УДК 910.3

DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-155-171

ОПЫТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ВЕЛОМАРШРУТОВ В ГОРОДАХ-МИЛЛИОННИКАХ (НА ПРИМЕРЕ г. НУР-СУЛТАН)

Дехнич В. С.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Казахстанский филиал

010000, г. Нур-Султан, ул. Кажымукана, д. 11, Республика Казахстан

Аннотация. В статье анализируются проблемы автоматизации проектирования сетей веломаршрутов рекреационного назначения в крупных городах на примере города Нур-Султан, который является активно развивающимся центром притяжения туристов в Республике Казахстан. Приведенный в статье алгоритм автоматизированного многокритериального анализа улично-дорожной сети, направленный на выработку рекомендаций по планированию рекреационных маршрутов, учитывает такие факторы, как пригодность улиц для организации велосипедного движения, близость маршрутов к местам размещения туристов, автоматическим станциям проката велосипедов, достопримечательностям, элементам зеленой инфраструктуры. Разработанный алгоритм реализован с использованием программного комплекса «ArcGIS» и его дополнительного модуля «ModelBuilder» и представляет из себя модель автоматического построения сети рекреационных веломаршрутов согласно перечисленным выше критериям. Апробация алгоритма произведена на примере города Нур-Султан. Предложенная сеть рекреационных маршрутов согласуется и дополняет уже существующие и планируемые к организации маршруты.

Ключевые слова: Нур-Султан (город), велосипедный маршрут, велопрокат (велошеринг), геоинформационная система, автоматизация градостроительного проектирования.

EXPERIENCE OF AUTOMATED CONSTRUCTION OF RECREATIONAL CYCLE ROUTES IN MILLION-CITIES (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF NUR-SULTAN)

V. Dekhnich

Kazakhstan Branch, Lomonosov Moscow State University

ul. Kazhymukana 11, 010000 Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Abstract. The paper analyzes typical problems of automating the design of recreational cycle route in large cities using the example of Nur-Sultan city, which is a rapidly developing center of tourism in the Republic of Kazakhstan. The employed automated multi-criteria analysis takes into account the suitability of the road network for organizing cycle routes, the distance to the main tourist's attraction sites, accommodations and bike rental stations, city sites and parks. These factors can be used to make recommendations for planning recreationa; routes. The

analysis was performed automatically using the ArcGIS software package and its ModelBuilder add-on module and as a result the model for automatically spatial planning of recreational cycle route networks was developed. The algorithm was tested using the example of the city of Nur-Sultan. The proposed cycle route network for Nur-Sultan complements the existing cycling infrastructure.

Keywords: Nur-Sultan, cycling route, bike rental (bicycle sharing), geographic information system, automation of urban planning.

Введение

В современных условиях велосипед все чаще используется в качестве средства передвижения в крупных городах. Одной из причин такой ситуации является политика стимулирования использования населением общественного транспорта и снижения роли личного автотранспорта с целью уменьшения нагрузки на окружающую среду. (например, за счет сокращения выбросов парниковых газов)¹. Так, в градостроительных документах многих городов ЕС и США закреплены планы по развитию инфраструктуры, обслуживающей велосипедное движение². Не менее важными факторами, определяющими выбор жителей городов в пользу данного вида транспорта, является его относительно низкая стоимость, независимость скорости перемещения от интенсивности дорожного движения, возможность передвиже-

ния в пределах территорий, недоступных для личного автотранспорта. С развитием систем автоматизированного велопроката (велошеринга) особенно актуально становится использование велосипеда в рекреационных целях, в качестве средства передвижения между объектами туристской инфраструктуры в крупных городах.

