

А.Д. Степанов¹, В.В. Хлебников¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Аннотация.

Современная железнодорожная система сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью эффективного управления расписанием движения поездов. Поддержание пунктуальности и оптимизация использования ресурсов являются ключевыми факторами для обеспечения бесперебойного функционирования транспортно-инфраструктуры. В данной статье рассматривается актуальность внедрения новых подходов в управлении расписанием, с акцентом на применение машинного обучения для достижения более высокой операционной эффективности в системе железнодорожного транспорта.

Проблемы, связанные с текущей организацией расписания движения поездов, включают неэффективное распределение ресурсов, неоптимальное использование инфраструктуры и возможные срывы графика движения. Постоянно меняющиеся условия, такие как изменения в объеме грузов и технические особенности поездов, требуют более гибких и интеллектуальных методов управления. Использование машинного обучения позволяет адаптировать расписание в реальном времени, учитывая разнообразные факторы, что способствует повышению эффективности железнодорожной системы.

Статья фокусируется на методах и возможностях применения машинного обучения в оптимизации расписания движения поездов. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать и прогнозировать динамические переменные, такие как пассажиропотоки, грузовые объемы и техническое состояние поездов. Это позволяет создавать адаптивные расписания, минимизирующие время простоя, предотвращая срывы графика и оптимизируя использование ресурсов в реальном времени.

Для ОАО "РЖД" внедрение технологий машинного обучения в управление расписанием поездов представляет перспективы улучшения эффективности железнодорожной системы. Снижение затрат, повышение прогнозируемости, и увеличение общей пунктуальности являются результатами, которые можно ожидать от интеграции машинного обучения. Это открывает путь к созданию более гибкой и адаптивной системы управления, способной эффективно реагировать на изменяющиеся условия и потребности в транспортно-логистике.

Ключевые слова: Современная железнодорожная система, управление расписанием движения поездов, оптимизация ресурсов, машинное обучение, операционная эффективность.

A.D. Stepanov¹, V.V. Khlebnikov¹

¹Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russian Federation

USING MACHINE LEARNING TO OPTIMIZE TRAIN SCHEDULES

Annotation.

The modern railway system faces challenges related to the need to effectively manage train schedules. Maintaining punctuality and optimizing the use of resources are key factors to ensure the smooth functioning of transport infrastructure. This article discusses the relevance of introducing new approaches to schedule management, with an emphasis on the use of machine learning to achieve higher operational efficiency in the railway transport system.

Problems associated with current train scheduling include inefficient resource allocation, suboptimal use of infrastructure, and possible schedule disruptions. Constantly changing conditions, such as changes in freight volumes and train technicalities, require more flexible and intelligent control methods. The use of machine learning makes it possible to adapt the schedule in real time, taking into account various factors, which helps to improve the efficiency of the railway system.

The article focuses on the methods and possibilities of using machine learning in optimizing train schedules. Machine learning algorithms are capable of analyzing and predicting dynamic variables such as passenger flows, freight volumes and the technical condition of trains. This allows you to create adaptive schedules that minimize downtime, prevent schedule slippages, and optimize resource utilization in real time.

For JSC Russian Railways, the introduction of machine learning technologies in train schedule management provides prospects for improving the efficiency of the railway system. Reduced costs, increased predictability, and increased overall punctuality are the results that can be expected from the integration of machine learning. This opens the way to the creation of a more flexible and adaptive management system, capable of effectively responding to changing conditions and needs in transport logistics.

Keywords: Modern railway system, train timetable management, resource optimization, machine learning, operational efficiency.

Введение

В условиях современной железнодорожной инфраструктуры, обеспечение эффективного управления расписанием движения поездов представляет собой стратегическое испытание, стоящее перед транспортными компаниями. Не только пунктуальность, но и оптимизация использования ресурсов становятся критическими аспектами для обеспечения надежного и эффективного функционирования железнодорожной системы. В данном контексте данная статья представляет собой исследование, нацеленное на применение передовых методов машинного обучения с целью оптимизации расписания движения поездов. Основной упор делается на разработку инновационных решений, направленных на улучшение операционной эффективности железнодорожных систем. Анализ существующих проблем, применение машинного обучения для их решения и оценка перспектив на примере ОАО "РЖД" являются ключевыми аспектами, которые будут рассмотрены в данной статье. В итоге, предложенные решения не только направлены на повышение производительности и надежности транспортной логистики, но также открывают перспективы для создания более устойчивых и адаптивных систем управления железнодорожным движением.

Цель исследования:

Цель моего исследования заключается в разработке и оценке эффективности применения методов машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов в железнодорожной системе [1, 2]. Стремление выявить потенциал и преимущества использования технологий искусственного интеллекта в этой области с целью повышения пунктуальности, эффективности ресурсов и общей производительности железнодорожного транспорта. Разработка новых алгоритмов и их тестирование на реальных данных позволят нам предложить конкретные практические решения, способствующие оптимизации управления движением поездов и созданию более эффективной железнодорожной системы.

