

Раздел III. Безопасность сложных систем

УДК 656.212.5

DOI 10.18522/2311-3103-2016-8-6878

А.Н. Шабельников, С.М. Ковалев, А.В. Суханов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В ПРОЦЕССЕ РАСФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ*

На сегодняшний день наблюдается широкое внедрение средств автоматизации в системы железнодорожного транспорта. При этом одним из важнейших аспектов этого процесса является автоматизация управления процессами расформирования-формирования поездов на сортировочных станциях и горках в реальном времени с привлечением современных средств на основе искусственного интеллекта. Интеллектуализация данных технологических процессов в первую очередь касается проблемы поддержки принятия упреждающих решений в сложных технологических ситуациях и, в частности, в нештатных ситуациях, связанных с различного рода нарушениями в развитии технологического процесса. Исключительно важным при этом является своевременное обнаружение такого рода ситуаций с целью выработки превентивных мер по регулированию и/или нормализации технологического процесса. В работе предлагается новый подход к упреждающему обнаружению нештатных ситуаций в течение технологического процесса роспуска составов на сортировочных станциях, связанных с нагонами отцепов на спускной части сортировочной горки. Предлагаемый подход базируется на идее перехода от проблемы прогнозирования нештатных ситуаций к задаче обнаружения их предвестников в гранулированной модели представления техпроцесса в виде характерных отрезков временного ряда – темпоральных паттернов. Гранулированная модель техпроцесса формируется на основе нечеткого вывода гранулярных оценок и последующей их обработки средствами прагматической логики в интересах задачи прогнозирования нештатных ситуаций. Обнаружение паттернов-предвестников нештатных ситуаций в гранулированной модели осуществляется с использованием модели многошагового предсказания, которое базируется на использовании адаптивных Марковских моделей с применением алгоритма темпорально-разностного обучения. Эксперименты, результаты которых приведены в работе показали, что использование предлагаемого подхода позволяет существенно улучшить эффективность принимаемых решений при возникновении нештатных ситуаций в процессе расформирования железнодорожных составов на сортировочных станциях и горках. Кроме того, разработанные методы применимы и в других системах, требующих интеллектуальной поддержки принятия решений в условиях неопределенности при управлении скоротечными технологическими процессами.

Техпроцесс роспуска составов; нагон отцепов; гранулированная модель; когнитивные измерения; аномальный темпоральный паттерн; стохастическая модель; темпоральная модель.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №№ 16-07-20070-а, 16-07-00086-а. The work was partly supported by Project SP2016/143 Research antenna systems; efficiency and diagnostics of electric drives with no-harmonic power; reliability of supply of electric traction, of the Student Grant System, VSB-Technical University of Ostrava.

A.N. Shabelnikov, S.M. Kovalev, A.V. Sukhanov

INTELLIGENT APPROACH FOR FAULT PREDICTION IN THE PROCESS OF BREAKING-UP THE TRAINS AT HUMP YARDS

Nowadays, a wide implementation of automation tools into the railway transportation systems occurs. One of the important sides of this process is automation of the control for and trains makeup-breaking-up at hump yards in real-time mode with utilization of modern intelligent technologies. "Intelligence incorporation" for technological processes, firstly, deals with the problem of decision-making support in complicated technological situations and, particularly, in abnormal situations, which referred to the faults in the process behavior. Here, the most important task is the immediate detection of such situations, which aim is to prevent faults and adjust the process. The paper proposes a new approach for preventive detection of abnormal situations in the behavior of the technological process of train breaking-up at hump yards, when the faults are related to overtaking of cuts. The proposed approach is based on the change of the method of fault prediction by the method of precursor detection. The detection method is based on granular model of process representation in form of specific temporal patterns. Granular model of technological process is formed on the basis of fuzzy estimates inference and fuzzy estimates postprocessing by using the tools of pragmatic logic. Precursors detection for the granular model is performed by using the model of multistep prediction. Here, multistep prediction is performed by utilization of Markov reward models tuned by temporal-difference learning algorithm. Computational experiments show that presented approach allows improving the efficacy of the decision making at hump yards. Moreover, it should be noted that proposed models and algorithms are usable for many other tasks, where decision making in uncertain conditions is required.

