

УДК 656.07 + 06

Актуальные направления развития принципов управления транспортной работой припортовых грузовых станций

О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, Д. С. Безусов

Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 344038, Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2

Для цитирования: Числов О. Н., Луганченко Н. М., Безусов Д. С. Актуальные направления развития принципов управления транспортной работой припортовых грузовых станций // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 3. — С. 685–697. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-685-697

Аннотация

Цель: Сформулировать направления развития принципов управления транспортной работой припортовых грузовых станций на основе интеллектуальных алгоритмов, использования аксиомат технологических процессов и обработки массивов данных временных параметров. **Методы:** На основе анализа научных работ в направлении данных исследований применена методологическая база интеллектуальных алгоритмов, авторские модели цифровых аксиомат транспортных процессов припортовых станций, учитываемых при выборе вариантов местной работы. **Результаты:** В статье представлены принципы формирования алгоритмов управления транспортной работой припортовых грузовых станций на основе авторской аксиоматики технологических процессов и выбора эффективных вариантов решения транспортных конфликтов в условиях множества вариантов обслуживания, их оценки и выбора рациональных с применением интеллектуальных методов. Исследованы возможные перспективы адаптации интеллектуальных алгоритмов управления к транспортной работе припортовых грузовых станций с целью выбора эффективных технологических параметров местной работы. **Практическая значимость:** На примере транспортно-технологической схемы станции представлены авторский подход к формированию блок-схем управляющих алгоритмов с учетом возможных вариантов обслуживания, решением вероятных транспортных конфликтов и сокращением временных задержек.

Ключевые слова: Припортовая грузовая станция, параметры транспортной работы, аксиоматика, нейросеть, блок-схемы алгоритмов управления, интеллектуализация, аналитическое моделирование, модельные схемы транспортных конфликтов.

Введение

Современные особенности функционирования отечественного железнодорожного транспорта предъявляют повышенные требования к эффективности управления станционными транспортно-технологическими процессами. Показатели объемов перевозок грузов на полигоне Северо-Кавказской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» в адрес припортовых станций и портов Азово-Черноморского бассейна (АЧБ) представлены в табл. 1 [1, 2].

Грузооборот морских портов АЧБ за январь — июнь 2025 г. снизился и составил 123,5 млн т (–11,9% к аналогичному периоду 2024 г.), из них объем перевалки сухих грузов составил 49,9 млн т (–23,4%), наливных грузов — 73,6 млн т (–1,9%). Например, грузооборот порта «Н» составил 80,3 млн т (–6,7%), «ТН» — 12,9 млн т (–1,5%), «Т» — 10,7 млн т (+2,6%), «К» — 5,4 млн т (–49,5%), «Р» — 5,7 млн т (–25,9%) [1, 2].

Важным залогом дальнейшего прогресса железнодорожной транспортной системы АЧБ

Таблица 1. Показатели грузооборота портов АЧБ

Порт	Грузооборот, млн т/год										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
«Н»	125,6	127,6	131,4	143,5	140,2	142,5	141,8	142,8	147,4	161	164,8
«Т»	18,9	25,19	25,8	26,6	24,3	25,1	24,8	24,5	21,7	24,7	21,4
«Р»	12,0	13,62	15,3	16,9	17,5	17,8	17,3	17,1	16,0	16,3	8,5
«ТГ»	2,8	2,93	2,36	1,59	1,24	1,1	2,9	2,8	1,6	2,9	1,8
«А»	7,9	8,05	7,2	10,1	12,9	10,1	10,8	10,9	9,2	10	8,1
«К»	12,3	13,7	15,4	20,4	23,3	20,9	21,9	20,2	18,6	21,4	23
«ТМ»	4,5	4,7	5,1	5,9	5,4	5,2	5,5	5,6	5,4	3,8	3,3
«Е»	4,1	3,92	4,3	4,6	4,2	3,8	4,2	4,2	3,8	4,35	5,3
«М»	4,5	3,8	3,3	3,9	4,8	4,7	5,0	4,8	4,1	3	3,2

является не только развитие новых логистических цепей доставки грузов и международных транспортных коридоров (МТК), но и реализация проектов развития инфраструктуры согласно поручениям Правительства РФ, направленных на обеспечение пропускной способности участков полигона дороги к портам АЧБ в размере 152 млн т к 2030 г. В новых условиях изменения рынков сбыта и транспортной логистики МТК данные мероприятия востребованы у грузоотправителей. Например, с 2022 г. объем перевозок грузов со станций Северо-Кавказской железной дороги по западному маршруту МТК «Север — Юг» вырос более чем в полтора раза. Организованы услуги по формированию судовых партий на железнодорожной инфраструктуре с последующей перевалкой грузов в портах по прямому варианту «вагон — борт судна», развивается сервис «грузовой экспресс» (за 2024 г. количество вагонов, отправленных в рамках данной услуги, выросло по сравнению с 2023 г. на 30% и составило около 8,4 тыс. ваг.), увеличиваются пропускные способности припортовых транспортных узлов в рамках нацпроекта «Эффективная транспортная система» [2].

Одним из важнейших векторов технологического развития железнодорожной транспортной отрасли нашей страны является ее комплексная цифровизация и интеллектуализация. На сегодня

каждый день в ОАО «РЖД» используется более 600 автоматизированных систем и приложений, и их количество растет [3]. При этом особо сложными являются направления развития интеллектуальных принципов управления транспортной работой на стыке «припортовая станция — порт» при решении задачи обслуживания грузовых фронтов, минимизации транспортных конфликтов в вариантах организации местной работы.

Теоретические основы

В статье рассматриваются направления развития принципов управления транспортной работой припортовых грузовых станций за счет интеллектуальных алгоритмов, использования авторских аксиомат технологических процессов, моделирования транспортных конфликтов, совершенствования принципов обработки массивов данных временных параметров при выборе рациональных вариантов местной работы.

Современным методам цифровизации и интеллектуализации транспортных процессов посвящены работы известных ученых: В. И. и М. В. Колесниковых, Н. Н. Лябаха, В. Д. Верескуна, Э. А. Мамаева, Е. Н. Розенберга, П. В. Куренкова, О. Д. Покровской, Э. К. Лецкого, Д. В. Ефанова, А. Н. Рахмангулова, В. Б. Положишников, О. В. Осокина, С. А. Селиверстова, Я. А. Селиверстова и др. [3–14].