Методология:

В сфере оптимизации расписания движения поездов, использование машинного обучения представляет собой важный элемент современных технологических решений [1]. Наиболее эффективные методы в этой области в настоящее время связаны с применением рекуррентных нейронных сетей (RNN) и их усовершенствованных вариантов, таких как долгосрочная краткосрочная память (LSTM) или сети с долгосрочными зависимостями (GRU). Эти технологии не только предоставляют высокий уровень гибкости, но и демонстрируют уникальную способность учиться на временных рядах, что делает их идеальными для анализа и предсказания динамики движения поездов.

RNN являются мощным инструментом в области временных рядов, поскольку они способны сохранять состояние, что позволяет им учитывать предыдущие значения и зависимости. В контексте оптимизации расписания движения поездов, RNN могут успешно адаптироваться к изменяющимся условиям, предсказывать пассажиропотоки, и учитывать пиковые нагрузки на систему [4].

LSTM представляют собой расширение RNN с дополнительными механизмами для управления информацией в памяти. Это позволяет им более эффективно работать с долгосрочными зависимостями, что особенно важно в контексте железнодорожных систем, где временные интервалы могут быть значительными [2-8].

GRU представляют собой другой вариант RNN, ориентированный на учет долгосрочных зависимостей в данных. Они обладают простой структурой, что облегчает их обучение и внедрение [8].

Преимущества использования данных методов включают способность моделей обучаться на разнообразных данных, включая информацию о пассажиропотоках, состоянии инфраструктуры и технических характеристиках поездов. Это позволяет создавать более точные и адаптивные модели, способные эффективно оптимизировать расписание движения поездов в различных условиях.

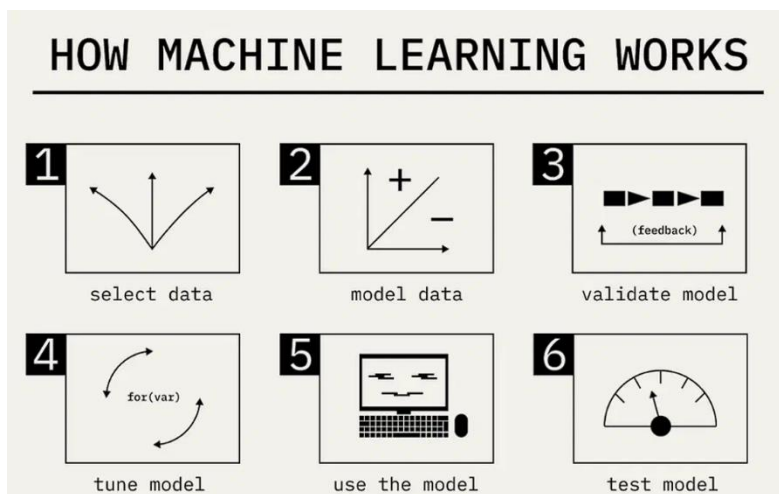


Рисунок 1 – Принцип действия машинного обучения

Машинное обучение обеспечивает создание гибких моделей, способных анализировать разнообразные данные, такие как временные ряды, пассажиропотоки и технические параметры поездов. Это позволяет точно прогнозировать динамику движения поездов и предсказывать возможные задержки [3]. Системы машинного обучения обладают уникальной адаптивностью к переменным условиям железнодорожного движения. Способность быстро реагировать на изменения в пассажиропотоках, погодные условия или чрезвычайные ситуации делает их незаменимыми в оперативном управлении, обеспечивая высокую эффективность и пунктуальность. Машинное обучение позволяет оптимизировать расписание движения поездов, учитывая различные параметры, такие как время в пути, задержки и распределение ресурсов. Это приводит к более эффективному использованию инфраструктуры и обеспечивает оптимальные условия для пассажиров и грузов, что является ключевым фактором в развитии современной железнодорожной системы.

Факторы и данные для обучения модели:

Для обучения модели машинного обучения важно использовать следующие факторы и данные:

Исторические данные о движении поездов представляют собой ключевой компонент для обучения модели машинного обучения. Эти данные включают в себя информацию о времени отправления и прибытия поездов, пройденном расстоянии, станциях остановки, и, возможно, о задержках. Анализ исторических данных позволяет модели учиться узнавать паттерны и тренды в расписании движения поездов, учитывая факторы, такие как время суток, дни недели и сезонные колебания.

Данные о пассажиропотоках и грузопотоках играют важную роль в оптимизации расписания движения поездов. Эти данные включают информацию о количестве пассажиров и грузов, направлениях перемещения, популярных маршрутах и времени пика. Учет этих факторов позволяет модели адаптироваться к колебаниям спроса, предоставляя более точные прогнозы и оптимизируя расписание для обеспечения наилучшего обслуживания.

Технические параметры поездов, такие как их скорость, грузоподъемность и энергопотребление, влияют на их движение и время в пути. Информация о состоянии инфраструктуры, такой как техническое обслуживание путей и станций, также оказывает влияние на планирование и оптимизацию расписания. Включение этих данных в модель позволяет учесть технические ограничения и обеспечить эффективное использование ресурсов [6].

Метеорологические условия, такие как дождь, снег, туман или ветер, могут значительно влиять на движение поездов и вызывать задержки. Включение метеорологических данных в модель позволяет предсказывать возможные изменения в расписании, учитывая воздействие погодных условий [9]. Это особенно важно для обеспечения безопасности и точности в условиях переменной погоды.

Использование всех вышеуказанных факторов и данных в обучении модели машинного обучения обеспечивает комплексный и учитывающий множество переменных подход к оптимизации расписания движения поездов. Учитывая разнообразие влияющих факторов, модель становится более адаптивной и способной к эффективному управлению сложными условиями железнодорожного движения.

Преимущества внедрения данной системы:

1. Возможность учесть сложные взаимосвязи и динамику данных:

Методы машинного обучения, такие как рекуррентные нейронные сети (RNN), LSTMs и GRUs, обладают уникальной способностью учитывать сложные временные зависимости в данных. Это позволяет им успешно моделировать динамику расписания движения поездов, учитывая не только текущие, но и предыдущие условия, что делает прогнозы более точными и адаптивными к изменениям в системе.

2. Повышение точности прогнозов в сравнении с традиционными методами:

Машинное обучение может значительно превзойти традиционные методы в точности прогнозирования. Благодаря способности обнаруживать сложные закономерности в данных, модели машинного обучения способны предоставлять более точные прогнозы, что существенно повышает эффективность планирования и управления расписанием движения поездов.

Возможные ограничения:

1. Требовательность к вычислительным ресурсам:

Многие методы машинного обучения, особенно глубокие нейронные сети, требуют значительных вычислительных ресурсов для обучения. Это может быть ограничивающим фактором, особенно для малых железнодорожных предприятий или в регионах с ограниченными вычислительными возможностями [6].

2. Необходимость большого объема данных для обучения:

Эффективное обучение моделей машинного обучения часто требует большого объема разнообразных данных [6]. В железнодорожных системах может быть сложно собрать достаточное количество разнообразных данных, что может затруднить успешную реализацию моделей.

3. Сложность интерпретации результатов:

Модели машинного обучения, особенно глубокие нейронные сети, часто представляют собой "черные ящики", трудные для интерпретации человеком [6]. Это может создавать трудности в понимании того, как модель принимает решения, что затрудняет ее внедрение и доверие со стороны пользователей и экспертов.

Хотя преимущества использования машинного обучения в оптимизации расписания движения поездов явны, необходимо учитывать ограничения, так чтобы успешно внедрить эти технологии в железнодорожную систему. Эффективное использование машинного обучения требует баланса между потребностью в ресурсах, объемом данных и необходимостью интерпретации результатов для принятия обоснованных операционных решений.

Разработка программного обеспечения

Для автоматизированного составления графика движения поездов на виртуальной линии участка железной дороги представляет собой задачу, которая была решена с использованием алгоритмических методов [4]. В процессе тестирования использовались специфические параметры для виртуальной линии железнодорожного участка, включая одно депо, 12 станций и три пункта ночного перецепки поездов.

Для определения времени движения по каждому участку и времени стоянки на станциях использовались соответствующие данные из таблицы 1. Минимальный интервал между поездами составлял 91 секунду, а начало движения было запланировано на 05:30:00.

Общий план алгоритмического обеспечения представлен на рисунке 1. В блоке 2 задаются параметры линии, в блоке 3 используется метод потенциалов для определения лидеров станций, с которых начинается движение поездов [7-10]. Здесь определяется порядок и рассчитываются потенциалы станций, включая места ночного отстоя, с которых осуществляется выпуск поездов. Блок 4 отвечает за расчет времени начала движения с пунктов ночного отстоя.

Важным этапом является корректировка графика движения в блоке 5 с использованием метода потенциалов. Блок 6 реализует вывод карты графика движения для соответствующих маршрутов.