Breaking-up process; overtaking of cars; granular model; cognitive measurements; anomalous temporal pattern; stochastic model; temporal model.

Введение. Сортировочная станция являются важнейшим звеном технологической цепочки перевозочного процесса, поскольку себестоимость перевозок главным образом и напрямую зависит от долей простоя вагонов на сортировочных станциях [1–3]. Повышение эффективности технологических процессов, протекающих на сортировочных станциях и сортировочных горках (СГ), достигается за счет совершенствования технологии оперативного управления, а также развития и перевооружения средств автоматизации и информатизации [4, 5].

В настоящее время ведется непрерывный поиск путей совершенствования процессов расформирования-формирования железнодорожных составов и технологий управления, обновления и развития существующих систем автоматики и телемеханики на сортировочных станциях и СГ [6, 7]. Однако к настоящему времени целый ряд научно-практических вопросов, связанных с модернизацией и внедрением новых информационных и компьютерных технологий, а также методов и моделей управления, является не решенными.

Одной из нерешенных проблем в управлении техпроцессом роспуска составов на СГ является управление в нештатных ситуациях, вызванных различными отклонениями хода роспуска от нормального течения технологического процесса. Однако, в ряде случаев можно исключить появление нештатных ситуаций или, по крайней мере, уменьшить их негативные последствия путем упреждающего предсказания возникновения нештатных ситуаций в начальной стадии развития техпроцесса.

В настоящей работе предлагается использование методов интеллектуального анализа данных для прогнозирования нештатных ситуаций на СГ, связанных с нагонами отцепов, с целью выработки упреждающих решений по нормализации техпроцесса.

1. Описание техпроцесса и постановка задачи. В общей структуре информатизации сортировочных станций решающее значение имеет уровень автоматизации процессов принятия решений в нештатных технологических ситуациях, воз-

никающих на СГ в процессе роспуска состава, таких как “нагоны” на спускной части СГ, “выдавливание” отцепов при соударении, появление “окон” на путях подгорочного парка и др. С практической точки зрения наиболее важным классом нештатных ситуаций являются “нагоны”. Данный класс аномалий рассмотрим в рамках общего описания технологического процесса роспуска состава на СГ.

Технологический процесс расформирования состава базируется на принципе свободного скатывания групп вагонов-отцепов с горба СГ по маршрутам, которые оперативно устанавливаются для каждого отцепа индивидуально в соответствии с его маршрутным заданием [8, 9]. На рис. 1 показан фрагмент общего плана СГ.

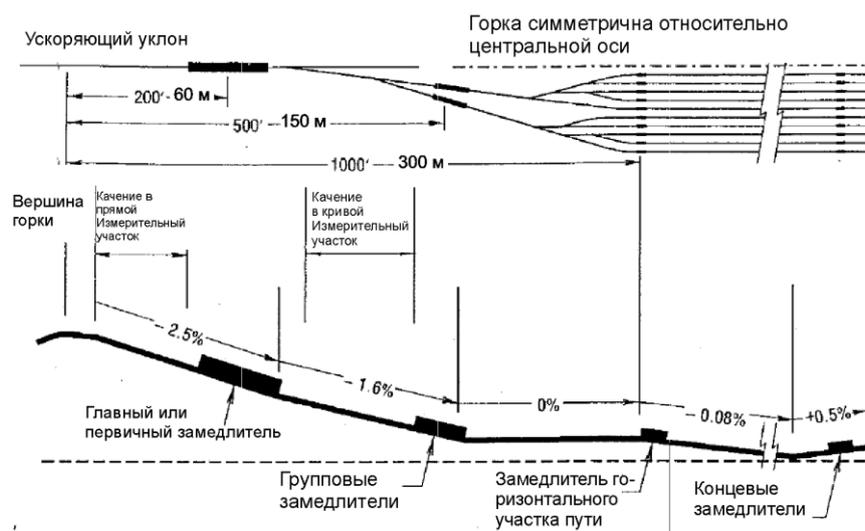


Рис. 1. Фрагмент плана СГ: вид сверху (верхняя часть рисунка) и профиль (нижняя часть рисунка)