Научной основой развития исследований в данном направлении является применение: теории нечетких множеств (ТНМ), позволяющей учитывать неопределенность и неточность в варьируемых параметрах; рекуррентные нейронные сети (РНС) для обработки последовательности данных и учета временных зависимостей между ними; теория активных систем (ТАС) для моделирования взаимодействия разнородных элементов транспортной системы с учетом активного поведения участников транспортного процесса; аналитическое моделирование, комбинаторные методы и теория вероятностей для прогнозирования транспортных конфликтов; графоаналитическое моделирование для визуализации и анализа транспортных процессов и др.

На начальном этапе моделирования железнодорожные припортовые транспортные системы можно разделить на 3 группы в зависимости от уровня транспортно-технологических составляющих:

1) простые объекты, включающие в себя пути, причалы, парки станций;

2) объекты с варьируемым техническим оснащением, включающие обменные и районные парки, грузовые районы порта, погрузочно-выгрузочные устройства. Данная группа увязывает 1-ю и 2-ю группы (простые и сложные объекты);

3) сложные объекты, представляющие собой разнопланово наполненные инфраструктурные комплексы (припортовые станции, порты).

В настоящей работе представлено развитие авторской методики аксиоматики транспортно-технологических процессов [15] в части исследования, анализа и последующей оптимизации технологии работы инфраструктурных объектов системы «станция — порт» с применением принципов базовой (АМТП-Б) и модернизированной (АМТП-М) аксиоматной модели транспортно-технологических процессов. Аксиоматное моделирование имеет связь с классическим

многоуровневым программированием, а также с применением принципов формирования рекуррентных нейронных сетей (РНС), теории активных систем (ТАС), а также теорией нечетких множеств (ТНМ). Аксиоматная модель может формализовать процесс, связанный с функционированием объектов транспортной инфраструктуры, а также составляющие части ее технологии работы. Совокупность аксиомат, выполняющих массив транспортных задач, поставленных перед объектом управления, представляет собой аксиоматную модель транспортно-технологических процессов (АМТП). Модель, не прошедшая обработку средствами ТНМ, РНС, ТАС, называется базовой (АМТП-Б).

Например, процесс построения базовой аксиоматной модели (АМТП-Б) взаимодействия водного (АТПВТ) и железнодорожного транспорта на примере припортовой станции «Н» представлен на рис. 1 [16]. В рамках моделирования выделены логические группы АМТП станции «Н» и причалов порта, где $\mu(T_i)$, $\mu(GFP_i)$, $\mu(G_i)$, $\mu(V_i)$ — нечеткие множества параметров.

Базовая аксиоматная модель АМТП-Б разбита на 4 составляющие логические группы [16]: 1 — аксиоматы станционных транспортно-технологических процессов (АСТП: $\{GL1 \leftrightarrow PG1 \leftrightarrow \theta(SU) \leftrightarrow PS \leftrightarrow GFP1\}$); 2 — аксиоматы технологических процессов водного транспорта (АТПВТ: $\{PER \leftrightarrow SH \leftrightarrow DEP\}$); 3 — аксиоматы транспортно-складских процессов (АТСП: $\{\theta(PRM_i) \leftrightarrow DWL \cdot Q_i \leftrightarrow WRH \leftrightarrow \theta(PRM_i)\}$); 4 — аксиоматы технологических процессов погрузочно-разгрузочных машин, задействованных в грузовой работе складов (АПРМ).

Для осуществления перехода от АМТП-Б к АМТП-М применимы методы обработки данных, основанные на принципах РНС, ТАС и ТНМ. Применяя один из вышеперечисленных методов обработки информации транспортного объекта, базовая аксиоматная модель становится

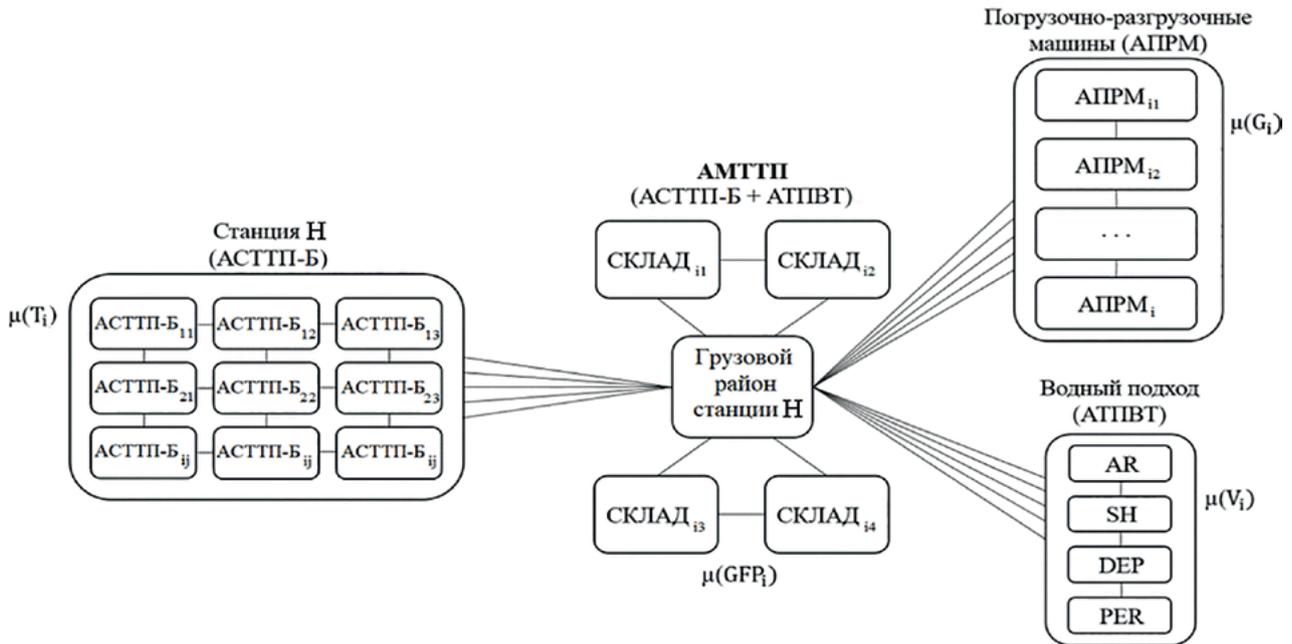


Рис. 1. Логические группы аксиоматной модели взаимодействия водного и железнодорожного транспорта

модернизированной 1-го уровня сложности. При комбинированном применении АМТП-М может принять 2-й или 3-й уровень сложности.

