

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЗАПАДНОГО СКОРОСТНОГО ДИАМЕТРА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.С. Свистунова, Д.С. Хасанов, Д.М. Кравец (Санкт-Петербург)

В начале XXI века в дополнение к традиционным технологиям компьютерного моделирования стали развиваться подходы, позволяющие обеспечить получение новых знаний об исследуемых объектах и процессах. Одним из таких подходов является концепция создания цифрового двойника (Digital Twin), т.е. программного аналога физического объекта, моделирующего внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях воздействий помех и окружающей среды. Важной особенностью цифрового двойника является то, что для задания на него входных воздействий используется информация с датчиков реального объекта, работающего параллельно [1].

В настоящее время цифровые двойники не используются в транспортно-логистических процессах в полной мере, но их потенциал постоянно растет. Подтверждающим примером является программно-аппаратный комплекс «Автодискавери», разработанный в рамках проекта «Цифровые дороги» и представленный в апреле 2021 года компанией «Урбантех», предназначенный для создания цифровых двойников и контроля состояния объектов дорожно-транспортной инфраструктуры (ДТИ) [2]. По словам разработчиков, это решение помогает транспортным властям регионов иметь актуальные данные о состоянии объектов дорожно-транспортной инфраструктуры, принимать оперативные меры по восстановлению поврежденных объектов ДТИ, а также в автоматизированном режиме готовить необходимую документацию – проекты организации дорожного движения (ПОДД), комплексные схемы ОДД (КСОДД) и т.д. Очевидно, что в скором времени транспортно-логистической отрасли можно будет найти самые разнообразные применения концепции цифрового двойника.

В данной работе предлагается рассмотреть применение концепции цифрового двойника для анализа пропускной способности новой развязки крупнейшей платной магистрали Санкт-Петербурга – Западного скоростного диаметра (ЗСД). Новая развязка должна быть запущена в эксплуатацию не позднее 2024 года, поскольку существует острая необходимость снижения постоянно растущий транспортной нагрузки Васильевского острова Санкт-Петербурга и добавления альтернативной возможности заезда на ЗСД и выезда с него.

Для создания цифрового двойника необходимо проанализировать исходные данные, которые представлены на рис. 1 в виде схемы существующего планировочного решения развития территории [3].

В ходе анализа данной схемы были определены цель и задача, которую необходимо решить. Цель – гармонизированное развитие дорожной сети в Санкт-Петербурге. Задача – корректная реализация проекта и оценка его эффективности на этапе моделирования.

В качестве метода моделирования использован метод построения цифрового двойника, который позволяет провести большое количество разнообразных экспериментов, в том числе для выявления «узких мест» будущей транспортной системы [4].

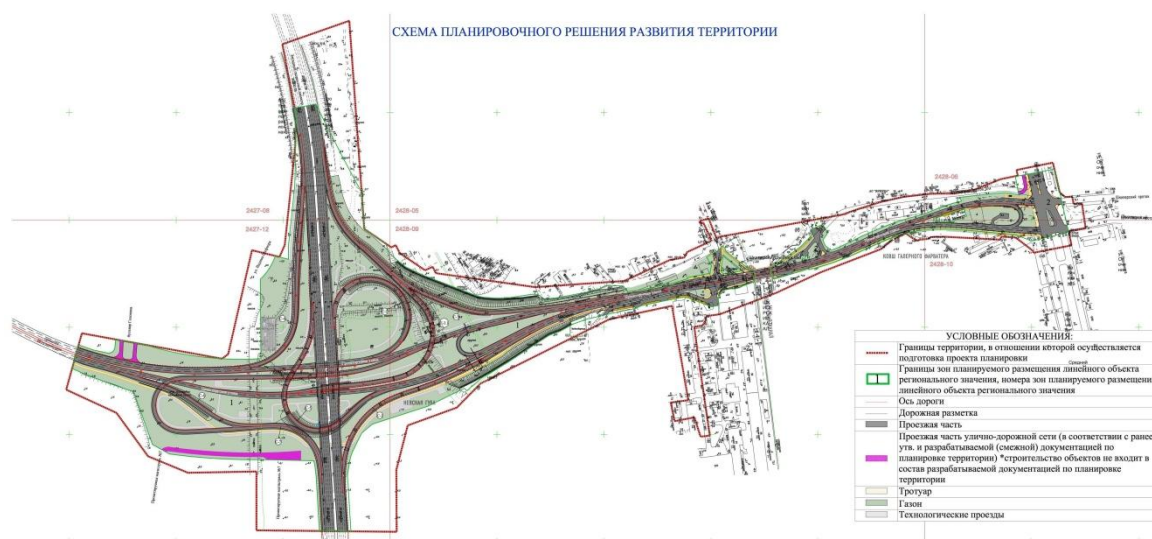


Рис. 1. Схема планировочного решения развития территории

Для реализации задачи было принято решение использовать программный продукт AnyLogic [5], имеющий большое количество функций и библиотек, в том числе дорожную библиотеку.