Управление процессом роспуска осуществляется, через управление скоростью надвига, переводом стрелок и вагонными замедлителями (ВЗ) – специальными устройствами, которые находятся на тормозных позициях (ТП), расположенными по всем участкам скатывания отцепов на СГ. ТП служат для притормаживания отдельных отцепов в ходе роспуска с целью устранения нештатных ситуаций, связанные с появлением “нагонов”. К последним относятся ситуации, при которых два следующих друг за другом отцепа направляются на разные пути, однако в силу различных причин происходит нагон одного отцепа другим и их “ложная сцепка” до разделительной стрелки. Наиболее вероятнее всего нагон возникает при сочетании отцепов с разными ходовыми свойствами или разными скоростями скатывания. Если, к примеру, за отцепом с плохими ходовыми свойствами (“плохой бегун”) следует отцеп, обладающий хорошими ходовыми свойствами (“хороший бегун”), то последний может нагнать первый отцеп раньше, чем тот пройдет стрелку, разделяющую маршруты их следования. Оба отцепа продолжат следование по одному маршруту, и правильность роспуска нарушится. “Нагон” является нештатной ситуацией, характеризующей несовершенство технологии горочного процесса [10, 11]. Главными причинами такой проблемы могут являться ошибки горочного оператора, отказы технических устройств и неудовлетворительное состояние подвижного состава.

Задача заключается в упреждающем прогнозировании возможных “нагонов” между “проблемными” парами следующих друг за другом отцепов на основании анализа поездных ситуаций, складывающихся на спускной части СГ. Описание поездной ситуации включает в себя динамические параметры отцепов, расстояние между отцепами, пространственный сценарий расположения отцепов относительно ТП и ряд других параметров [12, 13]

Построение точной аналитической модели для предсказания появления “нагонов” на СГ не представляется возможным в силу неполноты исходных данных, неточности измерений, зашумленности информации, наличия трудно учитываемых климатических факторов и др.

2. Гранулирование динамических параметров процесса скатывания на основе схемы нечеткого вывода. В рамках рассматриваемой задачи построения прогностической модели для нештатных ситуаций, вызванных “нагонами”, основным объектом контроля является процесс движения пары следующих друг за другом отцепов по участку СГ между первой и третьей ТП (Рис. 2). Поездную ситуацию, сложившуюся на горке к текущему моменту времени, упрощенно представим в виде кортежа:

$$D_i = \langle S, \Delta V \rangle, \quad (1)$$

где S – расстояние между отцепами; $\Delta V = V_2 - V_1$ – разница скоростей отцепов, где V_2 – скорость сзади идущего, V_1 – скорость впереди идущего отцепа. Значения приведенных параметров привязаны к текущему моменту времени.

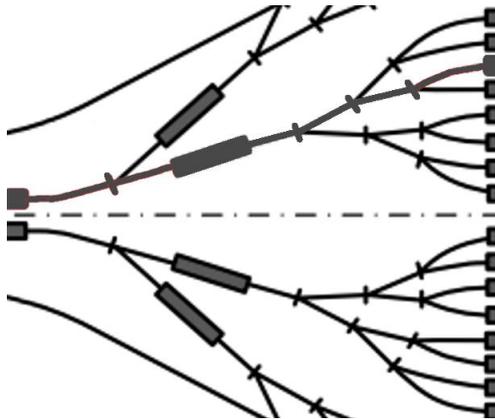


Рис. 2. Структурная схема пространственного окна, внутри которого производится оценка нештатной ситуации “нагона”

С учетом представления текущей ситуации в виде кортежа (1) полную картину контролируемого процесса на дискретном временном $[t_0, t_k]$ можно описать многомерным ВР:

$$W = (D_0, D_2, \dots, D_k). \quad (2)$$

где каждый элемент D_i в (2) является векторным значением.

