

# К вопросу построения интеллектуальной подсистемы анализа и прогнозирования работы сортировочного узла<sup>1</sup>

В.Н. Гридин, В.В. Доенин, В.И. Солодовников, В.С. Панищев, М.И. Труфанов

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы непрерывного мониторинга обстановки на сортировочной станции и прогнозирования возможности возникновения критических ситуаций. Предлагается подход к построению автоматизированной интеллектуальной подсистемы анализа и своевременного прогнозирования критической загруженности железнодорожных сортировочных узлов. Предложено решение задачи прогнозирования за счет использования информации от автоматизированных систем сбора данных и нейросетевой подсистемы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, прогнозирование критических ситуаций, имитационное моделирование, сортировочный узел, нейронная сеть.

## Введение

Актуальные задачи мониторинга и перспективы развития железнодорожного транспорта требуют использования современных методов теории транспортных систем, а также создания новых инструментальных средств и систем автоматизированного проектирования с использованием средств и методов информатики и вычислительной техники. В частности, решение задачи непрерывного мониторинга обстановки на сортировочной станции, своевременного оповещения о возможных коллизиях и повышения эффективности погрузочно-разгрузочных операций является актуальной, поскольку данные мониторинга могут использоваться для прогнозирования и заблаговременного оповещения о возможности возникновения критической ситуации, своевременного регулирования транспортных потоков и оптимизации параметров грузо-перевозочного процесса.

Основные задачи в области логистики на сортировочной станции, для решения которых используется имитационное моделирование, заключаются в повышении пропускной способности путей, поиске перспективных решений, которые обеспечат рациональное использование ресурсов, обеспечивая при этом минимальный уровень издержек, снижении вероятности аварийных ситуаций на путях и станциях, оценке общей загрузки сортировочного узла.

Целью исследования является разработка автоматизированной интеллектуальной подсистемы анализа и своевременного прогнозирования критической загруженности железнодорожных сортировочных узлов. В качестве исходных данных используется информация об обстановке на путях и горках сортировочной станции на основе данных визуального автоматического наблюдения и данных, полученных от датчиков и систем сортировочной станции.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 17-20-01133 офи\_м\_РЖД.

## 1. Современные подходы и средства построения разработки имитационных моделей железнодорожных станций

Для решения подобных задач широко используются проблемно-ориентированные имитационные модели, разработанные, как правило, в среде систем имитационного моделирования [1-4]. При разработке имитационных моделей реальные транспортные системы представляются в виде систем массового обслуживания. Трудоемкость решения задачи управления заключается в том, что распределение ресурсов между множественными компонентами транспортной системы осуществляется в условиях меняющихся приоритетов и интенсивного взаимодействия процессов, что крайне сложно сформулировать в виде набора формализованных правил и совокупностей действий, а значит и сложно или в некоторых случаях нереализуемо построить адекватную реальной ситуации математическую модель. В связи с этим решение такого рода задач осуществляется на основе построения имитационной модели, учитывающей вероятностные характеристики происходящих на сортировочной станции процессов.

Среди современных программных комплексов имитационного моделирования можно выделить следующие распространенные пакеты: «Process Charter», «Powersim», «iThink», «Extend+BPR», «ReThink», «Pilgrim», Simulink, ExtendSim, GoldSim, SeSAm (Shell for Simulated Agent Systems – оболочка для многоагентного имитационного моделирования). Однако данные комплексы не позволяют разработать имитационную модель, в полной мере отражающую все особенности работы сортировочного узла.

Так, в работах [5-6] авторами рассмотрены вопросы автоматизации процесса разработки комплекса имитационных моделей железнодорожной сети. Процесс переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции реализуется последовательностью следующих операций: прием поездов, их подготовка к расформированию, расформирование, накопление составов новых назначений, их формирование, подготовка к отправлению и отправление. Оценка качества организации ра-

боты сортировочной станции предлагается реализовать следующими величинами, полученными в результате имитационных экспериментов с моделью: время/стоимость формирования состава в пункте отправления груза; время/стоимость расформирования/формирования сборного состава; время/стоимость расформирования состава в пункте назначения груза; время/стоимость обслуживания на сортировочной станции сквозного состава; число отправленных вагонов в единицу времени, число принятых вагонов в единицу времени, вагонооборот в единицу времени; коэффициенты использования ресурсов различных типов.