После анализа схемы планировочного решения, следующим этапом стал этап построения адекватной имитационной модели будущей дорожной сети, поскольку именно она и будет являться цифровым двойником разрабатываемого решения по развитию территории.

Для этого были использованы данные, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные по протяженности разрабатываемых участков

№ съезда	Протяженность, км.	Площадь, га	Направление	Кол-во полос, шт	Ширина проезжей части, м	Ширина полосы безопасности, м
1	0,38	0,30	Правоповоротный в направлении ЗСД юг – Проектируемая улица к Наличной ул.	1	8,0	1 и 2
2	0,29	0,24	Левоповоротный в направлении ЗСД юг – Проектируемая улица к пр. Крузенштерна	1	8,5	1 и 2
3	0,46	0,42	Правоповоротный в направлении ЗСД север – Проектируемая улица к Наличной ул.	1	8,0	1 и 2
3.1	0,36	0,30	Левоповоротный в направлении ЗСД север – Проектируемая улица к пр. Крузенштерна	1	8,5	1 и 2
4	0,36	0,28	Правоповоротный в направлении ЗСД север – Проектируемая улица к пр. Крузенштерна	1	8,0	1 и 2
5	0,36	0,31	Левоповоротный в направлении ЗСД север – Проектируемая улица к Наличной ул.	1	8,5	1 и 2
6	0,25	0,20	Правоповоротный в направлении: Проектируемая ул. От пр. Крузенштера до съезда 7	1	8,0	1 и 2
7	0,72	0,71	Левоповоротный в направлении Проектируемая ул. – ЗСД юг	1	8,5	1 и 2
			Правоповоротный в направлении Проектируемая ул. – ЗСД юг	2	10,5	1 и 2

Рассмотрим процесс построения модели [6].

Построение собственно модели начинается с разметки пространства. Для этого необходимо выбрать соответствующий масштаб. В данном случае использован масштаб: 1 метр равен 0,5 пикселей. Затем в моделируемом пространстве прокладывается дорожная сеть в соответствии с планируемым расположением. Итоговая имитационная модель представлена на рис. 2 [7].

Следующим этапом является описание логики движения транспортных средств. Указанное описание выполнено с использованием шести типов блоков программного обеспечения AnyLogic и представлена на рис. 3:

- carSource – отвечает за создание агентов (в данном случае – автомобилей), описывает правила поведения автомобиля на дороге: начальную и предпочитаемую скорости, ускорение и направление движения;
- selectOutputIn – указывает, что далее в логике модели будет произведено распределение агентов по параллельно проходящим процессам;
- selectOutputOut – производит процедуру разбиения агентов на возможные пути прохождения автомобилей от точки А до точки В, используя определение вероятностной меры;
- carMoveTo – указывает, в какую точку будет направлен агент, выходящий из блока selectOutputOut;
- roadNetworkDescriptor – отвечает за построение карты плотности автомобильных потоков на дорожной сети, где зелёный – полностью свободный участок, красный – узкое место. Промежуточные значения отмечаются цветом градиента, соответствующим загруженности конкретной области;
- carDispose – производит удаление агентов из модели после того, как необходимая статистическая информация получена. Делается это с целью освобождения ресурсов компьютера. В противном случае на длительном промежутке времени модель станет неработоспособной.



