

УДК 629.3.014/.016

Применение цифрового двойника при расчете параметров электрической силовой установки коммунальной машины

Колесниченко Даниил Станиславович,
аспирант

daniilkolessnichenko@yandex.ru
SPIN-код: 8903-2600

Пушкарёв Александр Евгеньевич,
*профессор кафедры, д-р техн. наук,
профессор*

pushkarev-agn@mail.ru
SPIN-код: 1620-7855

*Кафедра наземных транспортно-технологических машин,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет», Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Рассмотрены перспективы применения цифровых двойников при расчете параметров коммунальной машины с электрической силовой установкой. Представлена модель двойника, включающая блоки, имитирующие конструкцию и функционирование машины. Показана возможность применять совместно цифровой двойник и оценку технического уровня различными методами при разработке и эксплуатации машин. Сделано заключение о возможности применения цифрового двойника при проектировании и эксплуатации коммунальных машин для улучшения характеристик.

Ключевые слова: цифровой двойник, коммунальная машина, электрическая силовая установка, электродвигатель, технический уровень

The use of a digital twin in calculating the parameters of an electric power plant of a utility vehicle

Kolesnichenko Daniil Stanislavovich,
Graduate Student

daniilkolessnichenko@yandex.ru
SPIN-code: 8903-2600

Pushkarev Alexander Evgenievich,
*Professor of the Department,
Doctor of Technical Sciences, Professor*

pushkarev-agn@mail.ru
SPIN-code: 1620-7855

*Department of Land Transport and Technological Machines,
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia*

Abstract. The prospects of using digital twins in calculating the parameters of a utility vehicle with an electric power plant are considered. A twin model is presented, including blocks that simulate the design and operation of the machine. It is shown that it is possible to use a digital twin and an assessment of the technical level using various methods in the development and operation of machines. A conclusion is made about the possibility of using a digital twin in the design and operation of utility vehicles to improve performance.

Keywords: digital twin, utility vehicle, electric power plant, electric motor, technical level

Для оценки как проектируемой, так и уже эксплуатируемой техники удобно применять цифровую модель изделия. Цифровые двойники находят применение в различных отраслях, в том числе в машиностроении [1]. Ряд ученых определяют цифровой двойник как компьютерную модель реального объекта или процесса, которая воспроизводит его состояние в различных условиях [2]. В автомобилестроении цифровые двойники используются для таких задач, как оптимизация процесса сборки, проектирование отдельных блоков, соединение частей, узлов и агрегатов, обновление программного обеспечения уже выпускаемых моделей и, в том числе, для создания цифрового прототипа, тестируемого в рамках различных смоделированных сценариев [3].

Машины с электродвигателями имеют ряд ограничений, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации. Поэтому, для создания цифрового двойника, корректно отражающего этапы жизненного цикла машины, необходимо задать набор условий, соответствующих реальным условиям эксплуатации. Ряд параметров, таких как длина маршрута, средняя скорость и температура воздуха, можно получить, собрав телеметрию на машине, оснащенной ДВС.

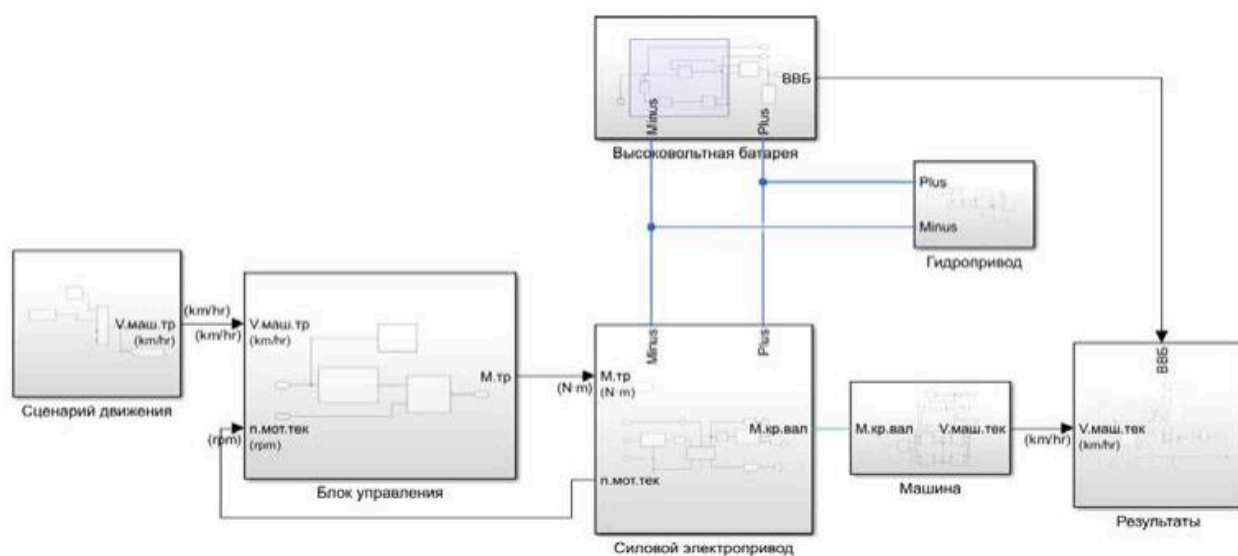
Применение коммунальных машин на электротяге при имеющемся уровне развития аккумуляторных батарей ограничивается запасом хода. Поэтому наиболее актуальным является применение таких машин в городских условиях. Режим движения в городской среде значительно отличается от режима на загородных дорогах и трассах, и обуславливается маршрутными картами, составленными с учетом требований периодичности выполнения технологических операций [4]. Для различного навесного оборудования скорость, при которой будет обеспечиваться наиболее эффективное использование, будет различаться.