В [7] рассмотрена система автоматизированного построения имитационных моделей «Истра», предназначенная для оценки структуры существующей станции, разработки рациональных вариантов структуры и технологии работы станции, оценки соответствия существующего или проектируемого варианта станции ее техническим ресурсам, имеющимся или планируемым вагонопотокам.

Ряд разработчиков при построении имитационных моделей железнодорожных систем использует программную систему Anylogic, позволяющую построить логическую структуру и блок-схемы с применением встроенных библиотечных решений системы моделирования AnyLogic, библиотек «Основная библиотека» (EnterpriseLibrary) и «Железнодорожная библиотека» (Rail-YardLibrary) [8].

Для решения частных задач моделирования небольших узлов и станций, а также их подсистем многие исследователи разрабатывают собственные программные продукты [9, 10], например в [11] рассмотрено множество программ для имитационного моделирования работы транспортных объектов и систем (имитационные модели горочных комплексов, технологических линий железнодорожных станций и т.п.: «СПУСК-2», «Сортировка-ГС» и т.д.).

Построение имитационной модели сортировочного узла позволяет проводить системное исследование и оценку проектно-технологических решений для существующих и для проектируемых узлов, дает возможность отслеживать динамику движения ресурсов, ее эффективность, выявлять «узкие места», анализировать особенности

процессов функционирования станции в различных условиях (и при критических нагрузках), моделируя действия «что, если...», в том числе на основе элементов нечеткой логики и математического аппарата нейронных сетей.

Проведенный анализ показал, что существующие рассмотренные выше имитационные модели требуют предварительной настройки, ручного ввода данных и значительных затрат времени. Создание эффективной имитационной модели сортировочного узла станции требует адекватного описания специфики технологических процессов работы всех подсистем и элементов и их системного взаимодействия средствами используемой системы имитационного моделирования. В процессе моделирования используются уравнения динамики изменения количества вагонов для путей сортировочного парка, известные величины групп вагонов на путях, заранее заданные пропускные способности линий для расчетной пространственно-временной сети и т.п., однако в режиме реального времени эта информация не всегда доступна и соответственно не позволяет строить прогнозы загрузки узла.

## **2. Разработка интеллектуальной подсистемы анализа и прогнозирования работы сортировочного узла**

Для построения модели, максимально приближенной к работающей сортировочной станции, предлагается в качестве входных данных использовать информацию, получаемую от автоматизированной системы управления сортировочной станцией, которая дает точные данные о месте нахождения вагонов, очередности формирования составов, а также от системы технического зрения, которая автоматически считывает номера, количество прибывающих вагонов, формирует ответ о типе грузов и типе вагонов.

Известны работы, направленные на разработку математической модели извлечения данных о грузопассажирских перевозках посредством анализа поступающих с распределенных территориально источников изображений. Такая модель позволяет описать, моделировать процессы анализа и распознавания изображе-

ний с целью измерения характеристик и классификации объектов при поступлении видеоданных от множественных источников. Также разработаны алгоритмы обработки изображений, ориентированные на выполнение в программируемых логических интегральных схемах и специализированных процессорах обработки изображений в условиях ограниченных вычислительных ресурсов [12].

Таким образом, имитационное моделирование работы сортировочной станции, с одной стороны, может быть использовано для оптимизации процессов функционирования с учетом выбранных целевых показателей, а с другой - для отработки различных нештатных сценариев и режимов критической загрузки.

Однако применение данного подхода для прогнозирования критической загрузки железнодорожного сортировочного узла в режиме реального времени не всегда удобно, особенно, если это необходимо осуществлять в рамках глобальной системы регулирования транспортных потоков. В связи с этим возникает необходимость построения автоматизированной подсистемы мониторинга значений параметров, характеризующих текущую загрузку и режим функционирования сортировочного узла, а также прогнозирования и заблаговременного оповещения о возможности возникновения критической ситуации, в том числе, с учетом планируемого поступления грузовых составов.

