

УДК 519.876.2

doi:10.18720/SPBPU/2/id25-281

Дужнов Вадим Вячеславович*, **Лундаева Карина Александровна**
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
**vadimduzhnov@gmail.com*

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

Аннотация. В исследовании представлена модель бизнес-процесса мониторинга и моделирования состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА в нотации IDEF0. Современная железнодорожная инфраструктура требует регулярного мониторинга для обеспечения безопасности и эффективного управления ресурсами. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности мониторинга и диагностики железнодорожной инфраструктуры. Целью исследования является разработка функциональной модели процесса мониторинга и моделирования состояния железнодорожной инфраструктуры с использованием БПЛА. В задачи исследования входит аналитический обзор опыта использования БПЛА для сбора данных о состоянии железнодорожного полотна, описание процесса интеграции данных с БПЛА в цифровые системы обслуживания, а также моделирование процесса с использованием нотации IDEF0 с выделением необходимых инструментов для интеграции получаемых с БПЛА данных с системами предиктивного обслуживания и с цифровыми двойниками процесса. В качестве основного результата представлено две модели процесса в нотации IDEF0, начиная с верхнего уровня и описания входных, выходных потоков, управляющих воздействий и механизмов для процесса мониторинга состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА. Далее представлена модель декомпозиции общего процесса, которая включает этапы планирования мониторинга, сбора, обработки и анализа данных о состоянии железнодорожного полотна, поступающих с БПЛА. Модель также описывает процесс интеграции данных с БПЛА с цифровыми двойниками и системами предиктивного обслуживания. Практическая значимость исследования обуславливается возможностью использования полученной модели в качестве описания целевого состояния процесса при реализации проекта реинжиниринга процесса мониторинга железнодорожного полотна.

Ключевые слова: анализ данных, БПЛА, моделирование процессов, предиктивное обслуживание, состояние железнодорожного полотна.

Vadim V. Duzhnov*, Karina A. Lundaeva

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**vadimduzhnov@gmail.com*

MODEL OF THE PROCESS FOR MONITORING AND SIMULATING THE CONDITION OF RAILWAY TRACKS USING UAVS

Abstract. The study presents a business process model for monitoring and modeling the condition of railway tracks using UAVs in IDEF0 notation. Modern railway infrastructure requires regular monitoring to ensure safety and efficient resource management. The relevance of the study is determined by the need to improve the efficiency of railway infrastructure monitoring and diagnostics. The aim of the study is to develop a functional model of the process for monitoring and modeling the condition of railway infrastructure using UAVs. The research tasks include an analytical review of the experience of using UAVs to collect data on the condition of railway tracks, describing the process of integrating UAV data into digital maintenance systems, and modeling the process using IDEF0 notation, highlighting the necessary tools for integrating UAV data with predictive maintenance systems and digital twins of the process. As the main result, two process models in IDEF0 notation are presented, starting with the top-level description of input and output flows, control influences, and mechanisms for the railway track condition monitoring process using UAVs. Then, a decomposition model of the general process is introduced, which includes the stages of monitoring planning, data collection, processing, and analysis of railway track condition data obtained from UAVs. The model also describes the process of integrating UAV data with digital twins and predictive maintenance systems. The practical significance of the study lies in the potential application of the developed model as a description of the target process state for implementing the reengineering of the railway track monitoring process.

Keywords: data analysis, UAV, process modeling, predictive maintenance, railway track condition.

Введение

В настоящее время в процессе мониторинга состояния железнодорожного полотна применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), что позволяет повысить эффективность процесса по сравнению с традиционными методами. Внедрение БПЛА в сочетании с цифровыми технологиями позволяет автоматизировать процесс мониторинга, повысить точность диагностики, снижая риски аварийных ситуаций [1]. Несмотря на преимущества данной технологии, процесс ее внедрения сталкивается с рядом проблем. В частности, на данном этапе отсутствует полноценно реализованная интеграция данных, полученных с БПЛА, с системами предиктивной аналитики и цифровыми двойниками системы, в виде алгоритмов обработки данных, которые автоматически получают информацию с БПЛА и передают ее для дальнейшего анализа [2]. Обработка данных осуществляется вручную, что требует значительных временных и трудовых затрат, снижает оперативность диагностики и точность выявления дефектов, а

также ограничивает возможности для своевременного прогнозирования отказов инфраструктуры. Так, отсутствие автоматизированных алгоритмов обработки данных значительно снижает эффективность взаимодействия между различными компонентами системы мониторинга [3]. Целью данного исследования является разработка функциональной модели процесса мониторинга и моделирования состояния железнодорожной инфраструктуры с использованием БПЛА, с выделением ключевых точек интеграции с аналитическими системами. В качестве задач исследования были выделены: аналитический обзор опыта использования БПЛА для сбора данных о состоянии железнодорожного полотна, описание процесса интеграции данных в цифровые системы обслуживания, а также моделирование процесса с использованием нотации IDEF0 с выделением необходимых инструментов для интеграции получаемых с БПЛА данных.

Результаты

Нотация IDEF0 была выбрана для описания процесса в виде системы взаимосвязанных функций, отображения входных и выходных потоков, управляющих воздействий и используемых механизмов. На уровне механизмов в моделях IDEF0 подробно описываются используемое программное обеспечение и технологические решения [4]. Это особенно важно для описания, как и с помощью чего собираются, обрабатываются и интегрируются данные, полученные с БПЛА. Изначально были выделены ключевые потоки в общем для процесса мониторинга состояния железнодорожного полотна. Разработанная модель представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Функциональный блок A0 «Мониторинг состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА»

В представленной модели алгоритмы обработки и анализа данных указаны как управляющее воздействие, потому что они играют ключевую роль в управлении процессом обработки данных внутри общего процесса мониторинга состояния железнодорожного полотна. В этом контексте алгоритмы не только анализируют и обрабатывают собранную информацию, но и заранее устанавливают правила анализа, обработки и интерпретации данных. Далее общий процесс декомпозируется и каждый подпроцесс представляется в виде функционального блока. Декомпозированная модель процесса представлена на рисунке 2.

