометрических пропусков и участков, не имеющих сквозного проезда «тупик»;

3) для дорог 1-4-го класса разрешено движение всем видам транспорта, а для дорог 5-го класса могут быть ограничения проезда, согласно установленным правилам дорожного движения, поэтому построения маршрута осуществляется с учетом категории транспортного средства;

4) при формировании дорожного графа для атрибута «класс дорог» учитываются правила и знаки ПДД (одностороннее движение, разделители, другие условия), которые также влияют на построение маршрута.

Скоростной режим. При формировании дорожного графа отображение ограничительной скорости на карте определяются реальными ограничениями скорости на дорогах и ПДД (рис. 4). Значения ограничительной скорости, внесенные в базу данных, могут отличаться от знаков ПДД, только в сторону уменьшения в том случае, если на скоростной режим влияют какие-либо факторы или ограничения (например, физические ограничения или характеристики доступа).

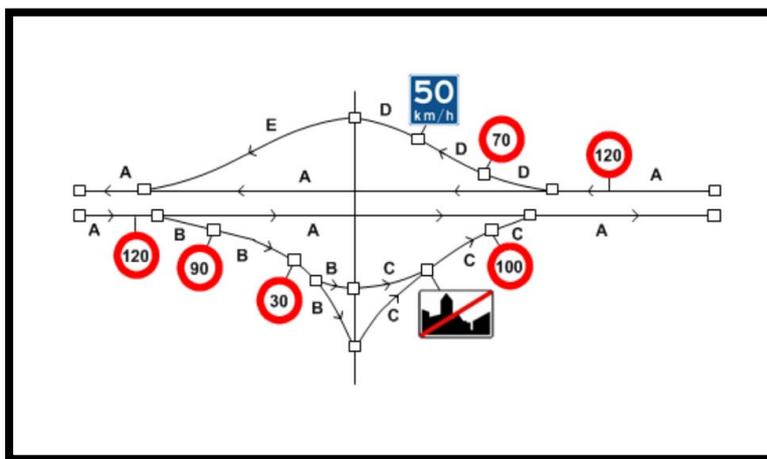


Рис. 4. Отображение скоростного режима участка автодороги

Например, если на участке дороги разрешенная скорость 90 км/ч, но дорога не имеет покрытия, то в навигационной системе графу дороги будет присвоено более низкое значение возможной для проезда скорости (категория).

В случае, если скоростные характеристики дороги не известны, то выставляются значения по умолчанию, согласно ПДД в РФ:

- 1) в пределах населенного пункта – максимально разрешенная скорость 60 км/ч;
- 2) вне населенного пункта – максимально разрешенная скорость 90 км/ч.

В навигационную базу данных вносят и другие дополнительные параметры, такие как ограничение скорости в зависимости от промежутка времени, скоростные атрибуты на дорожных развязках. Все эти параметры учитываются при построении наилучшего маршрута и при расчете альтернативных вариантов.

Покрытие. Выделяют несколько типов покрытия дорожной сети, каждый из которых имеет свои показатели допустимого скоростного значения:

- 1) дорога без покрытия: грунт (рис. 5), гравий (рис. 6);
- 2) дорога с покрытием (рис. 7);
- 3) дорога с нарушенным дорожным покрытием (рис. 8).

Ухудшение качества покрытия снижает допустимую скорость движения в навигационной системе. При прокладке маршрута алгоритм просчитывает наиболее выгодный маршрут на основе описанных данных. В случае сильной загруженности дорог допустима ситуация, когда дорога с хорошим покрытием, но насыщенным трафиком, может быть не отнесена к наилучшему маршруту при расчете наилучшего пути.