В качестве источника получения визуальных данных о текущем расположении подвижного состава и грузов планируется использовать сетевые (IP) видеокамеры, размещенные в ключевых узлах сортировочной станции и объединенные в единую сеть. Для объединения данных от различных видеокамер используются специально разработанные алгоритмы формирования единого рабочего пространства, включающие алгоритмы калибровки и вычисления позиций каждого вагона в трехмерном пространстве на основе анализа их перемещения по железнодорожным путям при наблюдении с различных IP видеокамер. Сформированная единая рабочая сцена, содержащая наблюдаемые с различных источников визуальных данных объекты подвижного состава,

грузы и т.д. Далее для каждого объекта вычисляется его местоположение в трехмерном пространстве с привязкой к некоторым, заранее заданным реперным стационарным объектам на сортировочной станции. При возможности, производится на основе априорных табличных данных оценка массы вагона, груза на платформе и иных характеристик.

Полученные данные передаются в автоматизированную интеллектуальную подсистему анализа и прогнозирования загруженности сортировочной станции, которая имея на входе задание на формирование того или иного состава, выдает на своем выходе рекомендации по перемещению вагонов для формирования целевого состава с учетом выбранного критерия оптимальности.

В общем случае структура потоков движения транспортного состава на сортировочной станции представляется в виде графа  $G$  [5, 13].

На пропускную способность станций существенно влияет перерабатывающая способность сортировочных горок, т.е. способность производить обработку наиболее вероятного числа поездов (вагонов) за сутки при оптимальном использовании путевого развития и технического оснащения. На перерабатывающую способность сортировочной горки, кроме технических и технологических факторов, оказывают влияние параметры состава, подлежащего расформированию, в частности вес вагонов, характеристики груза, число отцепов в составе, число замыкающих групп и т.д. Не менее важен учет погодных условий, которые могут оказать существенное влияние на работу станции.

Движение вагонов после расцепки на сортировочной горке реализуется в соответствии со следующими характеристикам [5, 13]:

– матрица пропускной способности  $C = [c_{ij}]$ , где  $c_{ij}$  – пропускные способности ветвей графа  $G$ , соответствующих путям соединяющим узел  $i$  с узлом  $j$ ;

– матрица расстояний между узлами вершинами графа  $G$   $L = [l_{ij}]$ ;

– стоимостная матрица  $Q = [q_{ij}]$ , где  $q_{ij}$  определяет стоимость единицы пути движения сцепки вагонов по ветви  $ij$ ;

– входная матрица назначений в  $Z_i = [z_{kl}(t)]$ , элементы которой соответствуют плану формирования поездов (количество вагонов, поступающих на входной узел в момент времени  $t$ ).

Минимизация затрат на формирование состава обеспечивается минимизацией функционала

$$P = \sum \sum P_{ij} = \sum \sum (k_1 \cdot l_{ij} + k_2 \cdot q_{ij} + k_3 \cdot t_{cp}),$$

где  $k_i$  – весовые коэффициенты, определяющие влияние расстояния, времени, стоимости движения по ветвям,  $t_{cp}$  – среднее значение времени, затраченное составами на формирование-расформирование в узле.

При этом с одной стороны, необходимо создать максимальный поток между узлами, а с другой стороны – обеспечить минимум затрат. Поиск соотношений величин реализуется с использованием подходов [13-16].

Процесс формирования и расформирования составов описывается с помощью распределения вероятностей. Функции распределения для каждого  $i$ -ого узла сети задаются матрицей  $H_i = [h_{kl}(t)]$ , где каждый элемент матрицы есть функция распределения времени на формирование-расформирование в  $i$ -ом узле для состава, пришедшего с узла  $k$  и следующего в узел  $l$ . В разрабатываемой системе эти функции рассчитываются на основе статистического анализа и методов нейросетевой обработки информации [17].

Матрица пропускной способности  $C = [c_{ij}]$  заполняется на основе статистического подхода, анализируя пропускную способность на основе данных за несколько лет с учетом параметров состава и погодных условий, для чего необходима прогностическая нейронная сеть.

Матрица расстояний  $L = [l_{ij}]$  является заранее известной величиной и определяется существующей структурой расположения путей и стрелок на сортировочной горке.

Стоимостная матрица  $Q = [q_{ij}]$  строится на основе информации о задержках на станции локомотивов и локомотивных бригад в режиме реального времени на основе сообщений от си-

системы автоматизированного сбора информации; также предлагается осуществлять прогнозирование на основе статистического подхода, учитывающего данные о пропускной способности за несколько лет. Для этого необходима нейронная сеть.