Интерпретируя [17, 18], важно отметить, что РНС способна учитывать предыдущие параметры наблюдения, то есть работать с последовательностью событий транспортных объектов. Известно, что новый временной параметр аксиоматы станционных транспортно-технологических процессов (АСТТП)_{t+1} по новой модели АМТП-М зависит от нормативного (эталонного) значения аксиомат (АСТТП)_t и прошлых значений аксиомат (АСТТП)_{t-1} по варианту уже выполненной работы — базовой АМТП-Б.

Эти изменения возможно учитывать в моделях управления согласно архитектуре нейронной сети, состоящей из трех слоев параметров времени моделей АМТП, включающих набор значений аксиомат АСТТП: 1 — входной слой X (базовая модель АМТП-Б), 2 — скрытый слой H (нормативные/эталонные значения набора параметров АСТТП по возможным вариантам местной работы станции); 3 — выходной слой Y (модифицированная модель АМТП-М с учетом

новых условий управления транспортной работой и новых времен АСТТП). При этом веса АСТТП и временное смещение между входным (базовым) и скрытым слоями обозначаются как $W(\text{АСТТП})_{xH}$ и $b(\text{АСТТП})_H$ соответственно; веса и смещение между скрытым и выходным (модифицированным/прогнозируемым) слоем как $W(\text{АСТТП})_{HY}$ и $b(\text{АСТТП})_Y$. В архитектуру РНС вводится набор весов установленных (эталонных) параметров времен аксиомат $W(\text{АСТТП})_{HH}$, который позволит учитывать значения предыдущих времен АСТТП при прогнозировании очередного временного значения параметра транспортной работы по варианту управления. Укрупненная архитектура сети представлена на рис. 2.

Процесс моделирования начинается с подачи на вход параметров временных данных АСТТП существующей (базовой) АМТП-Б — $X(\text{АМТП-Б})_{t-1}$, затем значения умножаются на веса входного слоя аксиомат $W(\text{АСТТП})_{xH}$, добавляются временные смещения согласно стратегии управления $b(\text{АСТТП})_H$ и данные пропускаются через функцию активации F . Находятся значения АСТТП скрытого слоя $H(\text{АМТП})_{t-1}$.

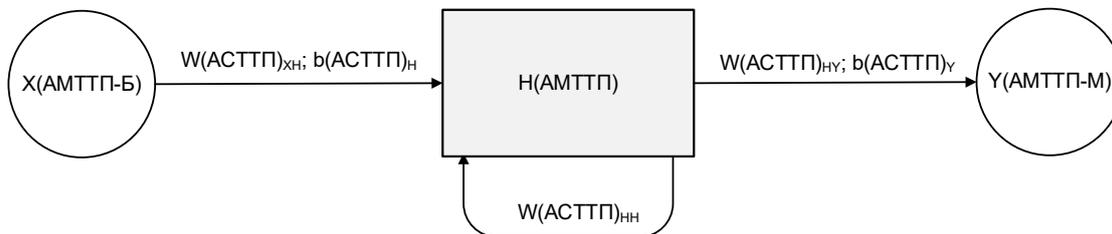


Рис. 2. Архитектура РНС аксиоматного моделирования

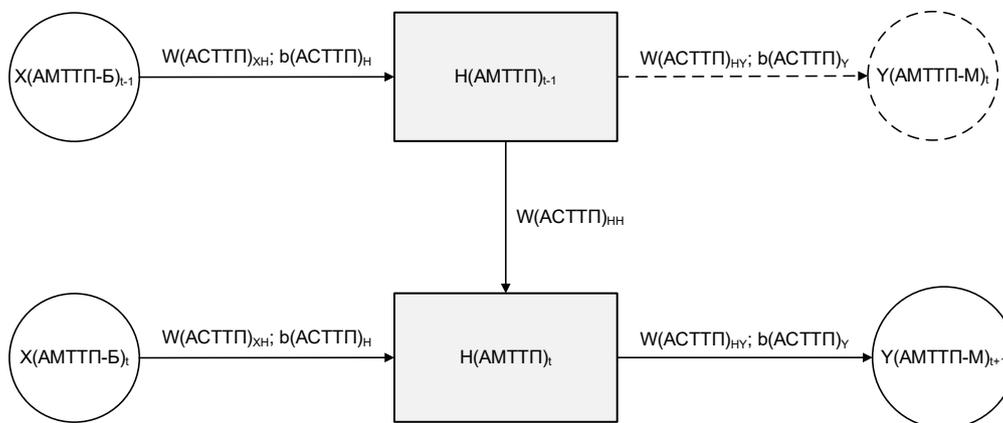


Рис. 3. Развитие архитектуры РНС с аксиоматной «петлей»

Семантика выполняемого процесса имеет вид:

$$H(AMTTP)_{t-1} = F \{ W(ACSTTP)_{XH} \times X(AMTTP-B)_{t-1} + b(ACSTTP)_H \}.$$

Так как АСТТП являются связанными технологическими процессами, то умножая их времена на веса $W(ACSTTP)_{HY}$ и учитывая смещение $b(ACSTTP)_Y$ выходного слоя, получаем существующее первое прогнозные значение $Y(AMTTP)_t$:

$$Y(AMTTP)_t = W(ACSTTP)_{HY} \cdot H(AMTTP)_{t-1} + b(ACSTTP)_Y.$$

Прогноз значений времен модели АМТТП сделан на текущий момент управления, результаты которого могут быть уже известны. Интерес вызывает прогноз значений времен АСТТП по будущим вариантам управления, согласно стратегии технологического развития или изменений местной работы станции.