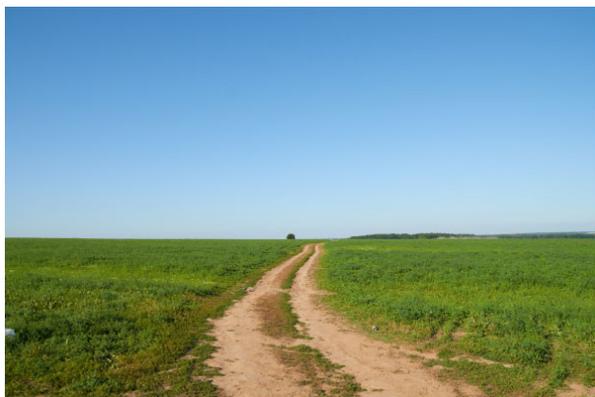


Рис. 5. Пример грунтовой дороги



Рис. 6. Пример гравийной дороги



Рис. 7. Пример дороги с покрытием



Рис. 8. Пример дороги с нарушенным покрытием

Тип структуры дороги. Тип структуры дороги представлен в Here Technologies в виде объектов инфраструктуры дорожной сети:

- 1) туннель;
- 2) мост;
- 3) переправа.

Временной режим и сезонность – это те параметры работы автомобильной дороги, которые влияют на построение маршрута. В случае, когда эти параметры не подходят пользователю для построения маршрута для конкретного времени, навигационная система выстраивает альтернативный путь.

Перечисленные основные статичные атрибуты навигационной системы участвуют в построении маршрута как в онлайн, так и в офлайн режиме.

Следующие атрибуты влияют на корректировку построения маршрута в онлайн режиме, некоторые из них являются критически

важными при перерасчете маршрута в пользу более быстрого способа достижения цели.

Рассмотрим основные динамичные факторы геопространства, влияющие на построение и корректировку маршрута (рис. 9).

Погода. Пользователи ожидают достоверную информацию о погоде непосредственно в своих навигационных устройствах. Сведения о погоде на заданную территорию навигационная система может получать в режиме реального времени. Информация о текущем состоянии может быть получена от компаний-партнеров или через единое облачное хранилище от метеостанций по всему миру.

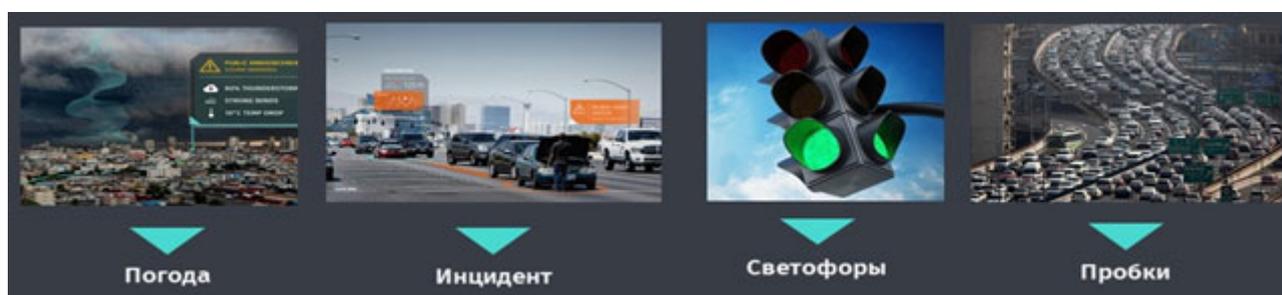


Рис. 9. Динамичные факторы геопространства

Инцидент (рис. 10). Предупреждение об аварии или поломке транспортного средства или любой другой чрезвычайной ситуации возможно при подключении к единому облачному хранилищу в режиме онлайн.



Рис. 10. Отображение инцидентов

Данные об инциденте поступают в облачное хранилище от пользователей навигационных систем. В ближайшем обновлении навигационной системы технология будет основана

на обмене информации между пользователем и локационной платформой, дополненная информацией сторонних пользователей. Например, если начинается сильный дождь, о котором сообщают несколько владельцев автомобилей, водители получают не несколько предупреждений, а одно консолидированное сообщение, которое будет сопоставлено с предупреждениями. Это будет подкрепляться дополнительными метаданными для повышения качества данных, с тем чтобы можно было с уверенностью предоставлять информацию о сильном дожде или тумане.