Входная матрица назначений в  $Z_i = [z_{kl}(t)]$  известна и определяется планом работы сортировочной горки.

Обобщенный алгоритм функционирования системы прогнозирования представлен на Рис. 1.

В отличие от существующих систем в качестве математического аппарата автоматизированной интеллектуальной подсистемы анализа загруженности сортировочной станции предлагается совместное использование методов логического вывода, основным представителем которых являются методы нечеткой логики и деревья решений, а также нейросетевые методы обработки информации, что обусловлено необходимостью обработки значительного количества параметров, которые способны повлиять на пропускную способность железнодорожного сортировочного узла, а также свойством нейронных сетей, позволяющим моделировать нелинейные процессы, работать с зашумленными данными, адаптироваться к условиям функционирования, обобщать и извлекать существенные особенности из поступающей информации. Ключевую роль также играет возможность автоматизации процесса принятия решений и прогнозирования.

Использование нейросетевого подхода подразумевает необходимость выполнения следующих основных этапов [17]:

1. предварительная обработка данных, выявление характерных особенностей, наиболее значимых признаков и их сочетаний;

2. подготовка исходных данных, заключающаяся в их кодировании и нормировке для увеличения информативности примеров и приведения к виду, который доступен для обработки сетью;

3. выбор нейросетевой архитектуры (парадигмы) и ее ключевых параметров, таких как количество слоев и число нейронов в каждом слое;

4. обучение, в процессе которого нейросеть осуществляет построение правил, характеризующих имеющиеся закономерности в данных;

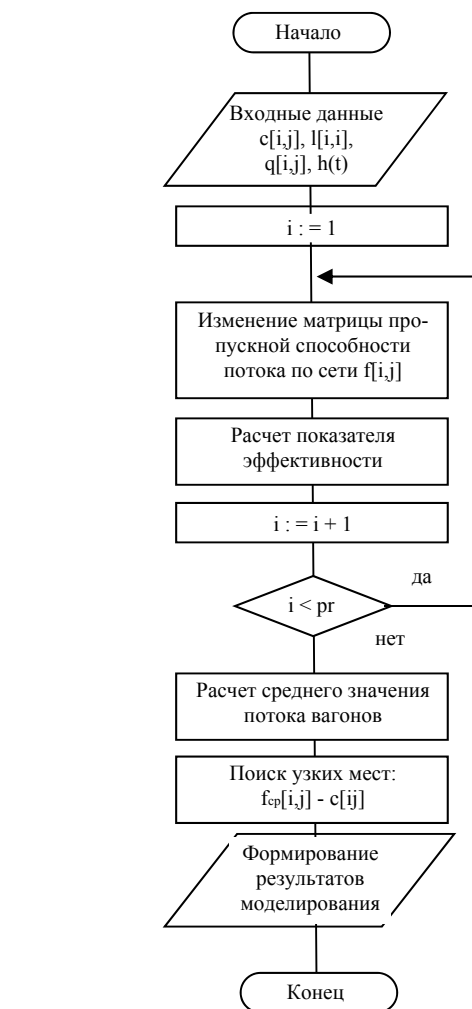


Рис. 1 Обобщенный алгоритм функционирования системы прогнозирования

5. использование в качестве эксперта обученной нейросети, на вход которой подаются новые, еще не предъявлявшиеся вектора входных параметров, а на выходе получают необходимые данные;

6. интерпретации полученного результата.

На первом этапе осуществляется анализ всех возможных признаков технического и технологического характера, параметров, характеризующих текущую загруженность, в частности, число свободных/занятых путей и количество вагонов в сортировочном парке, число составов, ожидающих роспуск и планируемых к поступлению, вес вагонов, характеристики и наличие опасных грузов, количество отцепов в составе, число замыкающих групп и т.д. Дополнительно можно учитывать влияние погод-

ных условий, температуру воздуха, скорость и направление ветра, наличие осадков.