Исторически развитие систем совместного использования велосипедов происходило в три этапа³. В ходе первого этапа управление системой отсутствовало: определенное количество велосипедов распределялось в пределах территории (например, программа *White Bikes* в Амстердаме, 1965 г.), где любой желающий мог использовать велосипед неограниченное количество времени и оставить его в удобном месте. Такие системы не были успешными – велосипеды были украдены, сломаны или потеряны. В рамках второго этапа (например, *Fonden i buseksten i København*, 1995 г.) велосипеды были распределены по автоматическим парковочным станциям, однако тарифы были низки, и пользователи не возвращали велосипеды в течение

¹ Подробнее о проблеме см. публикации автора: Дехнич В. С. Расчет выбросов парниковых газов от использования автомобильного транспорта города Астаны // Аспирант: научно-практический журнал. 2015. № 10. С. 68–74; Дехнич В. С., Дронин Н. М. Оценка перспектив сокращения выбросов парниковых газов на урбанизированных территориях Республики Казахстан (на примере города Астаны) // Мир геоэкологии. Геоэкологические проблемы и пути их решения. М.: Варсон, 2017. С. 95–103.

² См., например, об актуальном городском планировании в Лондоне (<https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/london-plan>) и Чикаго (<http://www.chicagoclimataction.org>).

³ См.: Beroud B., Clavel R., Le Vine S. Perspectives on the growing market for public bicycles: Focus on France and the UK (presentation at the 38th Annual European Transport Conference, Glasgow, Scotland, 11–13 October, 2010). – URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/31428554/perspectives-on-the-growing-market-clean-air-institute>.

очень долгого времени, в связи с чем наблюдалась нехватка свободных велосипедов. Третий этап также предполагает распределение велосипедов по автоматическим парковочным станциям, однако используется динамическая система тарифообразования. С увеличением времени поездки, каждая последующая минута стоит дороже, в связи с чем пользователям невыгодно использовать велосипед в течение длительного срока времени. Именно такие системы распространены в большинстве городов мира. Проблемами таких систем являются переполненные или пустые станции в часы пик (проблема может быть решена путем транспортировки велосипедов обслуживающим персоналом для их равномерного распределения по станциям).

Первые системы совместного использования велосипедов являлись негосударственными некоммерческими предприятиями, однако уже с 1974 г., многие городские администрации и общественные организации озаботились созданием систем совместного использования велосипедов и стали рассматривать его как часть системы общественного транспорта. В настоящее время подобные программы успешно существуют во многих европейских и североамериканских городах. Темпы роста количества городов, использующих системы велошеринга, увеличиваются. В городе Нур-Султан реализована система совместного использования велосипедов, предполагающая их аренду на специально оборудованных станциях велопроката.

Однако для полноценного использования велосипедного транспорта необходимо наличие развитой инфраструктуры, обслуживающей его, наиболее

важным элементом которой являются велодорожки. В мировой практике имеются примеры реализации велодорожек трех основных типов.

1-й тип – создание полосы велосипедного движения в пределах проезжей части улиц. Велосипедисту требуется полоса шириной, по крайней мере, 1 м для движения и 0,3–0,5 м буферной зоны для обеспечения безопасности движения [2]. Таким образом, для создания полосы велосипедного движения требуется только обозначение полосы данной ширины путём знаков, дорожной разметки или выделения цветом дорожного покрытия в пределах полосы, а также введение запрета на парковку автомобилей в пределах полосы велосипедного движения.

2-й тип – создание полосы велосипедного движения в пределах пешеходного тротуара. В таком случае необходимо отделение полос движения и буферных зон, описанных выше, не просто разметкой, а бордюрным камнем, возможно, с заменой и выравниванием покрытия в пределах полосы. Первое необходимо для более надёжного разделения зон движения пешеходов и велосипедистов, а второе – для повышения комфорта велосипедного движения. Данный способ возможно применять при условии ширины тротуара (в совокупности с прилегающим свободным участком) более 4 м.

3-й тип – создание выделенной полосы велосипедного движения. Данный способ предполагает создание велодорожек как самостоятельного объекта инфраструктуры. Возможно организовать дорожки такого типа как между проезжей частью и тротуаром (вдоль улиц), так и в пределах парковых зон. Данный способ обеспечивает

полную изоляцию велосипедистов от других участников движения, а значит, и максимальную безопасность. Кроме того, в качестве разделительной полосы возможно использование зелёных насаждений, что повысит рекреационные характеристики такого типа велодорожек.