Рис. 2. Итоговая имитационная модель

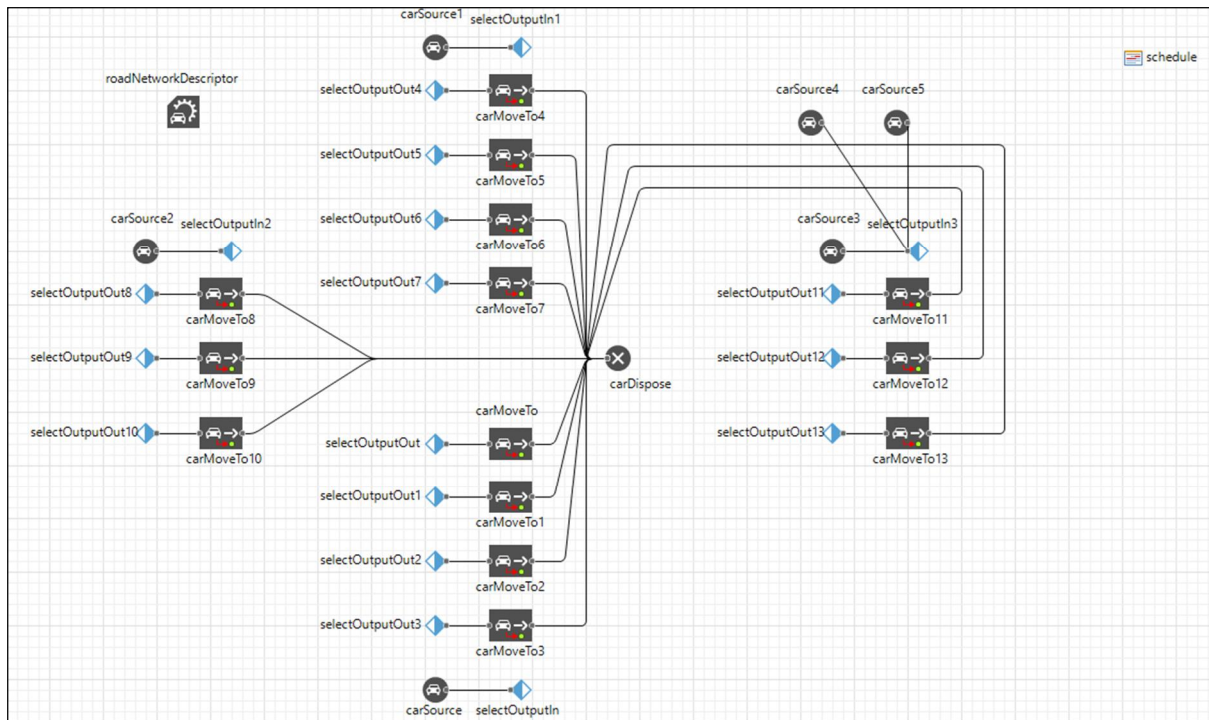


Рис. 3. Блочное представление имитационной модели

Для оценки качества разработанной модели, необходимо определить пропускную способность реализуемого цифрового двойника. Для этого воспользуемся результатами проведенных исследований, изложенных в статье Ласкина М.Б., Свистуновой А.С., Талавирия А.Ю. «Оценка суточной интенсивности движения пункта взимания платы на съезде внутригородской платной дороги» [8].

Указанными авторами было проведено наблюдение за количеством проезжающих транспортных средств на протяжении 10-15 минут в течение октября – ноября 2019 года в разное время суток, а результаты приводились к показателю количества машин в час. Максимальное значение интенсивности превосходит 3000 транспортных средств в час, т.е. 50 в минуту. Но так как поток не постоянен, были взяты значения интенсивности движения на недельном промежутке времени (168 час), а также был взят график интенсивности движения за этот промежуток времени (рис. 4).

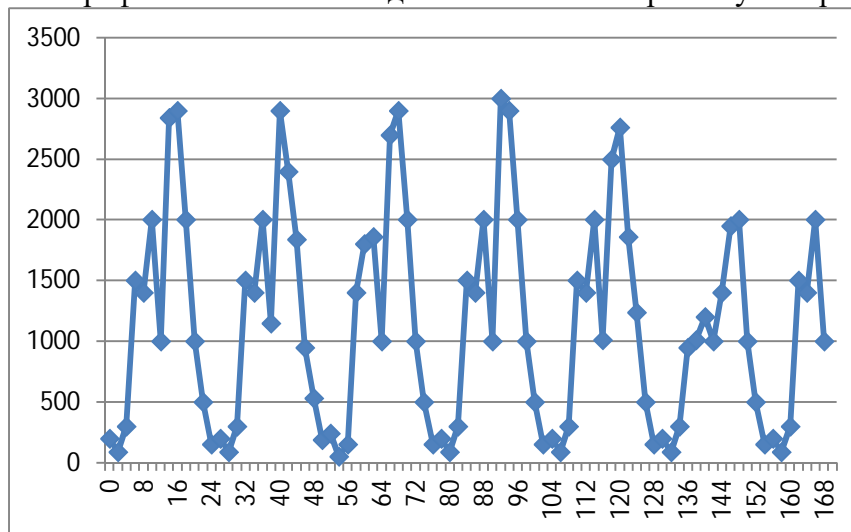


Рис. 4. График интенсивности движения транспортных средств на промежутке времени в 168 часов

На основании этих исходных данных нами было составлено расписание, по которому можно изменять входные данные по потоку автомобилей, и соответственно, применено в разработанной имитационной модели.