На втором этапе происходит кодирование и нормировка исходных данных. Это могут быть числа в произвольном диапазоне, даты, символьные строки, категоризованные данные и т.д. Дополнительной целью предобработки данных является увеличение информативности примеров для повышения скорости и эффективности обучения. Чем больше бит информации принесет каждый пример, тем лучше используются имеющиеся данные. Среднее количество информации, приносимой каждым примером  $x$ , равно энтропии распределения значений этой компоненты  $H(x)$ . Если эти значения сосредоточены в относительно небольшой области единичного интервала, информационное содержание такой компоненты мало и когда все значения переменной совпадают, эта переменная не несет никакой информации. Напротив, если значения переменной  $x$  равномерно распределены в единичном интервале, информация такой переменной максимальна. Таким образом, общий принцип предобработки данных для нейросетевого анализа состоит в таком кодировании и нормировке непротиворечивых данных, которые позволяют добиться максимизации энтропии входов и выходов.

Последующие два этапа неразрывно связаны и заключаются в выборе нейросетевой парадигмы, ее ключевых параметров и подстройке весовых коэффициентов. Для решения поставленной задачи можно воспользоваться сетью прямого распространения, а именно, многослойным персептроном, структура которого показана на Рис. 2.

В качестве входных величин нейросети выступают матрицы, представленные выше и преобразованные в столбец входных параметров.

В узлах сети расположены нейроны, каждый из которых последовательно осуществляет следующий набор вычислений. Сначала вычисляется взвешенная сумма  $V$  входных величин  $x_i$  [18]

$$V = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i + w_0$$

Здесь  $N$  - размерность пространства входных сигналов,  $w_i$  - синаптические коэффициенты или веса,  $w_0$  - смещение. Затем вступает в дей-

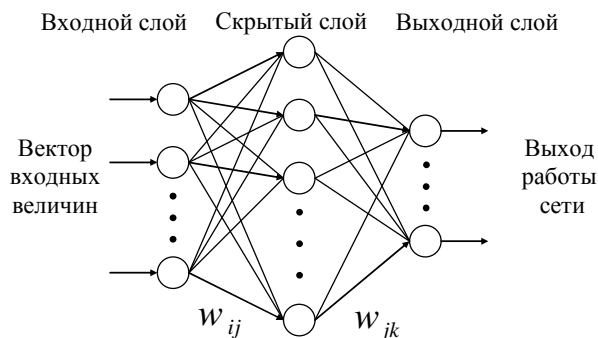


Рис. 2 Структура персептрона с двумя слоями нейронов

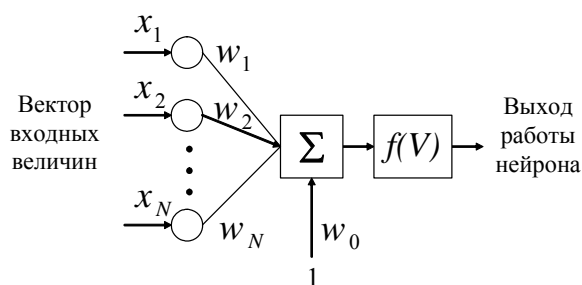


Рис. 3 Структурная схема нейрона, используемого при построении системы интеллектуального анализа загруженности сортировного узла

ствие функция активации  $f$ . Одной из наиболее часто используемых функций активации является логистическая функция или сигмоида, которая имеет вид:

$$f(V) = \frac{1}{1 + \exp(-b \cdot V)}$$

где коэффициент  $b$  определяет крутизну сигмоиды. Схематично структура нейрона представлена на Рис. 3.

Применив приведенные формулы ко всем нейронам сети, получим результирующую формулу работы всей сети в целом.

$$y_k(x_1, \dots, x_N) = f\left(\sum_{j=0}^m w_{jk} \cdot f\left(\sum_{i=0}^n w_{ij} \cdot x_i\right)\right),$$

где  $y_k$  - значение  $k$ -ого нейрона выходного слоя [19].

Одной из основных проблем при использовании нейросетевого подхода является выбор оптимальной топологии сети, значений параметров и структурных особенностей, которые бы наилучшим образом удовлетворяли решаем-

мой задаче на имеющихся исходных данных. Число скрытых элементов должно быть достаточно для решения поставленной задачи, однако не должно быть слишком большим, чтобы обеспечить необходимую обобщающую способность и избежать переобучения. Это связано с тем обстоятельством, что количество скрытых элементов зависит от сложности того отображения, которое нейронная сеть стремится воспроизвести, а оно заранее неизвестно.

