

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Н.В. Подопригора¹, Д.Ю. Зингер¹, А.В. Терентьев²

¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, n.v.podoprighora@gmail.com

² Государственный университет управления,
г. Москва, Россия, aleksej.terentev.67@bk.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросу формирования универсального подхода к адаптации жизненного цикла высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) для пассажирских перевозок. Авторами анализируется применяемый подход к производству, эксплуатации и утилизации базовых транспортных средств (ТС) внедряя актуальные тенденции развития электрических транспортных средств.

Ключевые слова: жизненный цикл, высокоавтоматизированное транспортное средство, электрическое транспортное средство.

MATHEMATICAL MODEL OF THE LIFE CYCLE OF HIGHLY AUTOMATED VEHICLES FOR PASSENGER TRANSPORTATION

N.V. Podoprighora¹, D.Y. Zinger¹, A.V. Terentev²

¹ St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia, n.v.podoprighora@gmail.com

² State University of Management
Moscow, Russia, aleksej.terentev.67@bk.ru

Abstract. This article focuses on establishing a universal framework for adapting the lifecycle of highly automated transport systems used in passenger transportation. The authors examine existing practices in manufacturing, operation, and disposal of standard vehicles while integrating modern advancements in electric vehicle technology.

Keywords: life cycle, highly automated vehicle, electric vehicle.

В ближайшее десятилетие, согласно исследованиям аналитического агентства «АВТОСТАТ», доля электрических высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) на мировом рынке будет продолжать расти экспоненциально. Это обусловлено сочетанием технологического прогресса, государственной поддержки, экономических факторов и потребительского спроса. В будущем ожидается широкое распространение таких ВАТС в различных сферах, включая и пассажирские перевозки, являющиеся социально-значимым видом деятельности для Российской Федерации.

В представленной авторами модели жизненного цикла (ЖЦ) электрических высокоавтоматизированных транспортных средств для пассажирских перевозок рассматриваются этапы ЖЦ, имеющие замкнутый цикл от производства до утилизации.

Стадия утилизации в ЖЦ ВАТС играет существенно важную роль, особенно с учетом их конструктивной сложности, высокой стоимости и потенциальным воздействием на экологическую безопасность окружающей среды. Важность стадии утилизации обусловлена экологической и социальной ответственностью, экономической целесообразностью, безопасностью, сложностью утилизации ВАТС и необходимостью разработки нормативных требований.

В рассматриваемой статье авторами анализируется фактор «сложности утилизации ВАТС», включающий в себя такие составляющие как:

- сложность конструкции ВАТС;
- разнообразие используемых материалов;
- содержание большого количества электронных компонентов;
- элементы питания (аккумуляторные батареи).

Вопрос утилизации литий-ионных аккумуляторных батарей (Li-Ion АКБ), используемых в электрических ВАТС для пассажирских перевозок, требуют особого внимания в вопросах утилизации по причине потенциальной опасности их возгорания и/или взрыва. Подобные случаи в настоящее время все чаще освещаются средствами массовой информации, поскольку электрификация является актуальным процессом по внедрению электрической энергии во многие сферы человеческой деятельности, включая и транспорт.

Как известно, производство и переработка Li-Ion АКБ является одной из сложнейших экологических и технологических задач во всем мире. Согласно исследованиям экологов, изучающих содержание и концентрацию выбросов в атмосферу вредных веществ, было установлено, что при производстве электрических транспортных средств (ЭТС) их химический состав и количество оказалось эквивалентно производству традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Таким образом, процесс производства и переработки Li-Ion АКБ для вновь создаваемых ВАТС для пассажирских перевозок требует существенной модернизации. Решение подобной задачи, являющейся как технологической, так и экологической, требует системного подхода для ее решения.

Применение вторичного сырья может обеспечить новый подход к использованию, утилизации и производству транспортных средств. Предлагаемая авторами модель ЖЦ электрических ВАТС имеет существенное преимущество над моделью ЖЦ традиционного транспортного средства с ДВС на начальной и конечной стадиях. На рисунке 1 более подробно представлена структурная схема ЖЦ электрического ВАТС для пассажирских перевозок.