Для этого одновременно используются временные значения АСТТП на текущий момент

$X(AMTTP-B)_t$ и значение скрытого слоя на предыдущем варианте управления $H(AMTTP)_{t-1}$ в виде:

$$H(AMTTP)_t = F \{ W(ACSTTP)_{XH} \cdot X(AMTTP-B)_t + W(ACSTTP)_{HH} \times H(AMTTP)_{t-1} + b(ACSTTP)_H \}.$$

Далее определяются прогнозные значения аксиомат модели $Y(AMTTP-M)_{t+1}$:

$$Y(AMTTP-M)_{t+1} = W(ACSTTP)_{HY} \times H(AMTTP)_t + b(ACSTTP)_Y.$$

В результате формируется два «экземпляра» аксиоматических архитектур РНС с петлей, позволяя «разворачивать технологический процесс» АСТТП и «обучать» ячейки сети (рис. 3).

Ограничения параметров РНС аксиоматного моделирования:

- 1) параметры $W(ACSTTP)_{XH}$, $b(ACSTTP)_H$, $W(ACSTTP)_{HH}$, $W(ACSTTP)_{HY}$, $b(ACSTTP)_Y$ постоянны для всех шагов — циклов расчета РНС АМТТП;
- 2) количество циклов расчета вариантов нейросетевого управления транспортной работой

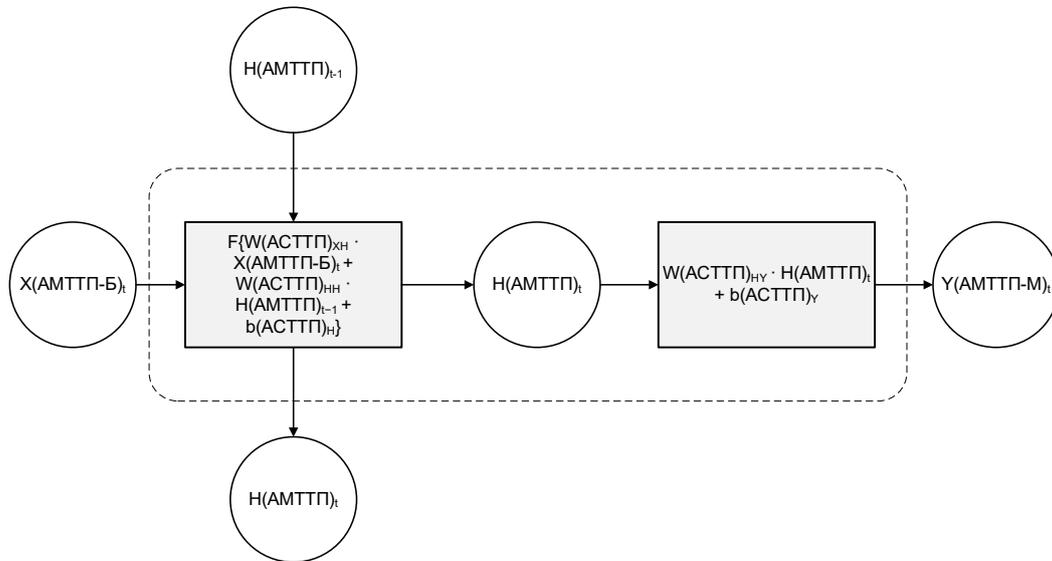


Рис. 4. Схема управления прогнозом РНС АМТПП

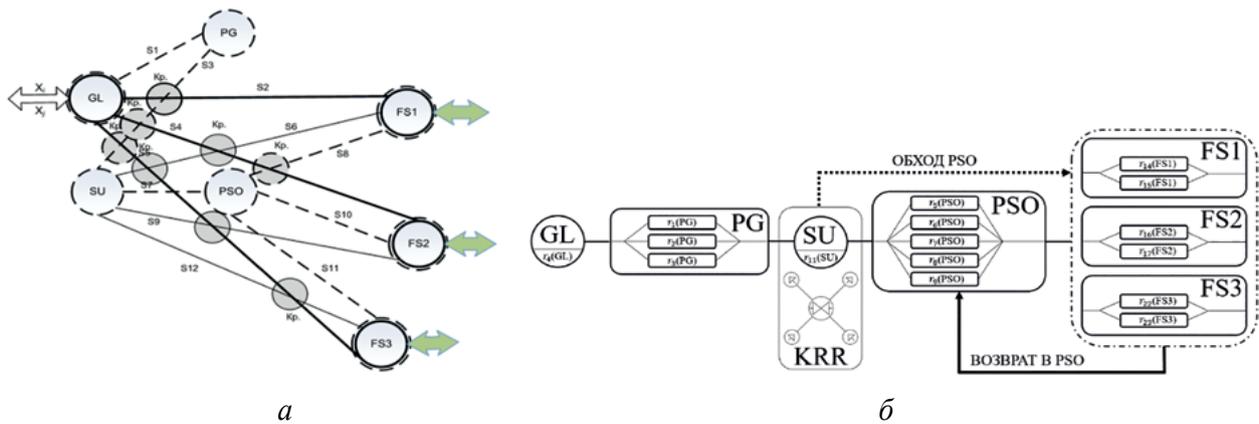


Рис. 5. Интерпретация схемы припортовой железнодорожной станции «Г»:
 а — модельная схема станции; б — аксиоматная схема станции с блоком транспортных конфликтов

станции может быть различным в зависимости от «длины» (количества технологических блоков) аксиоматы;

3) ячейка РНС вариантов аксиоматного управления может выдавать выходное значение $Y(AMTTP-M)_{t+1}$ или быть « \emptyset », в зависимости от того, используется ли конкретная АСТТП из набора вариантов аксиомат прогнозной модифицированной модели АМТПП-М или нет (рис. 4).