Ключевым преимуществом предложенной системы является возможность использования в качестве исходной выборки для обучения как реальные исторические данные, характеризующие параметры работы станции за период времени, в рамках которого не изменялись ее основные технические и технологические показатели (что обеспечивает своевременное оповещение о возможном наступлении критической ситуации), так и данные, полученные в рамках имитационного моделирования, в том числе при обработке нештатных сценариев и режимов критической загрузки.

Для обучения сетей класса многослойный перцептрон можно воспользоваться алгоритмом обратного распространения ошибки (Backpropagation, BP), который является алгоритмом градиентного спуска, минимизирующим среднюю квадратическую ошибку работы сети:

$$E = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_k (d_p^k - y_p^k)^2,$$

где  $P$  - число примеров в обучающем множестве,  $d_p^k$  - желаемый выход  $k$ -ого нейрона выходного слоя на  $p$ -ом обучающем примере.

Минимизация величины  $E$  осуществляется с помощью градиентных методов. Изменение весов происходит в направлении, обратном к направлению наибольшей крутизны для функции стоимости:

$$w(t+1) = w(t) - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial w},$$

где  $\varepsilon$  - величина градиентного шага или коэффициент обучения.

В качестве результата работы нейронов выходного слоя могут быть приняты величины в диапазоне  $[0,1]$ , где значения, близкие к 0, характеризуют малую загрузку, а близкие к 1 - критическую загрузку сортировочного узла.

В дальнейшем обученная нейросеть может использоваться в качестве автоматического эксперта для постоянного мониторинга текущей загрузки сортировочной станции, прогнозирования и заблаговременного оповещения о возможности возникновения критической ситуации. Интеграция множества таких экспертов, каждый из которых ответственен за свою сортировочную станцию, с помощью коммуникационных технологий в глобальную систему регулирования транспортных потоков способна обеспечить своевременное регулирование транспортных потоков и оптимизацию параметров грузо-перевозочного процесса.

## Заключение

Использование получаемых от различных датчиков, объединенных в единую сеть, данных о текущем расположении подвижного состава и грузов, применение алгоритмов анализа изображений для вычисления позиций каждого вагона, а также нейросетевых методов обработки информации позволяет системе прогнозирования загрузки сортировочного узла подстраиваться к меняющимся условиям работы и обеспечить своевременный анализ и прогноз загрузки сортировочной станции.

Таким образом, предлагаемая система обеспечит заблаговременное оповещение о потенциальном возникновении критической ситуации, своевременное регулирование транспортных потоков и оптимизацию параметров грузо-перевозочного процесса.

## Литература

1. Рахмангулов А.Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: монография / А.Н. Рахмангулов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 300 с.
2. Мирошниченко В.М., Недзельский Е.В. Имитационное моделирование сложных транспортных систем (на примере железнодорожных станций) // Material. Confer. Internațională «Sisteme de transport și logistic» (Chișinău, 11-13 decembrie 2013) / АТІС; Chișinău, Evrica, 2013. С.394-400.
3. Ульяницкий, Е.М. Моделирование систем. Часть 1. Имитационное моделирование объектов (процессов) на железнодорожном транспорте учебно-методическое пособие / Е.М. Ульяницкий, Д.А. Ломаш; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2008. – 38 с.