Электрическая коммунальная машина для успешной конкуренции с аналогами на ископаемом топливе должна быть эффективной. Рассмотрим понятие эффективности как обеспечение максимальной производительности при минимальной энергоемкости. Для оценки эффективности рабочего процесса в качестве основы примем энергоемкость единицы конечного продукта [5]. Цифровой двойник позволяет рассматривать работу машины через функционирование сложной динамической системы, включающей три подсистемы, характеризующие параметры среды, в которой осуществляется работа; конструктивные и эксплуатационные характеристики; принципы и методы управления техническим средством на моделируемых операциях его рабочего цикла.

Для создания цифрового двойника коммунальной машины на электротяге должна быть однозначно определена структура модели, а также приняты определенные допущения и ограничения [6]. Искусственные ограничения будут определяться характеристиками существующей или проектируемой машины, такими как: полная масса, сила тока в электросистеме. Естественные ограничения представляют собой ограничения компьютерной программы, в которой создается цифровой двойник, это — формат и оформление файлов, содержащих исходную информацию, по которой ведется расчет.

Для корректного функционирования модель двойника должна включать в себя основные элементы коммунальной машины: грузовое шасси, тяговый электродвигатель, АКБ, набор навесного оборудования, а также блоки, необходимые для функционирования модели: блок управления моделью, блок ввода исходных данных, блок для измерения и графического отображения параметров модели, таблица переменных параметров модели.

Созданный цифровой двойник коммунальной машины на электротяге имитирует машину с поливомоечным оборудованием и включает следующие блоки: сценарий движения; блок управления; силовой электропривод; высоковольтная батарея; машина; гидропривод; результаты. В блоке «сценарий движения» применяются данные, полученные при прохождении по маршруту с трекера реальной машины. В блоке «блок управления» созданы логические элементы, отвечающие за имитацию работы навесного оборудования, трансмиссии и мотора. Блоки «силовой электропривод» и «высоковольтная батарея» содержат модель электромотора и аккумуляторной батареи соответственно, а также датчиков отслеживания выходных параметров этих узлов. В блоке «машина» обеспечивается связь электромотора с колесами через редуктор. Блок «гидропривод» моделирует нагрузку, создаваемую гидросистемой, которая обеспечивает работу навесного оборудования. Полученные моделированием данные отражаются в блоке «результаты». Структура цифрового двойника представлена на рисунке.



Структура цифрового двойника коммунальной машины

Существуют методы, позволяющие оценить релевантность созданного цифрового двойника соответствующей технике. Проведенные расчеты показывают, что применение цифровых двойников на различных стадиях жизненного цикла изделия ведет к снижению расходов на техническое обслуживание, устранение отказов и незапланированного простоя, а также к повышению производительности [7].

Представляется целесообразным оценить технический уровень машины для дополнительной проверки релевантности созданного цифрового двойника. Подобную оценку можно применить как на стадии проектирования техники, ориентируясь на характеристики образцов, рассматриваемых в качестве наиболее близких существующих аналогов, так и на стадии эксплуатации техники. В случае применения совместно оценки технического уровня и цифрового двойника на стадии проектирования, можно значительно повысить конкурентоспособность машины без создания физического объекта машины. Для уже эксплуатируемой машины подобное совместное применение технологий поможет создать наиболее точного двойника для оценки эксплуатационных характеристик. В качестве метода оценки технического уровня можно применять как экспертный, так и метод комплексной оценки [8].

Заключение. Таким образом, цифровой двойник обладает значительными возможностями по анализу и оценке характеристик машины как при разработке, так и при эксплуатации. Проведенные разными авторами исследования позволяют подтвердить эффективность применения цифровых двойников техники для оценки надежности на протяжении всего жизненного цикла. Внедрение цифрового двойника на этапе проектирования коммунальной техники с электродвигателями позволит учитывать и оптимизировать взаимодействие навесного оборудования с силовой установкой при различных режимах работы и воздействии окружающей среды. Благодаря широким возможностям оценки параметров цифрового двойника, его можно использовать на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Список источников

- [1] Кравченко А.А. Природа, сущность и классификация цифровых двойников. *Экономика и управление*, 2025, № 31 (1), с. 125–134.
- [2] Прохоров А.Н., Лысачев М. *Цифровой двойник: анализ, тренды, мировой опыт: корпоративное издание*. Москва, АльянсПринт, 2020, 400 с.
- [3] Сосфенов Д.А. Использование цифровых двойников в автомобильной промышленности: российский и зарубежный опыт. *Экономика и управление*, 2023, № 29 (6), с. 662–669.
- [4] Цехош С.И., Игнатов С.Д., Занин А.В., Квасов И.Н. Динамика коммунальной машины, оснащенной щеточным рабочим оборудованием. *Динамика систем, механизмов и машин*, 2019, № 1, с. 181–186.
- [5] Лукин А.М. Методология и алгоритм расчета критериев эффективности работы машины циклического действия на транспортных операциях. *ОНВ*, 2006, № 2 (35), с. 107–112.
- [6] Образцов Н.А. Цифровая модель гибридной трансмиссии с газовым двигателем на коммунальных машинах. *Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых. IX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к 95-летию основания ФГБОУ ВО «СибАДИ»: сб. матер.* Омск, СибАДИ, 2025, с. 744–751. EDN: TFREKM
- [7] Жиздюк А.А., Буйлов В.Н., Чумакова С.В., Ахилбеков М.Н. Применение цифровых двойников технологических машин в АПК при эксплуатации и сервисном обслуживании. *Агроинженерия*, 2025, № 1, с. 20–25.
- [8] Жданко Д.А., Непарко Т.А. *Методы оценки технического уровня машин и оборудования*. Минск, БГАТУ, 2022, 112 с.