Нами рекомендуется разработка сети велодорожек 2-го и 3-го типов. Методики планирования сети велодорожек, обслуживающих использование велосипеда в качестве средства повседневного передвижения, существенно отличаются от методик, нацеленных на создание рекреационных веломаршрутов [2–5]. Различия обусловлены спецификой целей использования, пространственным распределением потенциальных пользователей и популярных пунктов назначения, моделью использования велосипеда (собственный либо арендованный).

Отказ от учета перечисленных факторов при планировании сети веломаршрутов может привести к их низкой эффективности и, как следствие, нерациональному использованию территории, а также средств, вложенных в строительство инфраструктуры. В этой связи актуальным становится разработка инструмента поддержки принятия решения, который может быть реализован средствами современных геоинформационных систем. Особенно перспективно использование подобных инструментов в молодых интенсивно развивающихся городах на стадии формирования или внесения корректировок в генеральный план.

В данной работе произведен анализ специфики автоматизации планирования сети рекреационных велодоро-

жек в городе Нур-Султан. Учитывая его климатические особенности, сеть рекреационных велодорожек возможно эксплуатировать с максимальным комфортом в период с апреля по октябрь. Именно в данный период года наблюдается значительный приток туристов в город. По данным Комитета по статистике Республики Казахстан, в пригодные для велосипедных прогулок месяцы 2017 г. в Нур-Султан количество обслуженных посетителей в местах размещения составило 51% от годового количества, что говорит о потенциально высокой востребованности сети рекреационных веломаршрутов [1].

В будущем ожидается рост количества туристических посещений Нур-Султана. Так, согласно Программе по развитию туризма в Астане до 2020 г., прогнозировалось увеличение количества туристов, посетивших город, до 2 млн., главным образом, за счет увеличения поездок событийно-делового, рекреационно-городского и медицинского туризма. В зимний период эксплуатация веломаршрутов крайне затруднена из-за низких температур и обилия твердых осадков. В качестве альтернативных видов транспорта в зимний сезон следует рассматривать общественный транспорт (88 маршрутов), экскурсионные автобусы, а также такси.

Если рассматривать структуру посетителей въездного туризма за 2017 г., то основную долю рекреантов составляют жители близлежащих государств (Узбекистан – 43,4%, Российская Федерация – 22,2%, Кыргызстан – 16,5 % и Таджикистан – 5%). В крупных городах этих стран также развивается использование велосипедного транспорта. Из

стран Европы, где передвижение на велосипеде уже популяризировано и инфраструктура налажена, преобладают туристы из Германии (1,3% от общего количества рекреантов) [1].

Основным документом, утверждающим пространственное развитие города, включая трансформацию улично-дорожной сети, является Генеральный план города. Данный документ содержит ряд схем, отображающих планируемую к 2030 г. конфигурацию сети веломаршрутов (без разделения на утилитарные и рекреационные)¹. Наряду с Генеральным планом существует ряд стратегических документов, утверждающих основные положения развития транспортных систем городов Республики Казахстан и описывающих связь транспортной инфраструктуры с развитием туризма. Так, согласно Государственной программе развития и интеграции инфраструктуры транспортной системы Республики Казахстан до 2020 г.², дорожная инфраструктура нового поколения должна создавать стимулы и условия для активного использования общественного транспорта, электромобилей, езды на велосипеде и пеших прогулок.

Проекты по развитию инфраструктуры, обслуживающей велосипедное движение, реализуются во многих крупных городах, расположенных как в пределах ЕС, так и в странах СНГ. Среди таких городов наиболее схожим по физико-географическим условиям и численности населения с Нур-Султаном можно считать Казань. В

этом городе реализуется проект, нацеленный на соединение велодорожками центра и периферии города так, чтобы захватить максимальное количество достопримечательностей и парков города, а также сделать перемещение по маршруту максимально комфортным. В рамках проекта была произведена классификация улиц города, задачей которой был выбор наиболее тихих изолированных улиц, желательных с уже имеющимися велодорожками. Сейчас проект находится на стадии доработки. В нашей работе сеть веломаршрутов спланирована с использованием похожих критериев, однако спецификой является автоматизация данной процедуры.