В зависимости от того, сколько входов $\forall(X)$ — аксиомат АМТПП-Б и выходов $\forall(Y)$ — аксиомат АМТПП-М «подключаются» в конкретном

прогнозировании варианта управления местной работой станции при одном разворачивании ячеек РНС во времени, возможны различные типы архитектуры РНС АМТПП:

1) «много в один» (*many-to-one*) — «МвО»: из множества аксиомат входа $X(AMTTP-B)$ выбирается одна наиболее рациональная аксиомата выхода $Y(AMTTP-M)$ для данного варианта управления;

2) «один во много» (*one-to-many*) — «ОвМ»: аксиомата входа $X(AMTTP-B)$ в прогнозируемом варианте управления разделяется на несколько аксиомат выхода $Y(AMTTP-M)$;

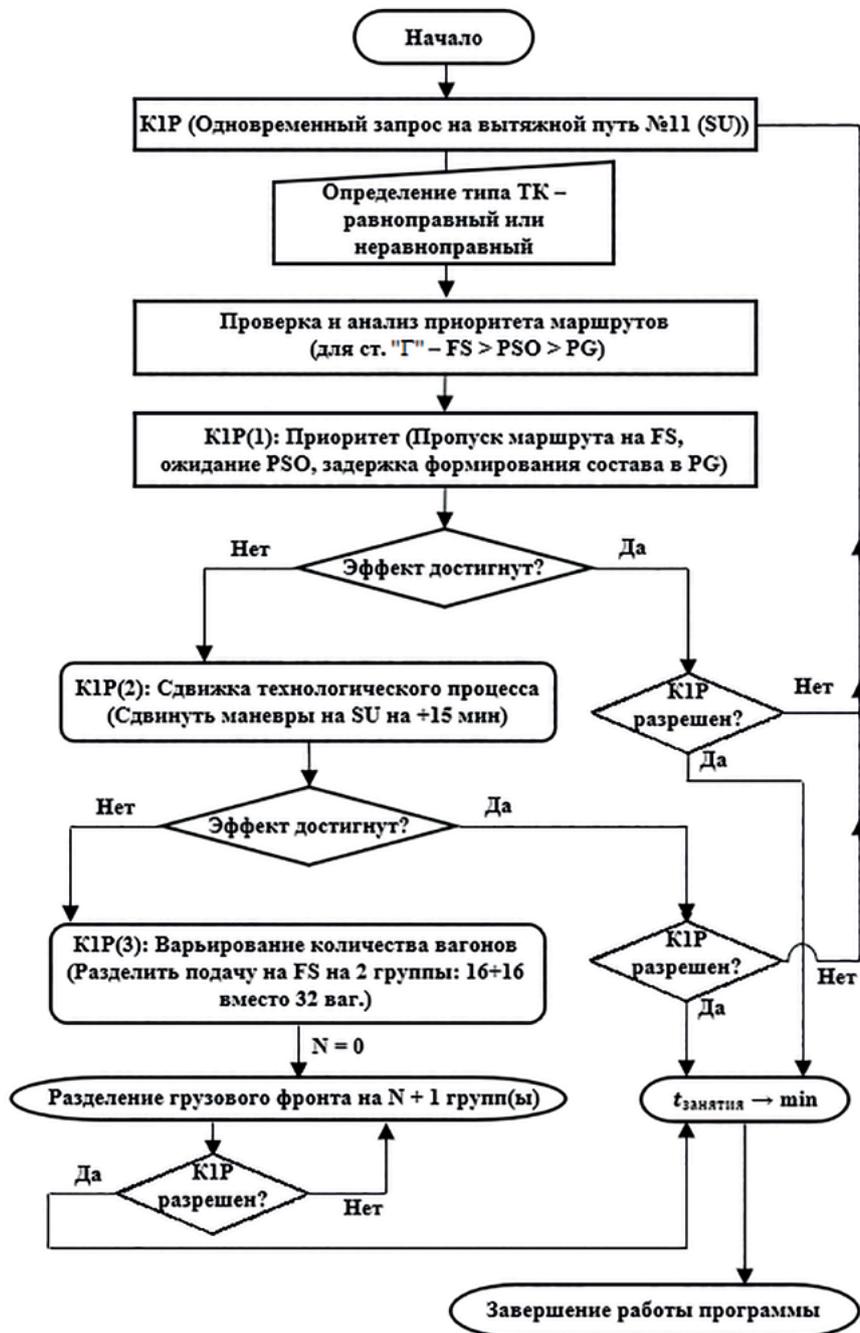


Рис. 6. Блок-схема решения К1Р по варианту транспортной работы припортовой станции «Г»

3) «много во много» (*many-to-many*) — «МвМ»: либо соответствие количества входов и выходов аксиомат $X(\text{АМТТП-Б}) = Y(\text{АМТТП-М})$, либо нет — $X(\text{АМТТП-Б}) \neq Y(\text{АМТТП-М})$.

Примечание: при моделировании АМТТП чаще всего используется архитектура «МвМ».

Моделирование управления транспортными конфликтами в местной работе станции

Важным моментом при выборе вариантов управленческих решений наборами АМТТП является моделирование наиболее проблемных случаев — транспортных конфликтов. Предлагается опреде-