Таким образом, модель стала пригодна для исследования с помощью алгоритма Форда-Фалкерсона для нахождения максимального потока в новой транспортной системе, для получения оценок пропускной способности новой развязки с учетом растущей нагрузки в будущем [9].

Эксперты аналитического агентства «АВТОСТАТ» [10] подсчитали, что за последние 10 лет парк транспортных средств в России вырос почти на треть. Если на начало 2011 года его объем составлял 45,2 млн. единиц, то на 1 января 2021 года он достиг 59,2 млн. ед. (рис. 5).

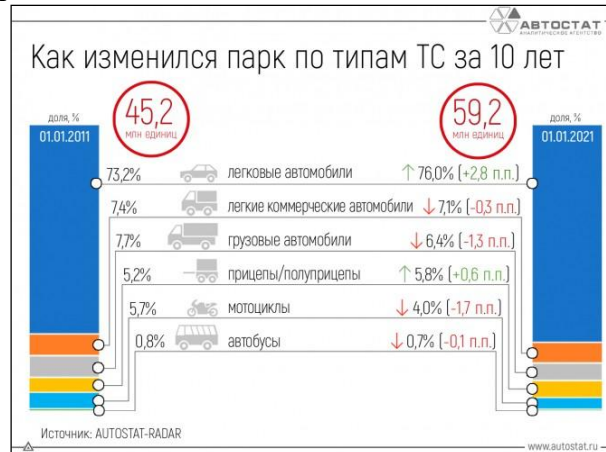


Рис. 5. Автомобильный парк по типам ТС за 10 лет

Следовательно, статистически можно предположить, что к 2031 году автопарк Санкт-Петербурга еще увеличится не менее чем на 30 %. В итоге получается, что транспортной системе необходимо будет обрабатывать не менее 4000 транспортных средств в час в пиковых значениях. Рассчитав показатели с помощью алгоритма Форда-Фалкерсона, можно будет сравнить результаты, применить новые данные на цифровом двойнике и проанализировать полученные результаты. Для рассматриваемого случая описание алгоритма Форда-Фалкерсона можно представить следующим образом:

1. выполняется обнуление всех потоков; остаточная сеть изначально совпадает с исходной сетью;
2. в остаточной сети необходимо найти любой путь из источника в сток. Если путь отсутствует, то останавливаемся;
3. через найденный путь пропускается максимально возможный поток;
4. на найденном пути в остаточной сети выявляем ребро с минимальной пропускной способностью C_{min} ;
5. для каждого ребра на найденном пути увеличиваем поток на C_{min} , а в противоположном ему – уменьшаем на C_{min} ;
6. проводим модификацию остаточной сети; для всех ребер на найденном пути, а также для противоположных им ребер, вычисляется новая пропускная способность; в случае, если она стала нулевой, ребро удаляется;
7. возврат на шаг 2.

Рассмотрим визуализацию функционирования цифрового двойника на основе изложенного алгоритма.

В результате моделирования образовалась большая пробка на съезде с ЗСД на проектируемую дорогу в сторону Наличной улицы (рис. 6). Соответственно, было принято решение об уменьшении автомобильного потока в данном направлении.



Рис. 6. Результаты моделирования без изменения

В результате последующего моделирования было отмечено, что данная модель может обработать более 2500 автомобилей в час, но при достижении 3900 автомобилей в час (согласно статистике, именно такое количество автомобилей будет передвигаться по дорогам к 2031 году), пробок не удастся избежать (рис. 7).