Полученные нами результаты актуальны как с практической (разработка инструмента поддержки принятия планировочного решения), так и с научной точки зрения. Научная значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут существенно увеличить точность оценки потенциальной экологической эффективности мер по модификации транспортной инфраструктуры. Результаты подобных исследований опубликованы нами ранее, в том числе для города Нур-Султан³, и показали, что создание инфраструктуры, обслуживающей велосипедное движение, способно сократить выбросы парниковых газов транспортной системы города до 4,1% по сравнению с вариантом отказа от реализации каких-либо мер к 2030 г. Применение в аналогичных исследованиях такой модели позволит существенно повысить точность результатов и в сжатые сроки проводить сложные сравнительные расчеты, на-

¹ Сравнение разработанной авторами сети веломаршрутов с положениями Генерального плана отображено на рис. 4.

² Утверждена Указом Президента Республики Казахстан от 13 января 2014 года № 725.

³ См. сноску выше на статьи автора.

пример, для сценарного прогнозирования.

Методы и материалы

Основными требованиями, предъявляемыми к инструментам автоматического построения сети веломаршрутов, является учет всех факторов, влияющих на эффективность маршрута; возможность работы с интегральными характеристиками, учитывающими показатели различной природы; возможность адаптации под специфику территории исследования; использование доступных, по возможности, – находящихся в открытом доступе, данных; оперативность выполнения.

Учитываемые факторы размещения веломаршрутов. Применяемый в данной работе метод учитывает нижеперечисленные факторы, влияющие на популярность рекреационного веломаршрута:

- близость маршрута к достопримечательностям города, которые являются местами назначения поездок потенциальных пользователей маршрутов;
- близость к местам размещения туристов, которые являются потенциальными пользователями маршрутов;
- близость к станциям автоматического проката велосипедов (для существенной части туристов путешествие с собственным велосипедом может быть затруднительно, и в условиях развития различных моделей автоматического велопроката, наблюдаемого в последние два десятилетия, важно минимизировать перемещение от станций проката до места назначения вне специально организованного маршрута);
- наличие технической возможности организовать веломаршрут вдоль определенных улиц;

– комфорт и безопасность потенциальных пользователей при движении по маршруту.

Следует отметить, что не учитывался достаточно важный для большинства территорий фактор расчлененности рельефа и среднего уклона местности. Это объясняется выположенностью и крайне слабой расчлененностью рельефа изучаемой городской территории Нур-Султана.

Источники данных для планирования сети веломаршрутов. Главными требованиями к источникам исходных данных является их высокая детальность и точность, а также оперативность получения. В данной работе использовались данные двух основных источников.

Первый – открытый краудсорсинговый геопортал *OpenStreetMaps* (OSM), вклад в пополнение которого вносят пользователи по всему миру. Преимуществом данных OSM является их высокая детальность, а недостатком – необходимость предварительной проверки, обусловленная потенциально возможным различием в точности предоставляемой информации по отдельным районам. Данные OSM содержат информацию о расположении достопримечательностей, мест размещения туристов, станций автоматического проката велосипедов, границах элементов зеленой инфраструктуры, а также положении центральных линий автомобильных и пешеходных дорог с разделением на классы.

Второй – сервис «Яндекс-панорама», позволяющий визуально оценить пригодность отдельных улиц для строительства велодорожек.

Способ интеграции факторов, имеющих различную природу и размер-

ность. Планирование сети веломаршрутов сопряжено с необходимостью учета факторов различной размерности. Интеграция таких данных производилась нами путем балльной оценки. При интеграции факторов использовалась 20-балльная шкала. Также были учтены различия в значимости факторов посредством введения весовых коэффициентов.

Программные продукты и алгоритмы, использованные при автоматизации планирования сети веломаршрутов. Автоматизация построения сети веломаршрутов производилась нами с использованием программного комплекса ArcGIS и его дополнительного модуля ModelBuilder (MB), который позволяет создавать последовательности выполнения инструментов, тем самым документируя алгоритм и предоставляя возможность многократного выполнения операций с возможностью быстро изменить исходные данные, весовые коэффициенты или повторить исследования для аналогичных территорий. На рисунке 1 приведена принципиальная схема работы алгоритма.