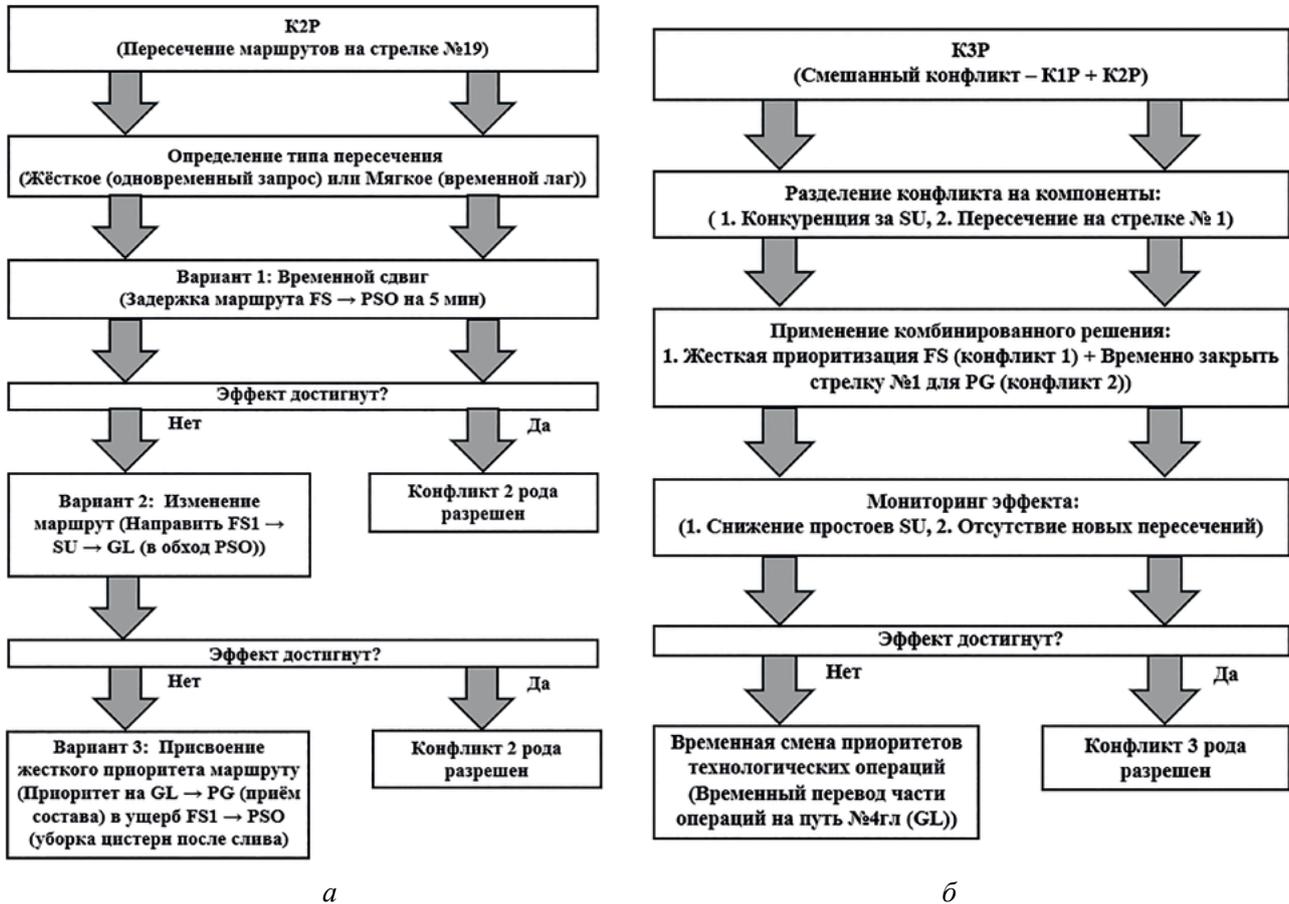


Рис. 7. Укрупненные блок-схемы решения транспортных конфликтов по вариантам управления местной работой станции «Г»: а — К2Р, б — К3Р

лять транспортные конфликты (К): К1Р — первого рода — состояния, при которых множеству транспортных средств (поездов, подач вагонов) в один и тот же момент времени требуется одна и та же АМТПП; К2Р — второго рода — состояния, при котором множество транспортных средств (поездов, подач вагонов) использует множество АМТПП, имеющих однотипные участки по маршруту движения и точки взаимного одноуровневого пересечения; К3Р — третьего рода — состояния, представляющие собой смешанный конфликт К1Р и К2Р [15, 16].

В качестве примера рассмотрим методологический подход к управлению транспортными конфликтами припортовой железнодорожной станции «Г», варианты интерпретаций схемы которой представлены на рис. 5. Инфраструктурные элементы станции «Г» включают в себя:

однопутный подход главного пути (GL); грузовой парк (PG); сортировочно-отправочный парк (PSO); вытяжной путь (SU); три грузовых фронта необщего пользования (FS); узлы пересечений маршрутов — транспортные конфликты (KRR).

При управлении местной работой станции используются аксиоматы:

$$\{GL \leftrightarrow FS \leftrightarrow PSO\}, \{GL \leftrightarrow PG \leftrightarrow SU \leftrightarrow PSO \leftrightarrow FS1/FS2/FS3 \leftrightarrow PSO\}, \{GL \leftrightarrow PG \leftrightarrow SU \leftrightarrow FS1/FS2/FS3 \leftrightarrow PSO\}.$$

Аналитический расчет одноуровневых конфликтных пересечений выполняется согласно Инструкции по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог [19]. Для идентификации транспортных конфликтов схемы станции согласно методам теории вероятностей и ТНМ были разработаны алгоритмы и специ-

ализированная программа *Axiomatic v.1.0* на языке программирования *Python* [20]. Алгоритмы работы программы предусматривают интерактивное взаимодействие с пользователем через консольный интерфейс, что позволяет оперативно адаптировать аналитические расчеты временных параметров к изменяющимся условиям транспортной работы. На рис. 6, 7 приведены блок-схемы примеров решения К1Р–К3Р по вариантам транспортной работы станции «Г».

Программный комплекс выполняет комплексный анализ оперативной обстановки на станции, запрашивая у пользователя актуальные данные о расположении подвижного состава и нормах выполнения транспортной работы. На основе введенных параметров (количество вагонов в парках и на путях) система: формирует рациональный вариант выполнения технологических операций; сравнивает текущую ситуацию с эталонным («идеальным») вариантом исполнения транспортной работы — аксиомат; проводит детектирование потенциальных конфликтных ситуаций.

Проведенное исследование показало, что наиболее распространенным для станции оказался К1Р, проявляющийся в конкуренции транспортной операцией на вытяжном пути. К2Р, связанный с пересечением поездных и маневровых маршрутов, увеличивает время обработки местного вагона на 15–20%. К3Р проявляется сравнительно редко и связан с несоответствием длины маршрутов вместимости путей приема-отправления.

Выводы и перспективы развития

Таким образом, возможно и целесообразно развитие интеллектуализации и цифровизации управления транспортной работой железнодорожных припортовых станций на основе усовершенствованной аксиоматики транспортно-технологических процессов и нейросетевых моделей для прогнозирования очередности обслуживания грузовых фронтов и решения транспортных конфликтов.

Дальнейшее развитие программного модуля *Axiomatic* связано с добавлением новых функций анализа местной работы, ее планирования и оптимизации с формированием базы больших данных временных и инфраструктурных параметров и их оценки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00869 (<https://rscf.ru/project/24-29-00869/>).