Светофоры. В картографической базе данных имеется информация о местонахождении светофоров. Как известно, у каждого светофора свой режим работы. Само наличие большого количества светофоров на одном пути может значительно повлиять на скорость автомобиля, увеличив время предположительного достижения окончания маршрута. Если объединить информацию о геолокации автомобиля и информацию о режиме работы светофора, маршрут для автомобили-

ста может стать не только быстрым и оптимальным, но и более безопасным.

Пробки. Пользователи навигационных систем с поддержкой трафика получают информацию о пробках на дорогах через службу радиовещания и через получение обезличенных данных от пользователей навигационных систем в режиме реального времени. Наиболее часто пробки встречаются в крупных городах. Иногда загруженность дорог приобретает масштаб чрезвычайной ситуации. В связи с этим особенно актуален вопрос визуализации текущего состояния загруженности дорог для конечных пользователей.

В навигационной программе существует внутренняя классификация пробок, параметры которой зависят от степени загруженности и отображаются цветом на карте. Чем больше красный цвет появляется на карте, тем более загруженной является дорога в реальности. При построении маршрута учитываются данные на текущий период времени, а при возникновении загруженности дорог алгоритм построения маршрута делает перерасчет и предлагает пользователю альтернативный путь. Построение маршрута по дороге становится многодетальным. Отображение соответствует загруженности по полосам движения (рис. 11).