4. Казаков А.Л., Маслов А.М. Применение имитационного моделирования для синтетического планирования грузовых терминалов железнодорожного транспорта // Вестник ИрГТУ. 2010. № 6 (46). С. 146–153.
5. Максимей И.В., Сукач Е.И., Гируц П.В., Ерофеева Е.А. Имитационное моделирование вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети // Математические машины и системы. - 2008. - № 4. - С. 147-153.
6. Максимей И.В., Сукач Е.И., Гируц П.В., Ерофеева Е.А. Автоматизация этапов разработки и эксплуатации имитационных моделей транспортных систем / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, Е.А. Ерофеева, П.В. Гируц // Проблемы программирования. - 2008. - № 4. - С. 104-111.
7. Александров А.Э. Моделирование транспортных систем: учеб.-метод. пособие / А.Э. Александров, И.А. Ковалев, В.Ю. Пермикин. – Екатеринбург: УрГУПС. – 2011. -56 с.
8. Лычкина Н. Н. Проектирование логистической инфраструктуры межрегионального мультимодального логистического центра с применением имитационного моделирования // Логистика и управление цепями поставок. № 5 (64) 2014.
9. Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Рахмангулова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. 209 с.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Король, Р. Г. Программа имитационного моделирования работы припортовой железнодорожной станции с вероятностно-статистическим подходом к изменению параметров поступающего вагонопотока / Р. Г. Король, П. В. Даниленко // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2014. – № 2014613827.
11. Электронный ресурс <http://gdsu.stu.ru/science>
12. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. - СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. - 384 с.
13. Технология системного моделирования / Под общ. ред. С.В. Емельянова. - М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. - 520 с.
14. Шеннон. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: пер. с англ. / под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1978 – 411 с.
15. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник - М.: ИНФРА-М, 2008. - 430 с.
16. Гридин В.Н., Солодовников В.И. Предобработка данных и выявление логических закономерностей на основе генетического алгоритма // Системы и средства информатики. 2013. Т. 23. № 2. С. 244-259.
17. Гридин В.Н., Солодовников В.И., Карнаков В.В. Выбор начальных значений и оптимизация параметров нейронной сети // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2016. № 19. С. 270-273.
18. Гридин В.Н., Солодовников В.И., Карнаков В.В. Использование модульной нейронной сети bp-som для извлечения правил // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4 (160). С. 3-7.
19. Евдокимов И.А., Солодовников В.И. Автоматизация построения нейронной сети в рамках объектно-ориентированного подхода // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. № 18. С. 89-97.

**Гридин Владимир Николаевич.** Научный руководитель ФГБУН «Центр информационных технологий в проектировании» РАН. Окончил МАТИ в 1972 году. Доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: более 230. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Доенин Виктор Васильевич.** Профессор ФГБУН "Российский университет транспорта (МИИТ)". Окончил Московский автомеханический институт в 1962 году. Доктор технических наук. Количество печатных работ: более 170. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Труфанов Максим Игоревич.** ВРИО директора ФГБУН «Центр информационных технологий в проектировании» РАН. Окончил Юго-Западный государственный университет в 2002 году. Кандидат технических наук, доцент. Количество печатных работ: 160. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Солодовников Владимир Игоревич.** Зав. лабораторией ФГБУН «Центр информационных технологий в проектировании» РАН. К.т.н. Окончил Московский государственный института электроники и математики в 2001 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 50. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Панищев Владимир Славиевич.** Старший научный сотрудник ФГБУН «Центр информационных технологий в проектировании» РАН. Окончил Юго-Западный государственный университет в 2002 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 80. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

## To the question of constructing an intelligent analysis subsystem and forecasting the work of the sorting unit

V.N. Gridin, V.V. Doenin, V.I. Solodovnikov, V.S. Panishchev, M.I. Trufanov

The paper considers issues of continuous monitoring of the situation at the marshalling yard and predicts the possibility of emergence of critical situations. An approach is proposed for constructing an automated intellectual subsystem for analyzing and timely forecasting the critical utilization of railway sorting units.



A solution to the prediction problem is proposed by using information from automated data collection systems and a neural network decision support subsystem.