Основные этапы автоматизированного построения сети веломаршрутов, обслуживающих цели туризма в городах:

- расчет удаленности от мест размещения туристов, станций автоматического велопроката и главных достопримечательностей города (производится с шагом в 30 м) и ее балльная оценка (производится методом разбиения полученного диапазона значений на 20 классов методом равного интервала;

- проведение балльной оценки улиц города по степени комфорта и безопасности перемещения вдоль пла-

нируемого веломаршрута (проводится для каждого сегмента улиц города);

- вычисление интегрального показателя пригодности для строительства велодорожек для каждого сегмента улицы города с учетом весовых коэффициентов;

- конвертация показателя пригодности для строительства в обратный ему показатель «стоимости перемещения», который может быть определен как разность между максимально возможным баллом стоимости перемещения, принятом в используемой шкале (в данном исследовании – 20 баллов) и определенном на предыдущем этапе баллом пригодности);

- выбор узловых точек сети веломаршрутов, под которыми понимаются наиболее значимые достопримечательности города, относительно равномерно распределенные по его территории, для которых обязательно положение на рекреационном веломаршруте;

- построение «стоимостного пути» между узловыми точками – операция, позволяющая выделить наиболее оптимальный путь между каждой парой узловых точек таким образом, чтобы он удовлетворял всем критериям подбора.

Результаты и их обсуждение

Фактор близости к значимым объектам туристско-рекреационной инфраструктуры. На рисунке 2 отображены результаты расчета близости к объектам, важным для организации сети рекреационных веломаршрутов. В расчетах учитывались 144 станции автоматического велопроката сети AstanaBike (информация получена по данным OSM и актуализирована по

Рис. 1. Принципиальная схема алгоритма автоматизированного планирования сети рекреационных маршрутов в городах

Удаленность от объектов, значимых для создания велосипедной инфраструктуры

Рис. 2. Близость к значимым элементам туристско-рекреационной инфраструктуры

данным официального сайта сети), 97 объектов размещения туристов, 94 достопримечательности, включая музеи, театры, концертные залы, монументы и скульптурные композиции, 132 элемента зеленой инфраструктуры. Все

рассмотренные объекты расположены к югу от железной дороги, которая пересекает город Нур-Султан в субширотном направлении, и является границей функциональных зон города. К югу от железной дороги расположены

жилая и административная зоны, а к северу – промышленная зона. В данном исследовании рассматриваются только территории южнее железной дороги ввиду невозможности организации безопасного велосипедного движения в пределах промышленной зоны.

Исследование показало, что порядка 80% застроенной территории города находится в пределах зоны 15-минутной доступности велостанций, принимая среднюю скорость движения за 15 км/ч. Это является благоприятным фактором для развития инфраструктуры, связанной с использованием арендных велосипедов, учитывая, что максимальная продолжительность аренды без необходимости внесения дополнительной платы составляет 30 мин.

Станции велопроката распределены по территории города относительно равномерно. Недостаток станций наблюдается лишь в западной части города, существенную долю которой занимает усадебная застройка. Достопримечательности города, главным образом, сконцентрированы в пределах административных кварталов в северной части Есильского района, а также в южной части Алматинского района города. Большая часть достопримечательностей расположены компактно, в непосредственно у реки Ишим. Изолированной зоной концентрации достопримечательностей является территория Ботанического сада и площадка, отведенная под проведение выставки ЭКСПО–2017.

Пространственное распределение мест размещения туристов имеет сходство с распределением достопримечательностей. Значительная их часть

сконцентрирована в центральных районах города, и имеется изолированный кластер мест размещения в районе площадки ЭКСПО–2017. Элементы зеленой инфраструктуры приурочены к реке Ишим, протекающей через город Нур-Султан в субмеридиональном направлении. Наиболее крупные из них: Центральный парк, парк Жетысу, Президентский парк, Ботанический сад. Значительная доля в озелененной площади приходится на искусственные лесопарковые зоны, расположенные на периферии города, однако они не учитываются в данном исследовании ввиду того, что расположены за пределами зоны 15-минутной доступности от станций автоматического велопроката.