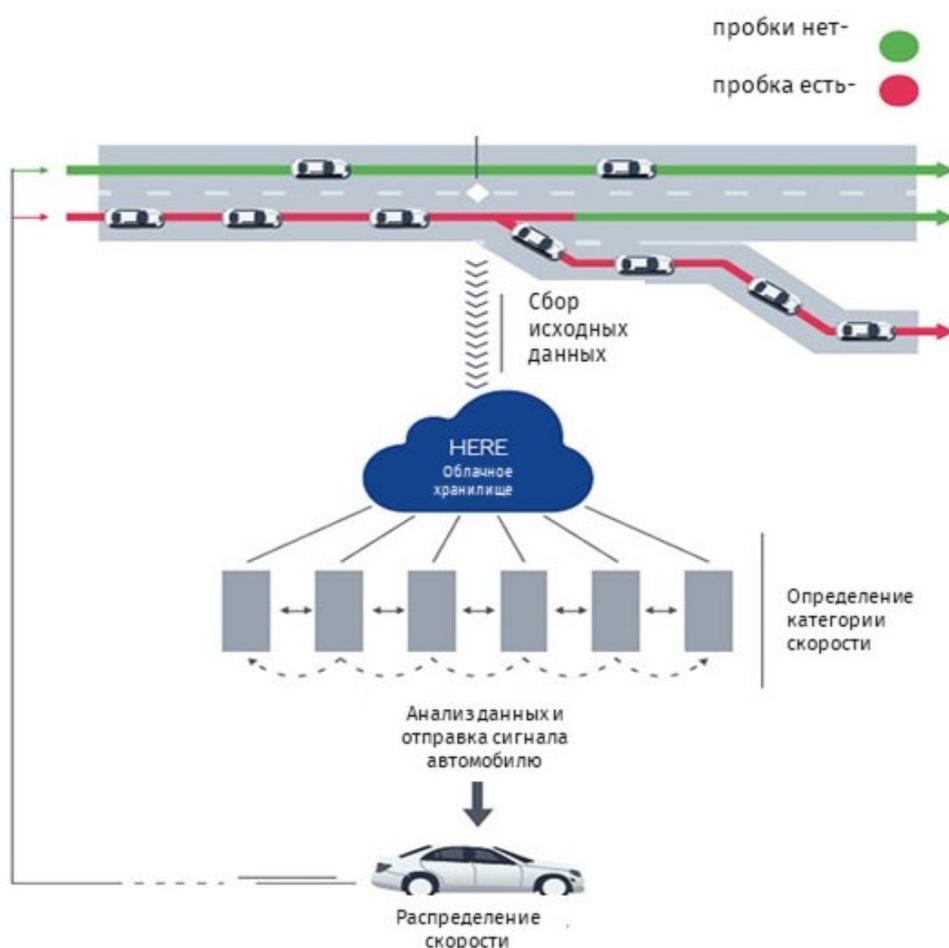


Рис. 11. Отображение системы оповещения автомобиля о загруженности дорожной сети

Заключение

Все рассмотренные выше динамические факторы влияют на построение и корректировку маршрута при использовании навигационной системы в режиме онлайн. Но это совсем не

означает, что в режиме офлайн эта информация не доступна. Она доступна в виде исторических данных от пользователей без идентификации личности, на основании которых в базу данных заносится информация о регулярно повторяющихся событиях в определённый отрезок вре-

мени. Созданная база данных позволяет делать прогноз реальной ситуации на местности.

В результате проведенного исследования авторами были проанализированы и сформулированы факторы, влияющие на построение маршрута, что очень важно для становления

основ научно-теоретической базы по созданию, обновлению и использованию современных навигационных карт и приложений [7, 10–13], а также формированию подходов к картографическому обеспечению наземных навигационных систем [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Akerman J. R. Cartographies of travel and navigation. – Chicago : University of Chicago Press, 2006. – 344 p.
2. Радченко Л. К. Навигационная картография : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 69 с.
3. Пошивайло Я. Г., Андрухина Ю. Н. Современные методы и технология создания навигационных карт // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 32–38.
4. Николаева О. М., Радченко Л. К. Использование дорожного графа в навигационных приложениях на примере компании Here Technologies // Интерэкспо Гео-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. Т. 1. № 2. – С. 197–204.
5. Here Map Creator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mapcreator.here.com> (дата обращения: 20.11.2021).
6. Блог 360 HERE.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://360.here.com> (дата обращения: 22.11.2021).
7. Об утверждении порядка создания, обновления, использования, хранения и распространения цифровых навигационных карт [Электронный ресурс] : приказ Минэкономразвития от 01.09.2010 № 464. – Режим доступа: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/702486> (дата обращения 20.11.2021).
8. Радченко Л. К. К вопросу теоретического обоснования навигационной картографии // Междунар. конф. «ИнтерКарто/ИнтерГИС» : сб. материалов – М., 2016. – С. 249–252.
9. Национальный стандарт Российской Федерации. Классификация автомобильных дорог. ГОСТ Р 52398-2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200042582> (дата обращения 20.11.2021).
10. Татаренко В. И., Радченко Л. К. Перспективы развития навигационной картографии // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5. – С. 227–229.
11. Vereshchaka T. V., Larichkina N. A. The scientific fundamentals of creation the road maps for tourists appointment // Abstract of Papers XXII ICA International Cartographic Conference, La Coruna. – 2005. – P. 98.
12. Дубровина С. В. Совершенствование технологии создания электронных карт на примере карт для автонавигации // Геодезія, картографія і аерофотозшмання: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2013. – Вип. 78. – С. 77–81.
13. Лисицкий Д. В., Радченко Л. К. Навигационная картография – проблемы и задачи // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 91–93.
14. Флегонтов А. В., Воронов Г. Б., Смирнов В. Н., Задубина Г. А. Картографическое обеспечение наземных навигационных систем // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 106–118.