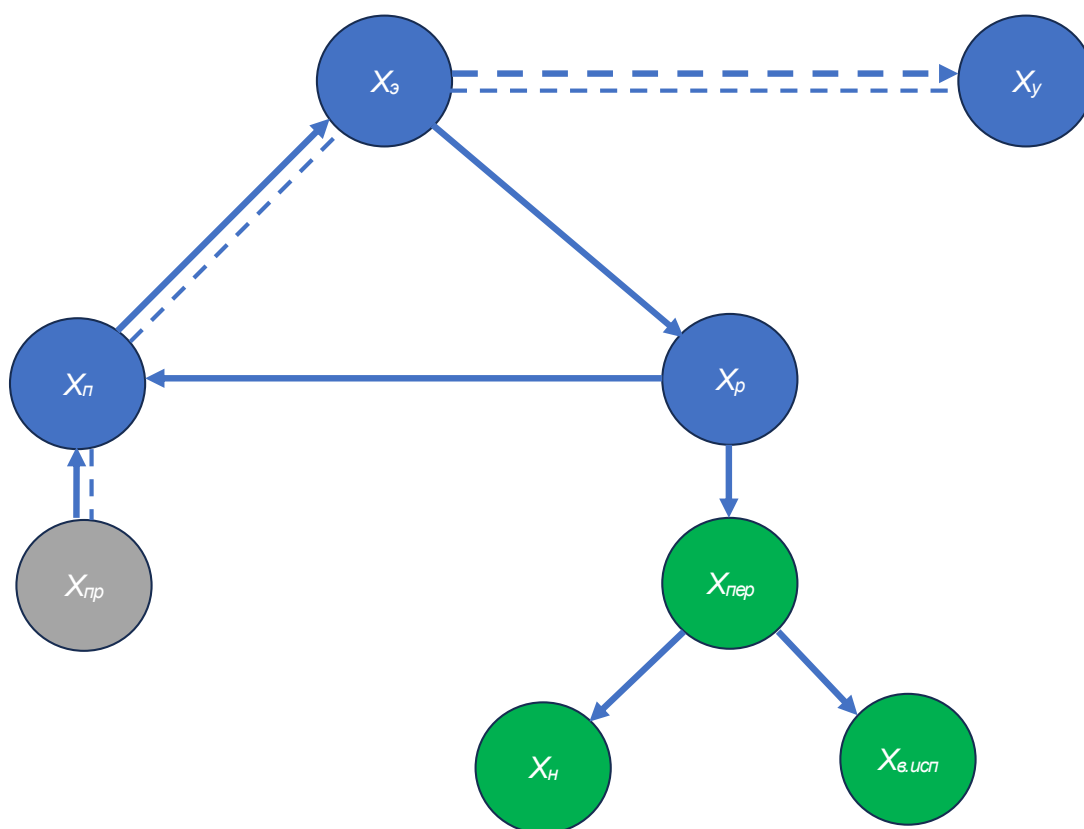


Рисунок 1 – Структурная схема жизненного цикла электрических БАТС для пассажирских перевозок

где: X_{np} – этап проектирования; X_n – этап производства; $X_э$ – этап эксплуатации; X_y – этап утилизации; X_p – этап рециклирования; $X_{пер}$ – этап переработки; $X_{в.исп}$ – этап вторичного использования; X_n – этап начального использования.

Математическое моделирование ЖЦ электрического БАТС представляет собой важный аналитический инструмент как для оценки результативности происходящих процессов (от производства до утилизации), так и для прогнозирования перспектив развития ЭТС. Преимущество данного инструмента заключается в возможности оценки качественных показателей как для личного (индивидуального), так и коммерческого (корпоративного) автомобильного транспорта. С этой целью авторами разработана математическая модель ЖЦ, оценивающая эффективность этих качественных показателей.