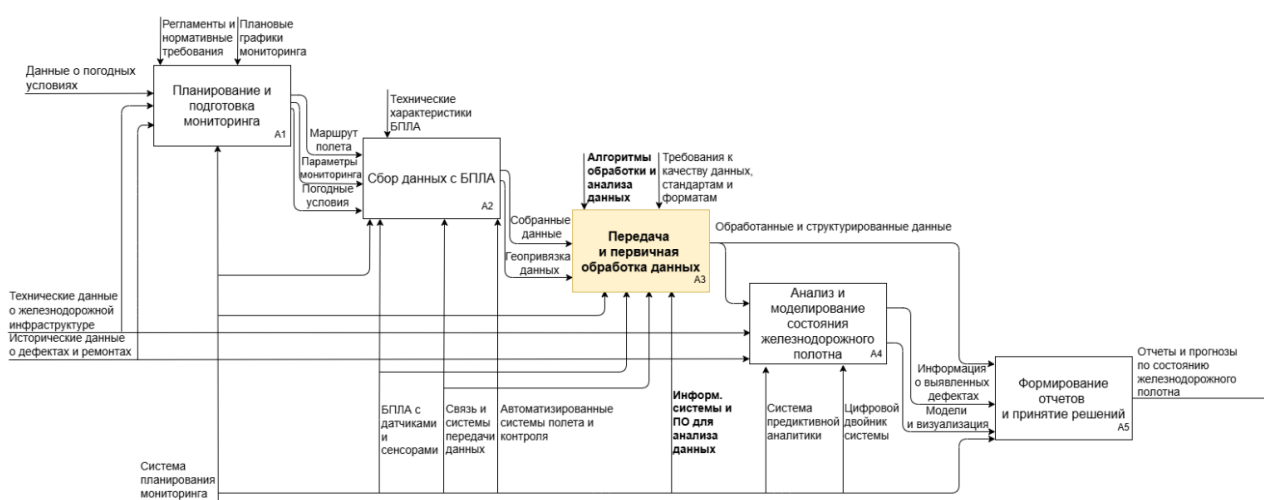


Рисунок 2 – Функциональная модель процесса мониторинга и моделирования состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА

Данная модель предлагается в качестве целевого состояния процесса для разрешения проблемы ручной обработки данных, полученных с БПЛА, ввиду отсутствия интеграция полученных данных с системами предиктивной аналитики и цифровыми двойниками системы. Так, в модели целевого состояния предлагается разработка и внедрение алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированного анализа данных, полученных с БПЛА, а также интеграция системы с существующими системами предиктивной аналитики и цифровыми двойниками предприятия.

Алгоритмы и ПО для анализа данных должны быть использованы при первичной обработке данных для обеспечения точности автоматического распознавания и классификации объектов, а также в целях сегментации изображений для выделения конкретных объектов на снимках и дальнейшего детализированного анализа опознанных дефектов. Алгоритмы, использующие машинное обучение, способны выявлять скрытые аномалии и паттерны, которые могут быть не видны при ручном анализе [5]. Обработка данных перед интеграцией с цифровыми двойниками позволяет системе точно прогнозировать развитие дефектов или

повреждений, что повышает точность диагностики и помогает избежать дорогостоящих ремонтов и аварийных ситуаций.

Заключение

В качестве основного результата исследования предлагаются модели бизнес-процесса мониторинга и моделирования состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА в нотации IDEF0 на верхнем уровне и при декомпозиции на подпроцессы. Модели представляют собой высокоуровневое описание всех элементов и их взаимосвязей в исследуемой системе, что помогает понять, как работает процесс при использовании технологии БПЛА в качестве системы сбора данных с участков железнодорожного полотна. Разработанная модель описывает структурную организацию всех компонентов системы. Отдельно подчеркивается возможность интеграции данных с БПЛА с цифровыми двойниками и системами предиктивного обслуживания. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы для реализации проекта совершенствования процесса мониторинга состояния железнодорожного полотна с использованием БПЛА в целях повышения точности и своевременности выявления дефектов при мониторинге состояния, что, в свою очередь, приведет к сокращению эксплуатационных затрат за счет снижения количества внеплановых ремонтов, повышения эффективности использования ресурсов и минимизации рисков, связанных с эксплуатацией железнодорожной инфраструктуры.

Библиографический список

1. Лутфулин М. Д., Большаков Р. С., Маловецкая Е. В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА //Электронный научный журнал "Молодая наука Сибири". – 2022. – №. 1 (15).
2. Тимофеев Е. Н., Севостьянов А. А. Перспективы использования цифровой модели железнодорожного пути в рамках планирования и организации работ //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – №. 4 (84). – С. 21-31.
3. Казанская, Л. Ф. Информационные системы управления в развитии железнодорожного транспортно-логистического бизнеса: перспективы и риски //Транспортное дело России. – 2024. – № 6. – С. 25-28.
4. Жилиев А. А. и др. Разработка подхода к расчету рисков на основе функциональной модели IDEF0 //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – №. 4. – С. 324-327.
5. Гаврилишина Л. И., Строганов А. С. Применение машинного обучения в задачах промышленной дефектоскопии //ББК 1 Н 34. – 2024.– С. 6089.