Список источников

1. Transport of Russia: All-Russian transport weekly information and analytical newspaper. URL: <http://www.transportrussia.ru> (дата обращения: 22.05.2025).
2. Северо-Кавказская железная дорога. URL: <http://skzdservice.ru/page/4> (дата обращения: 22.05.2025).
3. Солодкий А. И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап / А. И. Солодкий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2020. — № 6. — С. 10–19. — DOI: 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
4. Селиверстов С. А. Аксиоматические методы организации транспортно-логистической инфраструктуры / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах: Сборник трудов, Санкт-Петербург, 23–25 сентября 2015 г. — СПб.: ПГУПС, 2016. — С. 67–77.
5. Мамаев Э. А. Математическая модель организации эксплуатационной работы в задачах повышения пропускной способности железнодорожного участка / Э. А. Мамаев, Е. А. Чеботарева // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2025. — Т. 22. — № 1. — С. 60–74. — DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-60-74.
6. Мировой опыт применения системных решений в области ИТС. URL: <https://dr.rosavtodor.gov.ru/department/deyatelnost-dr/intellektualnye-transportnye-sistemy/mirovoj-opyt-vnedreniya-i-razvitiya-its> (дата обращения: 19.07.2025).
7. Осокин О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транс-

порте: специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок»: дис. ... д-ра техн. наук / О. В. Осокин. — Екатеринбург, 2014. — 355 с.

8. Покровская О. Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций / О. Д. Покровская // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — № 1. — С. 80–94. — DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94.

9. Рахмангулов А. Н. Имитационные модели в цифровых двойниках железнодорожных узлов / А. Н. Рахмангулов и др. // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2022. — № 3. — С. 43–59.

10. Chislov O. Fuzzy modelling of the transportation logistics processes / O. Chislov, N. Lyabakh, M. Kolesnikov, M. Bakalov et al. // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2131. — Iss. 032007. — DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032007.

11. Положишников В. Б. О применении искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте / В. Б. Положишников, В. А. Акманов, С. Н. Томащенко, Т. В. Шипунов // Железнодорожный транспорт. — 2019. — № 3. — С. 33–36.

12. Колесников В. И. Интеллектуализация транспортных процессов на основе гибридных технологий и мультиагентных систем / В. И. Колесников, С. М. Ковалев, В. Н. Иванченко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2012. — № 1(45). — С. 107–113.

13. Лецкий Э. К. Цифровые сервисы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении грузовыми перевозками на железнодорожном транспорте / Э. К. Лецкий, А. В. Семин // Транспорт: наука, техника, управление. — 2019. — № 9. — С. 17–20.

14. Ефанов Д. В. Технологии цифрового моделирования в железнодорожной отрасли / Д. В. Ефанов, А. С. Шиленко // Автоматика, связь, информатика. — 2020. — № 2. — С. 34–38. — DOI 10.34649/AT.2020.2.2.007.

15. Числов О. Н. Методы цифровизации и интеллектуализации параметров логистического взаимодействия

в системе «ж.-д. станция — порт» в условиях мультиагентности транспортно-технологических процессов: монография / О. Н. Числов, М. В. Колесников, В. М. Задорожний, М. В. Бакалов и др.; ФГБОУ ВО РГУПС; АНО ВО НТУ «Сириус». — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. — 396 с.

16. Луганченко Н. М. Принципы интеллектуализации в методах моделирования железнодорожных транспортно-логистических процессов / Н. М. Луганченко, О. Н. Числов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. — С. 239–246. — DOI: 10.30932/9785002446094-2024-239-246.

17. Karpathy A. The Unreasonable Effectiveness of Recurrent Neural Networks / A. Karpathy. URL: <https://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness> (дата обращения: 12.08.2025).

18. Макаров Д. Рекуррентная нейронная сеть / Д. Макаров / URL: <https://www.dmitrymakarov.ru/learning/rnn> (дата обращения: 12.08.2025).

19. Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД»: Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2022 г. № 545/р. — 364 с.

20. Свид. 2022681955 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Axiomatic v. 1 — программа расчета параметров транспортных процессов / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, Д. С. Безусов и др. — № 2022681124; заявл. 07.11.2022; опубл. 17.11.2022. DOI: 10.21307/tp-2021-031.

Дата поступления: 17.07.2025

Решение о публикации: 21.08.2025

Контактная информация:

ЧИСЛОВ Олег Николаевич — д-р техн. наук, проф.;
o_chislov@mail.ru

ЛУГАНЧЕНКО Никита Максимович — аспирант;
luganchenko.n@yandex.ru

БЕЗУСОВ Данил Сергеевич — канд. техн. наук, доц.;
iren306@yandex.ru

Actual Directions for the Development of Management Principles for the Transport Operations at Port Freight Stations

O. N. Chislov, N. M. Luganenko, D. S. Bezusov

Rostov State Transport University, 2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation

For citation: Chislov O. N., Luganenko N. M., Bezusov D. S. Actual Directions for the Development of Management Principles for the Transport Operations at Port Freight Stations // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 3, pp. 685–697. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-685-697

Summary

Purpose: To develop guidelines for the management of transport operations at port freight stations, based on intelligent algorithms and the application of axiomatic design to technological processes, as well as the processing of arrays of time parameter data. **Methods:** Following a thorough analysis of the scientific papers relevant to these studies, intelligent algorithms and the author's models of digital axiomatics of transport processes at port stations were utilised in the selection of local operation options. **Results:** The article sets out principles for creating algorithms to manage transport operations at port freight stations. These principles are based on the author's axiomatics of technological processes and selection of effective solutions for resolving transport conflicts in the context of multiple service options. The article also discusses the evaluation and selection of rational options using intelligent methods. A study was conducted into the potential for adapting intelligent control algorithms to transport operations at port freight stations, with a view to selecting effective technological parameters for local operations. **Practical significance:** The author presents their approach to creating control algorithm flowcharts using the example of a station's transport and technological scheme. This takes into account various service options, potential transport conflicts, and time delays.

Keywords: Port freight station, transport operation parameters, axiomatics, neural network, control algorithm flowcharts, intellectualization, analytical modelling, transport conflict model schemes.