Фактор комфорта и безопасности передвижения по планируемым веломаршрутам. Очевидно, что веломаршрут, обслуживающий цели познавательного туризма, может считаться эффективным лишь при условии обеспечения высокого уровня комфорта и безопасности передвижения его потенциальных пользователей. Эти характеристики находятся в зависимости от функциональной зоны города и характера застройки, а также от класса улицы, вдоль которой планируется организовать веломаршрут. В данной работе была проведена балльная оценка комфорта и безопасности велосипедного движения вдоль каждой улицы города по указанным выше критериям (табл. 1).

Лимитирующим фактором развития сети веломаршрутов в пределах улицы можно считать промышленные зоны, которые препятствуют организации безопасного движения, а также использование улицы в качестве сер-

Таблица 1

**Принцип балльной оценки уровня комфорта и безопасности
велосипедного движения вдоль улиц города**

Тип застройки	Балл	Класс улицы	Балл	Принцип интеграции баллов
Промышленные зоны, незастроенные территории	0	Служебные и внутридворовые проезды	0	Интегральный балл определяется как сумма баллов по типу застройки и классу улицы. В случае, если один из критериев является лимитирующим фактором для улицы (нулевой балл), она исключается из рассмотрения. Также из рассмотрения исключаются улицы, в пределах которых технически невозможно строительство велодорожек.
Усадебная застройка	2	Главные магистрали города (обеспечивают транзитный проезд через город)	2	
Многоэтажная жилая застройка и административные кварталы	4	Улицы межрайонного значения (соединяют различные административные районы города)	3	
Парки, скверы, площади и др. озелененные территории	5	Улицы внутрирайонного значения	4	
–		Уже существующие велодорожки	5	

висного подъезда отдельными предприятиями или социально значимыми объектами. Ввиду небольшой ширины и изолированности таких улиц – это снижает уровень комфорта передвижения на велосипеде. Максимальные баллы по критерию типа застройки соответствуют улицам, расположенным в пределах многоэтажной застройки и элементов зеленой инфраструктуры.

Максимальные баллы комфорта и безопасности для велосипедного движения по критерию класса улицы соответствуют уже существующим велодорожкам, а также улицам внутрирайонного значения, которые характеризуются относительно низкой интенсивностью автомобильного движения, а следовательно, и более низким уровнем шума, концентрацией загрязняющих веществ и вероятностью аварийной ситуации. Средние баллы комфорта и безопасности соответству-

ют улицам межрайонного значения, в пределах которых интенсивность автомобильного движения достаточно высока, и в ряде случаев пересечение проезжей части осложняется наличием сооружений, обслуживающих автомобильное движение (развязки, эстакады и др.). Низкие баллы комфорта и безопасности соответствуют главным магистралям города, которые характеризуются чрезвычайно интенсивным автомобильным движением и, как следствие, интенсивным шумовым и химическим воздействием.

Результаты оценки пригодности улиц для организации велосипедного движения отображены на рисунке 3. Переход от использованной в оценке пригодности десятибалльной шкалы к двадцатибалльной шкале интегрального показателя эффективности веломаршрута осуществлен методом линейного масштабирования.

Пригодность улиц для строительства велодорожек

Рис. 3. Пригодность улиц для строительства велодорожек

Интегральная оценка эффективности организации рекреационного веломаршрута. На основании описанных выше факторов была произведена интегральная оценка эффективности организации рекреационного вело-

маршрута на каждой из улиц города Нур-Султан. Разная значимость факторов определила необходимость внедрения весовых коэффициентов при подсчете интегрального показателя (табл. 2).

Таблица 2

Весовые коэффициенты, использованные в интегральной оценке пригодности улиц города для организации сети рекреационных веломаршрутов

Фактор	Весовой коэффициент (% влияния)
Близость к станциям автоматического велопроката	5
Близость к местам размещения туристов	5
Близость к достопримечательностям	20
Близость к элементам зеленой инфраструктуры	20
Пригодность улиц для организации веломаршрутов	50

Узловые точки сети веломаршрутов. В нашем исследовании в качестве узловых точек для планирования сети веломаршрутов, обслуживающих цели познавательного туризма, были выбраны 1) монумент Астана-Байтерек; 2) территория выставки ЭКСПО-2017; 3) площадь Казак Ели, к которой приурочен целый ряд музейных комплексов; 4) сад Жеруык; 5) Центральный парк; 6) музей Первого президента Республики Казахстан; 7) торгово-развлекательный центр «Хан-Шатыр».