**Keywords:** intellectual system, forecasting of critical situations, simulation modeling, sorting node, neural network

#### References

1. Rakhmangulov A.N. Zheleznodorozhnyye transportno-tehnologicheskkiye sistemy: organizatsiya funktsionirovaniya: monografiya / A.N. Rakhmangulov. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta im. G.I. Nosova, 2014. 300 s.
2. Mirosnichenko V.M., Nedzel'skiy Ye.V. Imitatsionnoye modelirovaniye slozhnykh transportnykh sistem (na primere zheleznodorozhnykh stantsiy) // Material. Confer. Internaționala «Sisteme de transport și logistic» (Chișinău, 11-13 decembrie 2013)/ ATIC; Chișinău, Evrica, 2013. C.394-400.
3. Ul'yanitskiy, Ye.M. Modelirovaniye sistem. Chast' 1. Imitatsionnoye modelirovaniye ob'yektov (protsessov) na zheleznodorozhnom transporte : uchebno-metodicheskoye posobiye / Ye.M. Ul'yanitskiy , D.A. Lomash; Rost. gos. un-t putey soobshcheniya. – Rostov n/D, 2008. – 38 s.
4. Kazakov A.L., Maslov A.M. Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya dlya sinteticheskogo planirovaniya gruzovykh terminalov zheleznodorozhnogo transporta // Vestnik IrGTU. 2010. № 6 (46). S. 146–153.
5. Maksimey I.V., Sukach Ye.I., Giruts P.V., Yerofeyeva Ye.A. Imitatsionnoye modelirovaniye veroyatnostnykh kharakteristik funktsionirovaniya zheleznodorozhnoy seti // Matematicheskkiye mashiny i sistemy. - 2008. - № 4. - C. 147-153.
6. Maksimey I.V., Sukach Ye.I., Giruts P.V., Yerofeyeva Ye.A. Avtomatizatsiya etapov razrabotki i ekspluatatsii imitatsionnykh modeley transportnykh sistem / I.V. Maksimey, Ye.I. Sukach, Ye.A. Yerofeyeva, P.V. Giruts // Problemy programirovaniya. - 2008. - № 4. - C. 104-111.
7. Aleksandrov A.E. Modelirovaniye transportnykh sistem: ucheb.-metod. posobiye / A.E. Aleksandrov, I.A. Kovalev, V.YU. Permikin. – Yekaterinburg: UrGUPS. – 2011. -56 s.
8. Lychkina N. N.Proyektirovaniye logisticheskoy infrastruktury mezhregional'nogo mul'timodal'nogo logisticheskogo tsentra s primeneniym imitatsionnogo modelirovaniya // Logistika i upravleniye tsepyami postavok. № 5 (64) 2014.
9. Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii: Mezhevuz. sb. nauch. tr. / pod red. A.N. Rakhmangulova. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta im. G.I.Nosova, 2011. 209 s.
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM Korol', R. G. Programma imitatsionnogo modelirovaniya raboty priportovoy zheleznodorozhnoy stantsii s veroyatnostno-statisticheskim podkhodom k izmeneniyu parametrov postupayushchego vagonopotoka / R. G. Korol', P. V. Danilenko // Federal'naya sluzhba po intellektual'noy sobstvennosti. – 2014. – № 2014613827.
11. Elektronnyy resurs <http://gdsu.stu.ru/science>
12. Ryzhikov YU. I. Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i tekhnologii. - SPb.: KORONA print; M.: Al'teks-A, 2004. - 384 s.
13. Tekhnologiya sistemnogo modelirovaniya / Pod obshch. red. S.V. Yemel'yanova. - M.: Mashinostroyeniye; Berlin: Tekhnik, 1988. - 520 s.
14. Shennon. Imitatsionnoye modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauka: per. s angl. / pod red. Ye.K. Maslovskogo. – M.: Mir, 1978 – 411 s.
15. Sterligova A.N. Upravleniye zapasami v tsepyakh postavok: Uchebnik - M.: INFRA-M, 2008. - 430 s.
16. Gridin V.N., Solodovnikov V.I. Predobrabotka dannykh i vyyavleniye logicheskikh zakonornostey na osnove geneticheskogo algoritma // Sistemy i sredstva informatiki. 2013. T. 23. № 2. S. 244-259.
17. Gridin V.N., Solodovnikov V.I., Karnakov V.V. Vybora nachal'nykh znacheniy i optimizatsiya parametrov neyronnoy seti // Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. 2016. № 19. S. 270-273.
18. Gridin V.N., Solodovnikov V.I., Karnakov V.V. Ispol'zovaniye modul'noy neyronnoy seti bp-som dlya izvlecheniya pravil // Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve. 2015. № 4 (160). S. 3-7.
19. Yevdokimov I.A., Solodovnikov V.I. Avtomatizatsiya postroyeniya neyronnoy seti v ramkakh ob'yektno-orientirovannogo podkhoda // Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh. 2015. № 18. S. 89-97.

**Gridin V.N.**, M. D. Tech., Professor, Head of Researches, Design Information Technologies Center of RAS. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Doenin V.V.** Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport (MIIT)". Professor of the department "Management of transport business and intellectual systems" doctor of technical sciences, professor. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Truphanov M.I.**, Ph.D. Tech., Associate Professor, Director, Design Information Technologies Center of RAS. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Solodovnikov V.I.**, Ph. D. Tech., Head of Laboratory, Design Information Technologies Center of RAS. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)

**Panishchev V.S.**, Ph. D. Tech., Senior Researcher, Design Information Technologies Center of RAS. E-mail: [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru)