

**ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ
И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ**

УДК 004.89

**АНАЛИЗ ДАННЫХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ
ПОЕЗДОВ НА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ
«ВИРТУАЛЬНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»****Булавин Ю.П.**, к.т.н., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: i@ibulavin.ru

Игнатьева О.В., к.т.н., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: lesjaignateva@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются данные результатов управления пропуском поездов на учебно-лабораторном комплексе «Виртуальная железная дорога». Приведен анализ нескольких деловых игр, найдены статистические характеристики задержек поездов, выполнена оценка плотности распределения вероятностей. Отмечается, что даже в случае отбора «хороших» результатов управления для формирования обучающей выборки требуется дополнительная обработка данных.

Ключевые слова: управление, пропуск поездов, участок, диспетчер, статистические характеристики, плотность распределения вероятности, диаграмма размаха, виртуальная железная дорога

**ANALYSIS OF TRAIN ACCESS CONTROL DATA AT THE
VIRTUAL RAILWAY TRAINING AND LABORATORY COMPLEX****Bulavin Y.P.**, Ph.D., RSTU, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: i@ibulavin.ru

Ignatieva O.V., Ph.D., RSTU, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: lesjaignateva@rambler.ru

ABSTRACT

The paper analyzes data from train passage control tests at the «Virtual Railway» education and laboratory complex. It presents the results of several business game simulations, identifies statistical characteristics of delays, and estimates the probability density distribution. Even when selecting “good” results for the control, additional data processing is necessary to create a training sample, the paper notes.

Keywords: train pass, section, dispatcher, statistical data, probability distribution density, box diagram, Volin plot, Virtual Railway

Введение

В современном мире одной из актуальных задач является интеграция технологий искусственного интеллекта в систему управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте.

В «РЖД» предполагается применение искусственных нейронных сетей в комплексе с цифровыми моделями работы станции и ее элементов. При этом нейросети будут использовать для обучения не только реальные данные транспортных информационных систем, но и использовать данные цифровых моделей.

В Ростовском государственном университете путей сообщения ведутся исследования на базе действующего учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (УЛК ВЖД) по созданию цифровой модели участка дороги Высочино – Тимашевская [1-3].

Разрабатываемая система должна автоматически обеспечивать приём, пропуск и отправление поездов в пределах станции в соответствии с нормативным графиком движения.

Моделирование транспортных процессов лежит в основе комплексов аналогичных УЛК ВЖД, поэтому следует выделить работы [4, 5] в которых сделан обзор существующих решений. В работе [6] авторами представлена облачная система на базе SUMO [7] которая осуществляет управление движением поездов.

Авторами [8] рассматривается широкий круг вопросов, связанных с внедрением искусственного интеллекта в том числе для повышения пропускной способности участка и диспетчеризации перевозочного процесса.

Таким образом, выделяются два подхода в описании движения поездов и объектов транспортной инфраструктуры: специализированные решения, например УЛК ВЖД, где не используются сторонние программные продукты и решения, которые в той или иной степени опираются на готовые разработки.

Реализация нейросетевого управления движением поездов даже в условиях модельной среды требует разработки ИНС и ее обучения. Как следует из работы [9] рациональным выбором в нашем случае является обучение с подкреплением.

В работе [10] представлены исследования, посвящённые разработке системы управления процессом пропуска поездов по железнодорожному участку с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Рассматривается формулировка задачи обучения, выбор архитектуры ИНС и метода её обучения, а также результаты применения метода обучения с подкреплением для нескольких вариантов ИНС.

Авторами в [11] проведена процедура балансировки обучающей выборки и осуществлён отбор значимых признаков. Также предложены различные варианты моделей ИНС. В отличие от подходов [10] рассматривалась задача классификации состояний УЛК ВЖД для получения команды диспетчера при этом полагалось, что диспетчер «хорошо» управляет движением. Ввиду ограниченного объема публикации авторами не представлен анализ данных с УЛК ВЖД по исполнению графика движения диспетчером во время симуляций (деловых игр).

Необходимость такого исследования обусловлена известными оценками ошибок в случае online обучения с подкреплением и offline, где – число шагов [12].

Таким образом, данная работа ставит своей целью анализ результатов управления движением персоналом на УЛК ВЖД для получения статистических оценок и в итоге критериев формирования, обучающей выборки при методах обучения, где нет взаимодействия со средой к решению задачи управления [13, 14].

Методы

Особенностью работы УЛК ВЖД является моделирование движения поездов и работы инфраструктуры в реальном режиме времени, поэтому длительность деловой игры соответствует реальному времени, как если бы это происходило при действительном управлении движением. Задавшись графиками движения (см. Рис. 1) и другими параметрами, можно проигрывать различные сценарии, отвечающие поставленным задачам. >>>

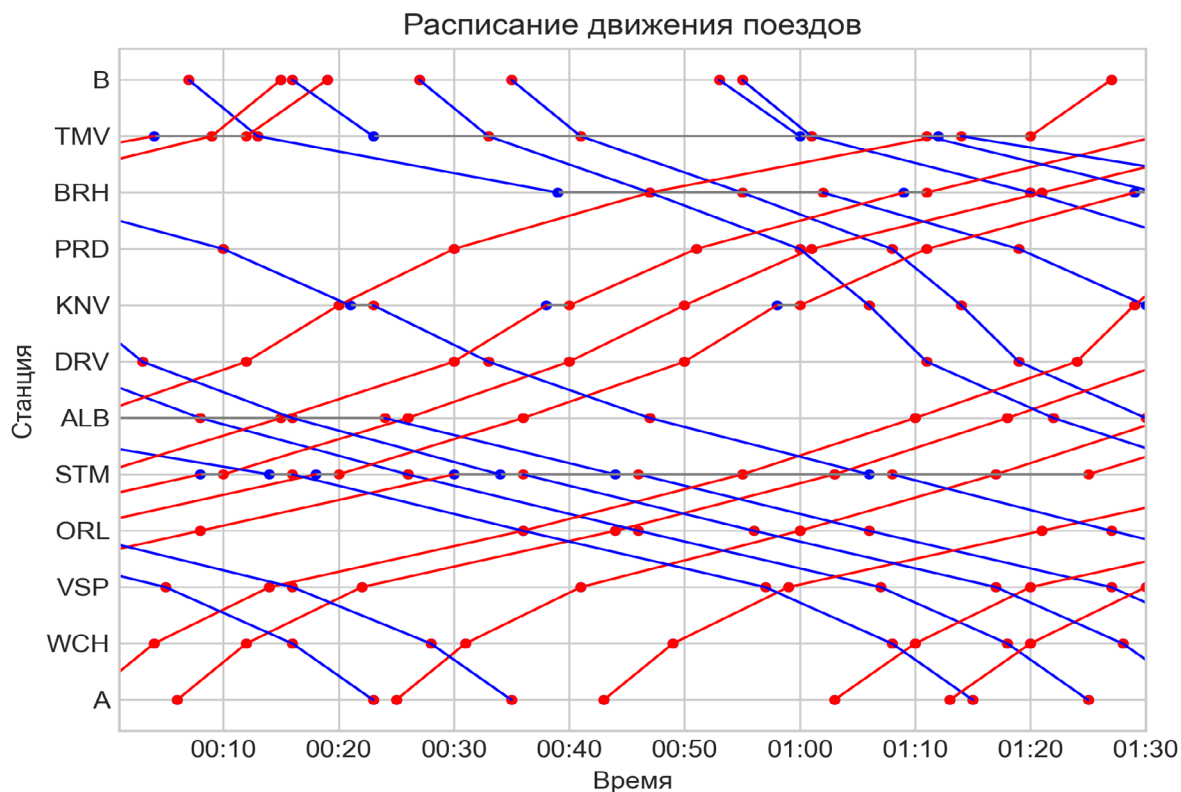


Рис. 1 – График движения поездов

Для проведения деловых игр и вычислительных экспериментов на УЛК ВЖД реализованы интерфейсы пультов управления дежурного по железнодорожной станции (ДСП), поездного диспетчера (ДНЦ) которые предоставляют пользователю возможность построения маршрутов (открытие и закрытие маршрутов: приём, отправление, маршрут между путями по станции, сквозной пропуск), с открытием и закрытием сигналов соответствующих светофоров и переключением стрелок.

Характерной чертой процесса управления пропуском поездов является значительное число событий при сравнительно небольшом количестве команд, выдаваемых диспетчером. Так, в ходе симуляции длительностью около одного часа фиксируется порядка 3000 записей об изменении состояния более чем 500 блок-участков, что соответствует примерно 100 командам. На рисунке 2 представлено общее количество команд диспетчера, включая уникальные команды для каждого сценария по станциям.

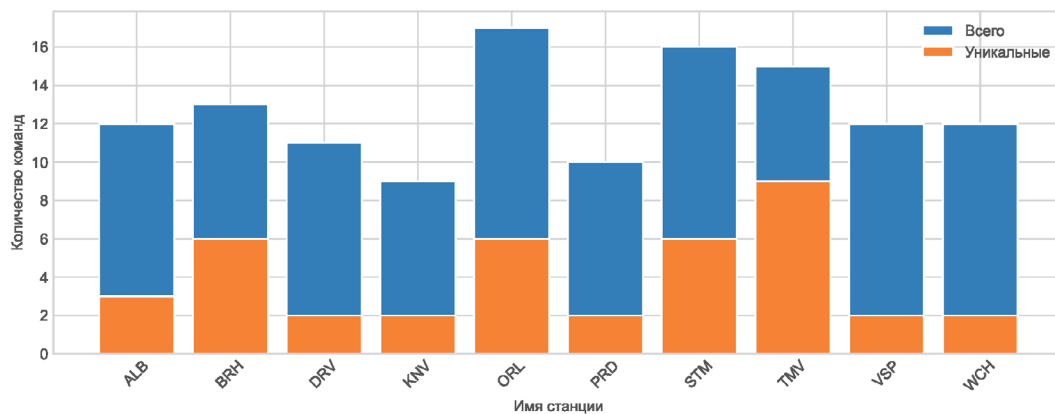


Рис. 2 – Количество команд диспетчера на станциях

Отбор «хороших» вариантов управления осуществлялся экспертным методом организаторами деловых игры, одним из основных критериев являлось исполнение нормативного графика движения. В работе показаны только три характерных варианта, которые передают общую картину.

Анализ управления выполним на основании следующих признаков состояния участка: опоздание (задержка) прибытия, опоздание (задержка) отправления поездов, для одного и того же сценария (см. Рис. 1), но разными людьми в роли диспетчера. Оценка функции плотности вероятности (PDF) случайной величины осуществлялась в SciPy¹, для визуализации данных воспользуемся диаграммами типа «скрипка» (violin plot) пакета Seaborn².

Результаты и обсуждение

Ниже приведены результаты анализа трех из всего множества деловых игр, приведённых на УЛК ВЖД, с условными номерами 511, 713, 758, которые потенциально могут быть использованы для создания обучающей выборки.

Представленные диаграммы на рисунках 3-4 иллюстрируют распределение задержек прибытия и отправления поездов (в секундах) на различных станциях в рамках игры 511. Данный тип визуализации позволяет оценить вариативность и характер задержек, а также сравнить их между станциями.

На оси ординат («Задержка прибытия, с») отображается величина задержки, где положительные значения соответствуют опозданиям, а отрицательные – опережениям. Ось абсцисс («Станция») представляет перечень станций (DRV, VSP, ALB, TMV, PRD, STM, WCH, KNV, BRH). Каждая станция представлена скрипичной диаграммой, сочетающей в себе элементы диаграммы размаха и оценки плотности распределения.

Ширина «скрипки» на различных уровнях отражает плотность данных в соответствующем диапазоне задержек, позволяя оценить частоту встречаемости определенных значений. Внутри каждой «скрипки» размещена диаграмма размаха, демонстрирующая медиану (белая точка), межквартильный размах (ящик) и потенциальные выбросы.

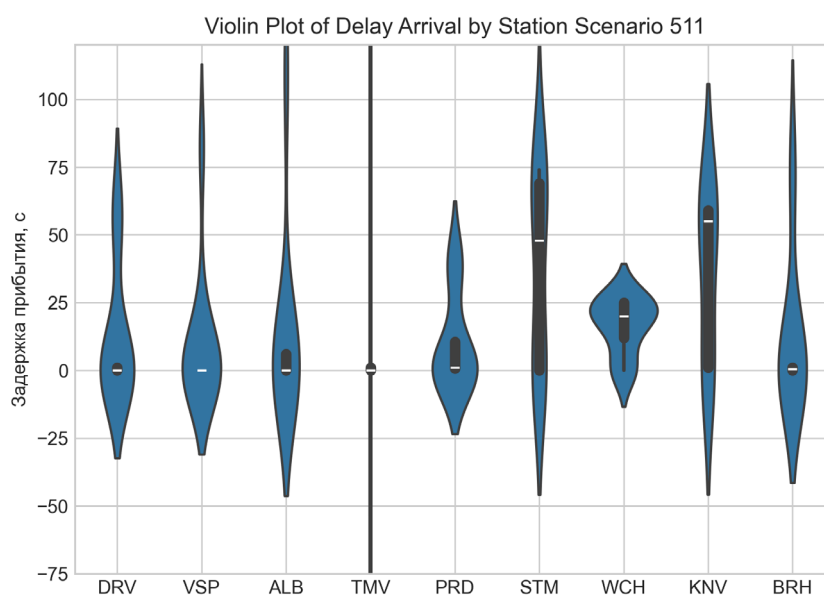


Рис. 3 – Задержка прибытия поездов по станциям

1 https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.gaussian_kde.html

2 <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.violinplot.html>

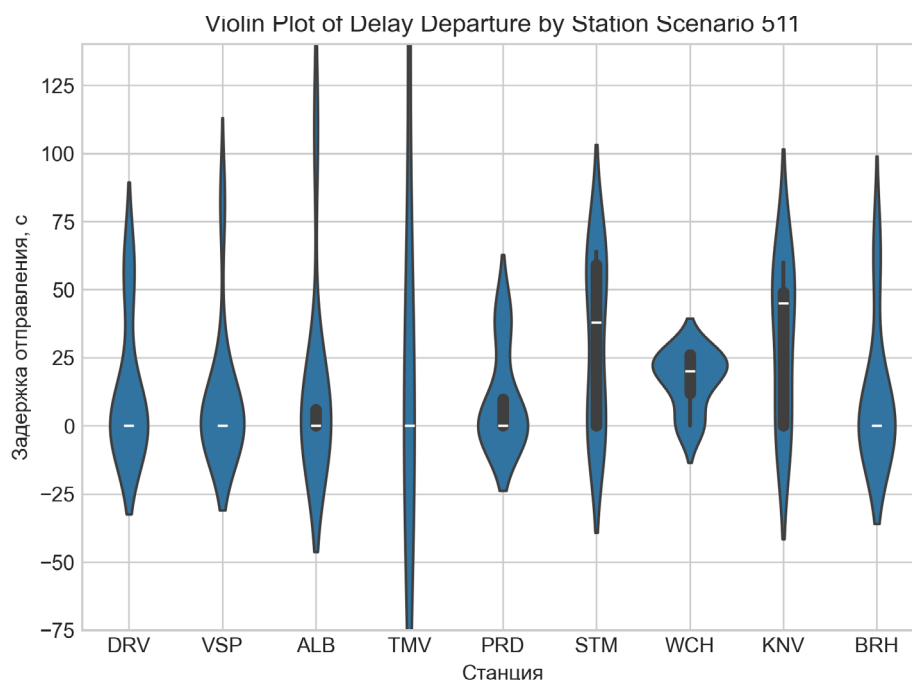


Рис. 4 – Задержка отправления поездов по станциям

Оценки плотности распределения задержек прибытия поездов для девяти различных станций (DRV, VSP, ALB, TMV, PRD, STM, WCH, KNV, BRH) показаны на рисунке 5. Графики демонстрируют вероятность возникновения задержек различной продолжительности (в секундах) на каждой станции. Форма кривых позволяет оценить характер распределения задержек на каждой станции. Например, станции PRD и WCH демонстрируют явно выраженные пики, указывающие на концентрацию задержек в определенном диапазоне. Станции KNV и STM имеют более широкие распределения, что свидетельствует о большей вариативности задержек. Задержки прибытия поездов в совокупности для трех игр показаны на рисунке 6.

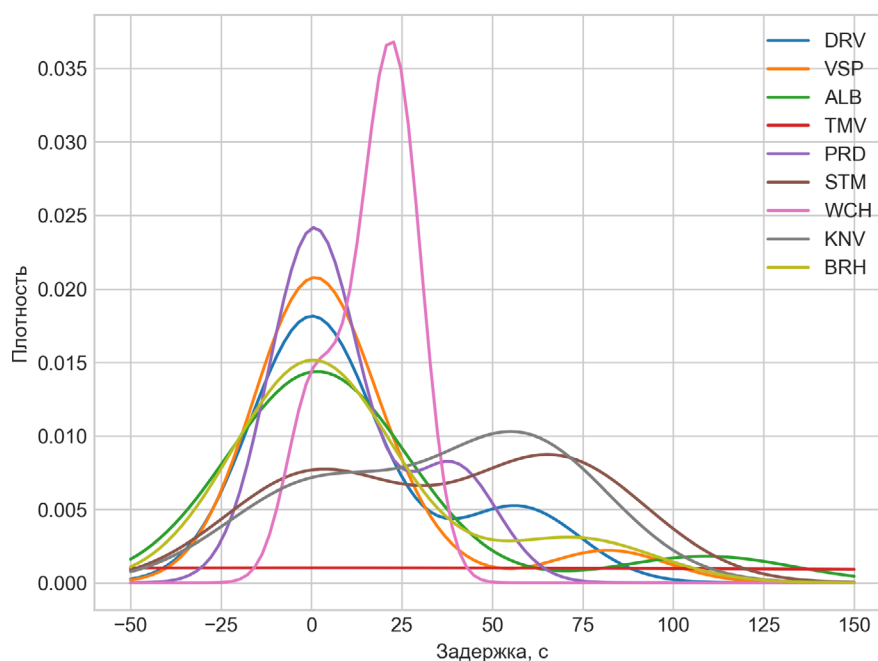


Рис. 5 – Плотность распределения вероятностей задержек прибытия по станциям

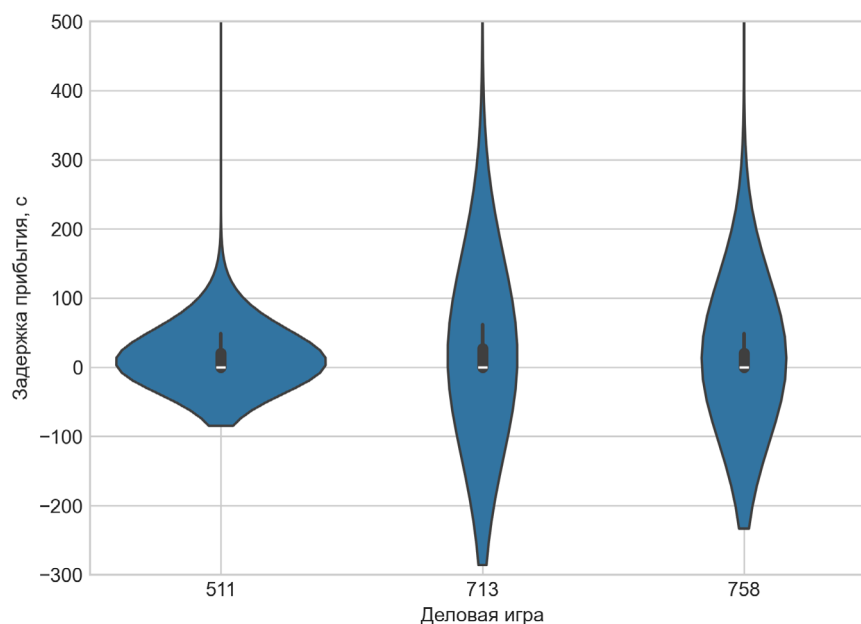


Рис. 6 – Задержка прибытия поездов по результатам игр 511, 713, 758

В таблице 1 представлены статистические характеристики задержек прибытий и отправок поездов, полученные в результате моделирования. Для каждого случая приведены среднее значение, стандартное отклонение и максимальное значение задержек в секундах. Сравнение средних значений задержек позволяет оценить общую эффективность управления. Например, игра 713 характеризуется наибольшими средними задержками прибытий и высокой их вариативностью.

Таблица 1.

Статистические характеристики задержек прибытий и отправок поездов по результатам игр 511, 713, 758

	Игра 511		Игра 713		Игра 758	
	Прибытие	Отправление	Прибытие	Отправление	Прибытие	Отправление
Среднее	25,22	15,24	57,19	13,10	50,9	11,79
Стандартное отклонение	102,62	30,44	326,47	22,54	286,99	26,91
Максимум	914,0	184,0	2579,0	88,0	2584,0	180,0

Заключение

Проведенный анализ показывает, что даже в случае отбора «хороших» результатов управления имеются отклонения между результатами игр. Большая часть отклонений обусловлены человеческим фактором, в то же время, если ориентироваться на средние значения, то задержки прибытий и отправок поездов в пределах минуты вполне согласуется реальностью.

Выбросы и высокая вариативность задержек прибытия и отправления поездов могут критическим образом сказаться на нейросетевом управлении пропуском поездов по участку, соответственно необходимы дополнительные усилия по подготовки данных.

Основной трудностью после подготовки данных как отмечалось выше останется накопление со временем ошибки управления ИНС, что может привести к худшим результатам



чем получено в деловой игре. Решением в данном случае видится в области online алгоритмов обучения с подкреплением, уменьшением длительности деловой игры с последующим объединением выборок.

Список использованной литературы

1. Верескун В.Д., Романова Д.В., Притыкин Д.Е., Мусиенко Н.Н. Особенности построения методики деловых игр на виртуальной железной дороге, при взаимодействии персонала дирекции управления движением и тяги. Вестник РГУПС. 2021. № 4 (84). С. 83–90.
2. Верескун В.Д., Притыкин Д.Е., Дагддиян Б.Д., Романова Д.В. Принципы имитационного моделирования реального участка железной дороги с точки зрения разработки его топологической структуры и ее связи с цифровыми моделями объектов инфраструктуры. Вестник РГУПС. 2022. №4(88). С. 177–183.
3. Верескун В.Д., Притыкин Д.Е., Дагддиян Б.Д., Решетов А.В., Мищенко А.В. Разработка подсистемы имитации движения поездов в режиме исполнения нормативного графика движения в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога». Вестник РГУПС. 2023. №2(90). С. 231–239.
4. An overview of agent-based traffic simulators / J. Nguyen [и др.] // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2021. – Т. 12. – С. 100486.
5. TrafficSim: Learning to Simulate Realistic Multi-Agent Behaviors / S. Suo [и др.] // 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2021. – С. 10395-10404.
6. Boockmeyer A. Using SUMO for Test Automation and Demonstration of Digitalized Railway Concepts: Integrating SUMO with the» Train Dispatcher in the Cloud» / A. Boockmeyer, D. Friedenberger, L. Pirl // SUMO Conference Proceedings. – 2024. – Т. 5. – С. 195-207.
7. Boockmeyer A. Using SUMO for Test Automation and Demonstration of Digitalized Railway Concepts: Integrating SUMO with the» Train Dispatcher in the Cloud» / A. Boockmeyer, D. Friedenberger, L. Pirl // SUMO Conference Proceedings. – 2024. – Т. 5. – С. 195-207.
8. Neural Network Control of the Transportation Process in Railway Transport: Problems and Future Tasks / E. Mamaev [и др.] // Proceedings of the Eighth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI'24), Volume 1 / ред. S. Kovalev [и др.]. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – С. 91-107.
9. A systematic survey on big data and artificial intelligence algorithms for intelligent transportation system / S. Abirami [и др.] // Case Studies on Transport Policy. – 2024. – Т. 17. – С. 101247.
10. Булавин Ю.П., Игнатьева О.В. Обучение искусственных нейронных сетей с подкреплением // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 11. С. 18–21. DOI 10.62994/AT.2024.11.11.003. EDN ORZJCD.
11. Булавин, Ю. П. Модели нейронных сетей для управления пропуском поездов / Ю. П. Булавин, О. В. Игнатьева // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 2. – С. 24-26. – DOI 10.62994/AT.2025.2.2.005. – EDN WKOQGT.
12. Offline Reinforcement Learning: Tutorial, Review, and Perspectives on Open Problems / S. Levine [и др.]. – 2020.
13. Rubinstein R.Y. The cross-entropy method: a unified approach to combinatorial optimization, Monte-Carlo Simulation and machine learning : Information science and statistics. The cross-entropy method / R.Y. Rubinstein, D.P. Kroese. – New York [Heidelberg]: Springer, 2004. – 300 p.
14. Figueiredo Prudencio R. A Survey on Offline Reinforcement Learning: Taxonomy, Review, and Open Problems / R. Figueiredo Prudencio, M.R.O.A. Maximo, E.L. Colombini // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2024. – Т. 35. – № 8. – С. 10237-10257.