Построение оптимальной сети рекреационных веломаршрутов. С учетом описанных выше критериев с применением разработанного в модуле МВ алгоритма автоматически была построена сеть веломаршрутов, состоящая из 11-ти сегментов (рис. 4). Суммарная протяженность сети составляет 54 км. В радиусе 500 м от маршрута находится 70 достопримечательностей (75% от общего количества), 80 станций автоматического велопроката (более 55% от общего количества), 50 мест размещения туристов (более 50% от общего количества).

Предложенные маршруты тяготеют к озелененным территориям, улицам с низкой интенсивностью дорожного движения, а также участкам, полно-

стью изолированным от автомобильного движения (например, набережная реки Ишим). Следует отметить, что в некоторых ситуациях (как например, в случае прохождения через Президентский парк) алгоритм несколько увеличивает протяженность маршрута в пользу прохождения вблизи большего количества потенциальных мест назначения пользователей маршрута. В отсутствие вдоль следования маршрута достопримечательностей, велостанций и мест размещения туристов главным критерием построения маршрута остается обеспечение минимальной суммарной протяженности маршрута при максимальной доле следования вдоль улиц с высокой степенью комфорта и безопасности велосипедного движения.

В ряде современных исследований в качестве верификации оптимальности разработанной сети маршрутов рекреационного назначения использует информацию онлайн-сервисов, фиксирующих физическую активность (*Strava*, *Runtastic*)¹. С использованием таких

¹ См., например, доклад коллектива исследователей, представленный на последней конференции Научно-исследовательского совета по транспорту Национальной академии наук США (The Transportation Research Board 98th

Оптимальная конфигурация сети велодорожек для целей познавательного туризма

Рис. 4. Оптимальная конфигурация сети рекреационных веломаршрутов

сервисов возможно получить информацию о доле рекреационных поездок, соответствующей каждой улице города. Однако в данной работе этот метод не был применен ввиду двух причин:

Annual Meeting, January 13–17, 2019, in Washington, D.C.) на тему оценки велосипедной коммутирующей деятельности с использованием Стравы и ее последствий для развития инфраструктуры.
– URL: https://www.academia.edu/38437353/An_Assessment_of_Bicycle_Commuting_Activity_Using_Strava_and_Implications_for_Developing_Infrastructure.

– низкой популярности подобных сервисов среди туристов, посещающих Нур-Султан;

– возможных изменений конфигурации наиболее популярных рекреационных веломаршрутов после создания сети велодорожек, что не может быть учтено сервисами данного рода.

Выводы и заключение

Предложенный метод автоматизированной разработки рекомендаций по организации сети рекреационных веломаршрутов учитывает основные факторы, обуславливающие эффективность такой сети, включая предпочтения потенциальных пользователей и специфику улично-дорожной сети города. Апробирование метода в условиях города Нур-Султан подтвердило практическую ценность рекомендаций. Разработанная автоматически сеть веломаршрутов согласуется с сетью маршрутов, разработанных НИПИ «Астанагенплан» и дополняет ее¹, позволяет сравнить полученную автоматически сеть с сетью, предложенной в генеральном плане города Нур-Султан. Сравнение разработанной авторами сети веломаршрутов с сетью, утвержденной в Генеральном плане города, показывает, что частично маршруты, разработанные автоматически, совпадают с маршрутами генерального плана. Такая ситуация характерна для всех охваченных ве-

ломаршрутами элементов зеленой инфраструктуры города, набережной реки Ишим, улиц Туран, Мангилик Ел, Б. Момышулы, Улы Дала.