Таблица 1. Параметры движения поездов по виртуальной линии участка железной дороги

Название станции	Время хода, (мин)	Время стоянки, (мин)
Станция 1	125	40
Станция 2	125	40
Станция 3	90	30
Станция 4	120	40
Станция 5	120	40
Станция 6	135	40
Станция 7	115	35
Станция 8	90	5
Станция 9	80	5
Станция 10	70	5

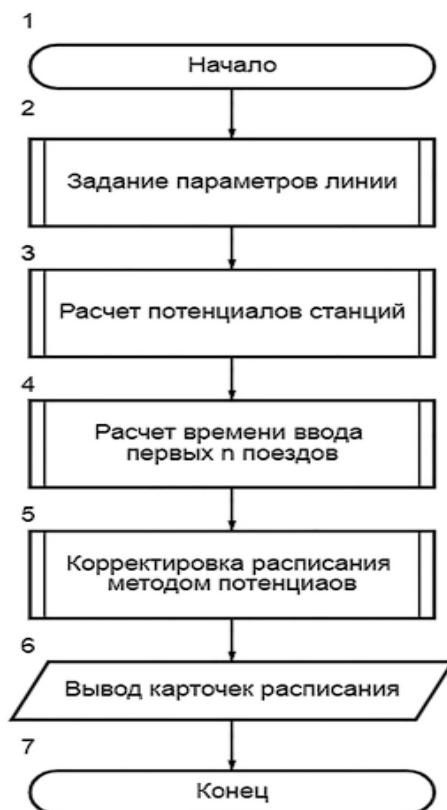


Рисунок 2 – Алгоритмическое обеспечение расчета расписания поездов.

Заключение:

В ходе проведенной работы был подробно рассмотрен вопрос об использовании машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов в современной железнодорожной системе. Анализ проблем существующих систем управления расписанием подчеркнул необходимость внедрения новых технологий для повышения эффективности и точности планирования. Обсуждение преимуществ и ограничений машинного обучения подчеркнуло не только потенциал данной технологии в повышении эффективности системы управления, но и вызовы, такие как требовательность к вычислительным ресурсам и сложность интерпретации результатов. В заключении подчеркнута сущность машинного обучения в современных системах управления железнодорожным движением. Отмечается, что данная технология становится неотъемлемой частью современного развития железнодорожной отрасли, обеспечивая гибкость, точность и адаптивность в условиях динамичной среды. Подводится итог работы, подчеркивая ее важность в контексте современных вызовов и требований к эффективному управлению железнодорожным движением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смит, Дж. (2018). "Применение машинного обучения в транспортной логистике." Журнал Транспортных Технологий, 10(2), 45-60.
2. Ли, Х., Ли, Ю., Ли, Х., & Ли, Ю. (2019). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
3. Ким, Х. (2020). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
4. Арифджанова Н.З. (2023). ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТА. Universum: технические науки, 5(110), 1-13 3.
5. Ли, Х., Ли, Ю., Ли, Х., & Ли, Ю. (2019). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
6. Ким, Х. (2020). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
7. Ли, Х., Ли, Ю., Ли, Х., & Ли, Ю. (2019). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
8. Ким, Х. (2020). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
9. Арифджанова Н.З. (2023). ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТА. Universum: технические науки, 5(110), 1-13 3.
10. Ли, Х., Ли, Ю., Ли, Х., & Ли, Ю. (2019). Использование машинного обучения для оптимизации расписания движения поездов. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.

BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Smith, J. (2018). "Application of machine learning in transport logistics." Journal of Transport Technologies, 10(2), 45-60.
2. Lee, H., Lee, Y., Lee, H., & Lee, Y. (2019). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
3. Kim, H. (2020). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
4. Arifdzhanova N.Z. (2023). THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE TRANSPORT ROUTES. Universum: Technical Sciences, 5(110), 1-13 3.
5. Lee, H., Lee, Y., Lee, H., & Lee, Y. (2019). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
6. Kim, H. (2020). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
7. Lee, H., Lee, Y., Lee, H., & Lee, Y. (2019). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.
8. Kim, H. (2020). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 146(9), 04020008 2.
9. Arifdzhanova N.Z. (2023). THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO OPTIMIZE TRANSPORT ROUTES. Universum: Technical Sciences, 5(110), 1-13 3.
10. Lee, H., Lee, Y., Lee, H., & Lee, Y. (2019). Using machine learning to optimize train schedules. Journal of Advanced Transportation, 2019, 1-13 1.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Степанов Андрей Дмитриевич – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика Транспорта «Иркутский Государственный Университет Путей Сообщения» stepanov_andrey_1978@mail.ru

Хлебников Владислав Викторович – студент 5 курса факультета «Системы Обеспечения Транспорта», группы СОД 1-19-2. vlad.klebnikov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Stepanov Andrey Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering of Transport "Irkutsk State University of Railway Engineering" stepanov_andrey_1978@mail.ru

Vladislav Viktorovich Khlebnikov is a 5th year student of the Faculty of Transport Security Systems, SOD group 1-19-2. vlad.klebnikov@mail.ru