$$\Xi = \left\{ \begin{array}{l} X_{\Pi}^1 = \begin{cases} X_{11} \\ K_{11}X_{12}^2 \\ K_{11}K_{12}^2X_{13}^2 \\ X_{14} \end{cases} \\ X_{\text{э}}^1 = \begin{cases} K_{(12,14)}^2 K_{(21,23)}^3 X_{21}^2 \\ K_{11}X_{22}^2 = \begin{cases} X_{21}^3 \\ X_{22}^3 \\ X_{23}^3 \end{cases} \\ K_{11}K_{(22,23)}^3 X_{23}^2 = \begin{cases} X_{24}^3 \\ X_{25}^3 \end{cases} \end{cases} \\ X_{\text{р}}^1 = \begin{cases} K_{11}X_{31}^2 \\ X_{32}^2 \\ K_{11}X_{33}^2 = \begin{cases} X_{33}^3 = \begin{cases} X_{31}^4 \\ X_{32}^4 \end{cases} \\ X_{34}^3 \end{cases} \end{cases} \end{array} \right.$$

В представленной математической модели описаны этапы ЖЦ ВАТС переменными X_j^i – эффективность каждого процесса и подпроцесса этапа ЖЦ ВАТС (i – индекс уровня рассматриваемого процесса ($i=1, \dots, 4$), j – порядковый номер данной переменной в каждом этапе) и коэффициентами K_m^n – описывающими зависимость одного процесса от другого (n – уровень, m – порядковый номер переменной, задающей зависимость).

Предложенная математическая модель ЖЦ электрических ВАТС для пассажирских перевозок позволяет оценивать, как эффективность этапов ЖЦ, так и выявлять основные направления для их дальнейшего совершенствования. Практическая значимость модели заключается в возможности проведения детального анализа каждого технологического процесса по отдельности, позволяя корректировать каждый элемент, получая максимальную эффективность на каждом этапе ЖЦ электрических ВАТС.

Список литературы

1. Подопригора Н.В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств / Н.В. Подопригора, Я.В. Васильев // Грузовик: научно-технический и производственный журн. – 2023. – №8. – С.20-24. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24.
2. Терентьев, А. В. Векторная оптимизация / А. В. Терентьев, Б. Д. Прудовский // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: материалы 2-ой международной научно-практической конференции. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 64–66.
3. Прудовский Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. – 2(49), – С.154-159.
4. Конычева Н.А. Методика оценки уровня качества автотранспортного обслуживания

/ Н.А. Коньчева, А.Б. Мартынушкин, К.П. Андреев, В.В. Терентьев // Бюллетень транспортной информации. - 2019. - № 6 (288). - С. 22-26.

5. Терентьев, А.С. Метод экономической оценки качества обслуживания населения пассажирским транспортом / А.С. Терентьев, Г.К. Рембалович, А.В. Шемякин, А.Б. Мартынушкин, Е.А. Матюнина, К.С. Алексахина // TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. - 2019. - №5. - С 111-113.

6. Курганов, В. М. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов / В. М. Курганов, М. В. Грязнов, А. Н. Дорофеев, А. А. Адувалин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №1. – С.102 –116.

References

1. Podoprigora, N.V. Models for controlling the operational reliability of highly automated vehicles / N.V. Podoprigora, Y.V. Vasiliev // Gruzovik: scientific-technical and production journal. - №8. - С.20-24. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24.

2. Terentyev, A. V. Vector optimization / A. V. Terentyev, B. D. Prudovsky // Innovative systems of planning and management in transport and mechanical engineering: Proceedings of the 2nd international scientific-practical conference. - SPb.: National Mineral and Raw Materials University “Gorny”, 2014. - С. 64-66.

3. Prudovskiy, B.D. Methods of solving the multicriteria automobile transportation problems / B.D. Prudovskiy // Vestnik of civil engineers. - SPb: SPbGASU, 2015. - 2(49), - С.154-159.

4. Konycheva, N.A. Methodology for assessing the quality level of motor transport service / N.A. Konycheva, A.B. Martynushkin, K.P. Andreev, V.V. Terentyev // Bulletin of transport information. - 2019. - № 6 (288). - С. 22-26.

5. Terentyev, A.S. Method of economic evaluation of the quality of public passenger transportation service / A.S. Terentyev, G.K. Rembalovich, A.V. Shemyakin, A.B. Martynushkin, E.A. Matyunina, K.S. Aleksakhina // TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. - 2019. - №5. - С 111-113.

6. Kurganov, V. M. Methodology of material resources rationing for buses / V. M. Kurganov, M. V. Gryaznov, A. N. Dorofeev, A. A. Aduvalin // Intellect. Innovations. Investments. - 2022. - №1. - С.102 -116.