Получено 03.12.2021

© О. М. Николаева, Л. К. Радченко, 2022

THE MAIN ASPECTS OF ROUTE PLANNING IN NAVIGATION SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE COMPANY «HERE TECHNOLOGIES»

Olesya M. Nikolaeva

HERE Technologies, 24, Smolnaya St., Moscow, 124445, Russia, Chief Specialist for Interaction with Communities, phone: (989)533-74-15, e-mail: olesia.nikolaeva@here.com

Lyudmila K. Radchenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

This study is aimed at establishing the foundations of the scientific and theoretical base of navigation mapping. Navigation mapping is one of the leading areas in cartography, which has been rapidly developing thanks to satellite and digital technologies. Navigation mapping activities resulted in navigation applications for motorists, for a wide range of consumers, various emergency services, fire departments, ambulance services. This wide range of navigation applications is used via smart phones, personal computers, walking and hand-held navigators. In addition to orientation on the terrain, the navigation system allows routing: to calculate the shortest or most profitable route, to guide you along the route. Road routing works in accordance with the algorithm based on previously created road graph. The route is built according to certain rules, taking into account the static attributes of the road network and dynamic geospatial factors. These aspects of routing are covered by the example of HERE Technologies. HERE Technologies is a large international navigation company for the creation, updating and use of navigation charts. The article also discusses the main static attributes of the navigation system, which are involved in building a route both online and offline; analyzed the main dynamic factors of geospace, influencing the construction and adjustment of the route. The research uses the cartographic research method, the routing method and the basic concepts of graph theory.

Keywords: navigation cartography, navigation map, navigation system, road graph, routing, attributes of the road network, shortest path, dynamic factors of geospace, algorithm, calculating the route

REFERENCES

1. Akerman, J. R. (2006). *Cartographies of travel and navigation*. Chicago: University of Chicago Press, 344 p.
2. Radchenko, L. K. (2017). *Navigacionnaja kartografija [Navigational cartography]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 69 p. [in Russian].
3. Sewing, Ya. G., & Andryukhina, Yu. N. (2016). Modern methods and technology for creating navigation maps. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Plenarnoe zasedanie [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: Plenary Session]* (pp. 32–38). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
4. Nikolaeva, O. M., & Radchenko, L. K. (2019). Using the road graph in navigation applications by the example of Here Technologies. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, no. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 197–204). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Here Map Creator. (n. d.). Retrieved from <https://mapcreator.here.com> (accessed November 20, 2021).
6. Blog 360 HERE.com. (n. d.). Retrieved from <https://360.here.com> (accessed November 22, 2021).
7. The procedure for creating, updating, using, storing and distributing digital navigation charts. (n. d.). Retrieved from <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/702486> [in Russian] (accessed January 22, 2021).
8. Radchenko, L. K. (2016). On the issue of theoretical substantiation of navigation cartography. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii "InterKarto/InterGIS" [Proceedings of the International Conference "InterCarto / InterGIS"]* (pp. 249–252). Moscow [in Russian].
9. National Standard of the Russian Federation. Classification of highways. GOST R 52398-2005. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200042582> [in Russian] (accessed November 20, 2021).
10. Tatarenko, V. I., & Radchenko, L. K. (2015). Prospects for the development of navigation cartography. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5/S, 227–229 [in Russian].
11. Vereshchaka, T. V., & Larichkina, N. A. (2005). The scientific fundamentals of creation the road maps for tourists appointment. *Abstract of Papers XXII ICA International Cartographic Conference*. La Coruna (p. 98).
12. Dubrovina, S. V. (2013). Improving the technology of creating electronic maps on the example of maps for auto-navigation. *Interdepartmental Scientific and Technical Collection "Geodesy, Cartography and Aerial Photography"*, 78, 77–81 [in Ukrainian].

13. Lisitsky, D. V., & Radchenko, L. K. (2016). Navigational cartography – problems and tasks. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodezija, geoinformatika, kartografija, markshejderija [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 91–93). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

14. Flegontov, A. V., Voronov, G. B., Smirnov, V. N., & Zadubina, G. A. (2019). Cartographic support of ground navigation systems. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 106–118.

Received 03.12.2021

© O. M. Nikolaeva, L. K. Radchenko, 2022