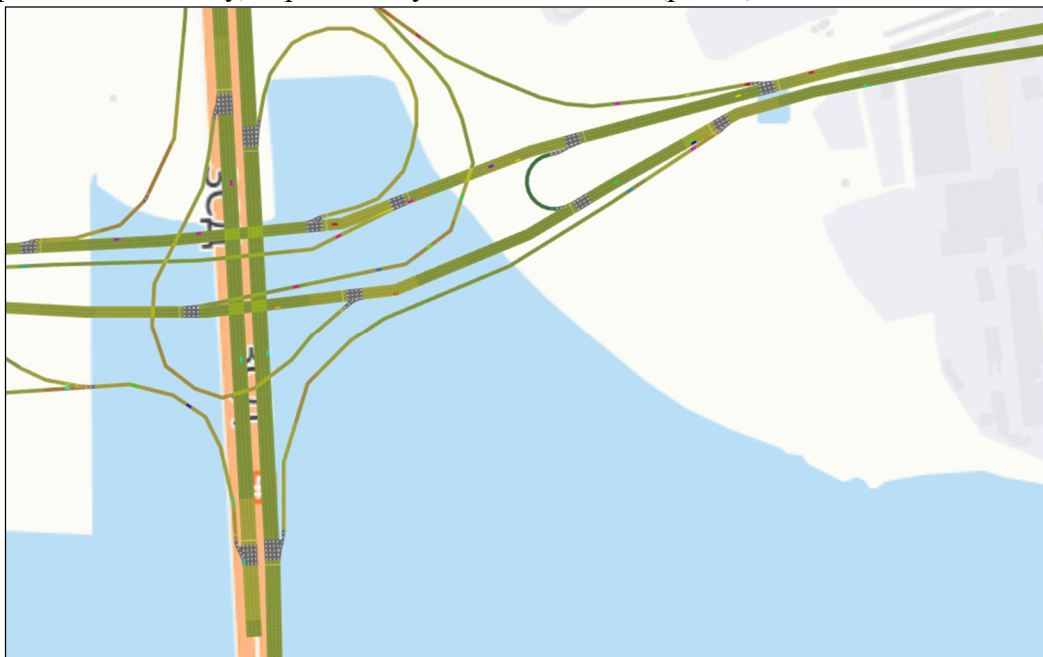


Рис. 7. Результаты моделирования после изменения

Выводы

Следует отметить, что построение цифрового двойника рассмотренной системы позволяет оценить проектные решения и наглядно продемонстрировать «узкие места», которые в будущем будут снижать пропускную способность. В целом, данная система требует незначительных доработок, например увеличение количества полос на съезд, что поможет увеличить поток автомобилей и, соответственно, увеличить путь из источника в сток. Данный путь развития бесспорно актуален и правилен для будущего развития Западного Скоростного Диаметра, вся система будет готова к постоянно растущему потоку автомобилей и сможет обрабатывать до 4000 автомобилей в час, что обеспечит устойчивое развитие транспортного комплекса мегаполиса.

Литература

1. **Вивчарь Р.М., Птушкин А.И., Соколов Б.В.** Риск-ориентированное управление созданием организационно-технических систем на основе использования имитационных моделей их функционирования. Статья в журнале: Вестник воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. Номер 2, 2021. С. 17-31.
2. **Юсупов Р.М., Микони С.В., Соколов Б.В.** Методология оценивания качества моделей и полимодельных комплексов. В сборнике: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. Сборник научных трудов пятой межрегиональной научно-практической конференции. Севастополь, 2019. С. 13-14.
3. **Соколов Б.В., Охтилев М.Ю., Плотников А.М., Потрясаев С.А., Юсупов Р.М.** Комплексное моделирование сложных объектов: основные особенности и примеры практической реализации. В сборнике: Имитационное моделирование. Теория и практика. Седьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Москва, 2015. С. 58-81.
4. **Искандеров Ю.М., Ласкин М.Б., Чумак А.С., Хасанов Д.С.** Особенности моделирования управления информационными ресурсами транспортных систем. В сборнике: Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов 14-й Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 250-257.
5. Официальный сайт программы AnyLogic [Электронный ресурс] // URL: <https://www.anylogic.ru>.
6. **Юсупов Р.М., Соколов Б.В.** Имитационное моделирование и его применение в науке и промышленности. Статья в журнале: Вестник российской академии наук. Том 78/5, 2008. С. 471-472.
7. **Искандеров Ю.М., Свистунова А.С., Хасанов Д.С., Чумак А.С.** Интеллектуальная поддержка принятия решений в логистических системах. Статья в журнале: Морские интеллектуальные технологии. Номер 2 (53), 2021. С. 145-153.
8. **Ласкин М.Б., Свистунова А.С., Талавирия А.Ю.** Оценка суточной интенсивности движения пункта взимания платы на съезде внутригородской платной дороги. В сборнике: Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов 14-й Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2020. С. 257.
9. **Калинин В.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.** Мультиагентная интерпретация концепции активного подвижного объекта. Статья в журнале: Известия кабардино-балкарского научного центра РАН. Номер 1 (39), 2011. С. 122-126.
10. Официальный сайт АВТОСТАТ [Электронный ресурс] // URL: <https://www.autostat.ru>.