References

1. Transport of Russia: All-Russian transport weekly information and analytical newspaper. Available at: <http://www.transportrussia.ru> (accessed: May 22, 2025).
2. *Severo-Kavkazskaya zheleznaya doroga* [North Caucasian Railway]. Available at: <http://skzdservice.ru/page/4> (accessed: May 22, 2025). (In Russian)
3. Solodkiy A. I. Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Novyy etap [Development of intelligent transport systems in Russia: problems and solutions. New stage]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. 2020, Iss. 6, pp. 10–19. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-6-10. (In Russian)
4. Seliverstov S. A., Seliverstov Ya. A. Aksiomaticheskie metody organizatsii transportno-logisticheskoy infrastruktury [Axiomatic methods of organizing transport and logistics infrastructure]. *Razvitie infrastruktury i logisticheskikh tekhnologiy v transportnykh sistemakh: Sbornik trudov* [Development of infrastructure and logistics technologies in transport systems: Collection of works]. Saint Petersburg, 2016, pp. 67–77. (In Russian)
5. Mamaev E. A., Chebotareva E. A. Matematicheskaya model' organizatsii ekspluatatsionnoy raboty v zadachakh povysheniya propusknoy sposobnosti zheleznodorozhnogo uchastka [Mathematical model of organizing operational work in tasks of increasing the capacity of a railway section]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheni-*

- ya [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2025, vol. 22, Iss. 1, pp. 60–74. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-60-74. (In Russian)
6. Mirovoy opyt primeneniya sistemnykh resheniy v oblasti ITS [World experience in applying system solutions in the field of ITS]. URL: <https://dr.rosavtodor.gov.ru/department/deyatelnost-dr/intellektualnye-transportnye-sistemy/mirovoy-opyt-vnedreniya-i-razvitiya-its> (accessed: July 19, 2025). (In Russian)
7. Osokin O. V. *Intellektual'noe soprovozhdenie proizvodstvennykh protsessov na zheleznodorozhnom transporte: spetsial'nost' 05.22.08 "Upravlenie protses-sami perezovozok": dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Intellectual support of production processes in railway transport: specialty 05.22.08 "Transportation process management": Dr. tech. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2014, 355 p. (In Russian)
8. Pokrovskaya O. D. Logisticheskie transportnye sistemy Rossii v usloviyakh novykh sanktsiy [Logistic transport systems of Russia under new sanctions]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of Research Results]. 2022, Iss. 1, pp. 80–94. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-1-80-94. (In Russian)
9. Rakhmangulov A. N. et al. Imitatsionnye modeli v tsifrovyykh dvoynikakh zheleznodorozhnykh uzlov [Simulation models in digital twins of railway nodes]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Ural State University of Railway Transport]. 2022, Iss. 3, pp. 43–59. (In Russian)
10. Chislov O., Lyabakh N., Kolesnikov M., Bakalov M. et al. Fuzzy modelling of the transportation logistics processes. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 2131, Iss. 032007. DOI: 10.1088/1742-6596/2131/3/032007.
11. Polozhishnikov V. B., Akmanov V. A., Tomashchenko S. N., Shipunov T. V. O primeneniі iskusstvennykh neyronnykh setey na zheleznodorozhnom transporte [On the application of artificial neural networks in railway transport]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. 2019, Iss. 3, pp. 33–36. (In Russian)
12. Kolesnikov V. I., Kovalev S. M., Ivanchenko V. N. Intellektualizatsiya transportnykh protsessov na osnove gibridnykh tekhnologiy i mul'tiagentnykh sistem [Intellectualization of transport processes based on hybrid technologies and multi-agent systems]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering]. 2012, Iss. 1(45), pp. 107–113. (In Russian)
13. Letskiy E. K., Semin A. V. Tsifrovye servisy intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii gruzovymi perezovozkami na zheleznodorozhnom transporte [Digital services for intellectual support of decision-making in cargo transportation management on railway transport]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management]. 2019, Iss. 9, pp. 17–20. (In Russian)
14. Efanov D. V., Shilenko A. S. Tekhnologii tsifrovogo modelirovaniya v zheleznodorozhnoy otrasli [Digital modeling technologies in the railway industry]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics]. 2020, Iss. 2, pp. 34–38. DOI: 10.34649/AT.2020.2.2.007. (In Russian)
15. Chislov O. N., Kolesnikov M. V., Zadorozhniy V. M., Bakalov M. V. et al. *Metody tsifrovizatsii i intellektualizatsii parametrov logisticheskogo vzaimodeystviya v sisteme "zh.-d. stantsiya — port" v usloviyakh mul'tiagentnosti transportno-tekhnologicheskikh protsessov* [Methods of digitalization and intellectualization of logistics interaction parameters in the "railway station — port" system under multi-agent transport-technological processes]. Rostov-on-Don: RGUPS Publ., 2022, 396 p. (In Russian)
16. Luganchenko N. M., Chislov O. N. Printsipy intellektualizatsii v metodakh modelirovaniya zheleznodorozhnykh transportno-logisticheskikh protsessov [Principles of intellectualization in methods of modeling railway transport and logistics processes]. *Intellektual'nye transportnye sistemy: materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Intelligent transport systems: materials of the III International scientific and practical conference, Moscow, May 30, 2024]. Moscow: Rossiyskiy universitet transporta (MIIT) Publ., 2024, pp. 239–246. DOI: 10.30932/9785002446094-2024-239-246. (In Russian)

17. Karpathy A. The Unreasonable Effectiveness of Recurrent Neural Networks. Available at: <https://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness> (accessed: August 12, 2025).

18. Makarov D. *Rekurrentnaya neyronnaya set'* [Recurrent neural network]. Available at: (accessed: August 12, 2025). (In Russian)

19. *Instruktsiya po raschetu propusknoy i provoznoy sposobnostey zheleznykh dorog OAO "RZhD": Utv. rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 04.03.2022 g. № 545/r* [Instructions for calculating the throughput and carrying capacity of the railways of JSC Russian Railways: Approved. by order of JSC Russian Railways dated 04.03.2022 № 545/r]. (In Russian)

20. Chislov O. N., Luganchenko N. M., Bezusov D. S. et al. *Axiomatic v. 1 — programma rascheta parametrov*

transportnykh protsessov [Axiomatic v. 1 — transport process parameter calculation program]. Svidetel'stvo RF, no. 2022681955, 2022. (In Russian)

Received: July 17, 2025

Accepted: August 21, 2025

Author's information:

Oleg N. CHISLOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; o_chislov@mail.ru

Nikita M. LUGANCHENKO — Postgraduate Student; luganchenko.n@yandex.ru

Danil S. BEZUSOV — PhD in Engineering, Associate Professor; iren306@yandex.ru