Другая часть разработанных веломаршрутов не совпадает с генеральным планом, однако дополняет его положения с точки зрения эффективности обслуживания целей рекреации. Так, в правобережной части города (улицы Б. Майлина, Кажымукана, Куйши-Дина) разработанные автоматически веломаршруты проходят вблизи участков с высокой плотностью станций автоматического велопроката и мест размещения туристов. Следует отметить также, что суммарная протяженность сети веломаршрутов, разработанных авторами существенно ниже (на 100 км или на 64%), чем протяженность всех маршрутов, строительство которых предполагается Генеральным планом. Такое различие в протяженности обусловлено разницей в целях и, как следствие, в критериях разработки маршрутов. Таким образом, предложенная конфигурация маршрутов при минимальной протяженности покрывает большую часть объектов, значимых для туристических велопоездок.

Разработанный алгоритм может применяться в городах, аналогичных Нур-Султану по физико-географическим условиям и специфике улично-дорожной сети, без изменений, а для городов с отличающимися условиями изменения могут быть внесены за счет введения дополнительных факторов (например, учета уклона в городах с расчлененным рельефом) и изменения весовых коэффициентов. Следует отметить, что использованная методика разработки сети рекреационных веломаршрутов не может быть использована для планирова-

¹ См.: Общая пояснительная записка к внесению изменений и дополнений в Генеральный план развития города Астаны до 2030 года, утвержденных Постановлением Правительства Республики Казахстан от 23 декабря 2016 года № 848 «О внесении изменений и дополнений в Постановление Правительства Республики Казахстан от 15 августа 2001 года № 1064 “О генеральном плане города Астаны”».

ния утилитарных веломаршрутов (для использования велосипеда в качестве средства повседневного передвижения жителями города) ввиду различия в требованиях потенциальных пользователей таких сетей.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019

ЛИТЕРАТУРА

1. Туризм Казахстана, 2013–2017: статистический сборник. Астана: Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан, 2018. 62 с.
2. Guide for the development of bicycle facilities. Pittsburgh: AASHTO executive committee, 1999. 78 p.
3. Midgley P. Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. New York: Commission on Sustainable Development, Nineteenth Session, 2011. P. 2–13.
4. Zhao J., Fang Zh. Research on Campus Path Planning Scheme Evaluation Based on TOPSIS Method: Weishui Campus Bike Path Planning as an example // Procedia Engineering. 2016. Vol. 137. P. 858–866.
5. Zhou Y. J. Urban bicycle sharing system planning // Urban Transport of China. 2012. Vol. 10 (5). P. 50–54.

REFERENCES

1. *Turizm Kazakhstana, 2013–2017: statisticheskiy sbornik* [Tourism of Kazakhstan, 2013–2017: Statistical compilation]. Astana: Komitet po statistike Ministerstva natsional'noy ekonomiki Respubliki Kazakhstan Publ., 2018. 62 p.
2. Guide for the development of bicycle facilities. Pittsburgh: AASHTO executive committee, 1999. 78 p.
3. Midgley P. Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. New York: Commission on Sustainable Development, Nineteenth Session, 2011. P. 2–13.
4. Zhao J., Fang Zh. Research on campus path planning scheme evaluation based on TOPSIS method: Weishui campus bike path planning as an example // Procedia Engineering. 2016. Vol. 137. P. 858–866.
5. Zhou Y. J. Urban bicycle sharing system planning // Urban Transport of China. 2012. Vol. 10 (5). P. 50–54.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дехнич Владимир Сергеевич – соискатель степени кандидата географических наук кафедры физической географии мира и геоэкологии, преподаватель кафедры экологии и природопользования Казахстанского филиала МГУ имени М. В. Ломоносова;
e-mail: vodo.ast@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir S. Dekhnich – PhD applicant at the Department of Physical Geography and Geoecology, Kazakhstan Branch, Lomonosov Moscow State University;
e-mail: vodo.ast@gmail.com

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Дехнич В. С. Опыт автоматизированного построения рекреационных веломаршрутов в городах-миллионниках (на примере г. Нур-Султан) // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. № 2. С. 155–171. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-155-171

FOR CITATION

Dekhnich V. Experience of automated construction of recreational cycle routes in million-cities (on the example of the city of Nur-Sultan). In: *Bulletin of the Moscow Regional State University, Series: Natural Sciences*, 2019, no. 2, pp. 155–171. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-2-155-171