Для целей прогнозирования нештатных ситуаций и интеграции знаний в прогностическую модель преобразуем ВР (2) во ВР значений истинности некоторой прагматической переменной, характеризующей возможность появления нештатных ситуаций.

В качестве прагматической переменной для построения прогностической модели представляется удобным взять лингвистическую переменную НАПРЯЖЕННОСТЬ (поездной обстановки), являющейся по представлениям экспертов наиболее информативной характеристикой “предвестников” нештатных ситуаций, связанных с “нагонами” на спускной части СГ [14]. Данной ЛП сопоставим четыре лингвистических значения (ЛЗ), которые одновременно будут выступать в качестве оценок переменной истинности прагматической модели: В=ВЫСОКАЯ, Н=НИЗКАЯ, Т=ТРЕБУЮЩАЯ ВНИМАНИЯ, С=НЕИЗВЕСТНАЯ (не несущая никакой информации о возможной аномалии). Параметры S и ΔV , входящие в описания поездной ситуации (1), преобразуются в нечеткие значения ЛП НАПРЯЖЕННОСТЬ путем нечеткого вывода на основе эмпирических правил, сформированных экспертами. Примерами таких правил являются следующие выражения:

ЕСЛИ S =БОЛЬШОЕ и ΔV =НЕСУЩЕСТВЕННАЯ, то НАПРЯЖЕННОСТЬ=Н;

ЕСЛИ S =ОЧЕНЬ МАЛОЕ и ΔV =ЗАМЕТНАЯ то НАПРЯЖЕННОСТЬ=В;

ЕСЛИ S =МАЛОЕ и ΔV =НЕСУЩЕСТВЕННАЯ, то НАПРЯЖЕННОСТЬ=Т;

ЕСЛИ S =СРЕДНЕЕ и ΔV =БОЛЬШАЯ, то НАПРЯЖЕННОСТЬ=С.

В приведенной системе нечетких правил параметру S сопоставлена ЛП РАССТОЯНИЕ, определенная на шкале расстояний [0–30] м., а параметру ΔV – ЛП РАЗНИЦА, определенная на шкале [0–7] м/с. Значениями ЛП РАССТОЯНИЕ являются нечеткие термы ОЧЕНЬ МАЛОЕ, МАЛОЕ, СРЕДНЕЕ, БОЛЬШОЕ. Значениями ЛП РАЗНИЦА являются нечеткие термы НЕСУЩЕСТВЕННАЯ, ЗАМЕТНАЯ, БОЛЬШАЯ.

Гранулирование ВР осуществляется путем применения к векторным значениям ВР W процедуры нечеткого вывода на основе сформированных экспертами нечетких правил, описывающих зависимость напряженности поездной обстановки от значений динамических параметров поездной ситуации. Некоторые из таких правил приведены выше. В результате каждому элементу ВР будут сопоставлены четыре уровня значения напряженности поездной обстановки.

3. Модель многошагового предсказания. Прогнозирование аномалий осуществляется на основе анализа гранулированного ВР, элементами которого являются истинностные оценки напряженности поездной обстановки, определяемые выше рассмотренным способом. В основу упреждающего предсказания нештатных ситуаций положена модель многошагового прогнозирования. Последняя включает три основных компонента, приведенных ниже.

1. *Входная информация* представляется в виде векторов наблюдений за развитием процесса:

$$X(t) = x(t_1), \dots, x(t_i), \dots, x(t_k), z,$$

где $x(t_i)$ характеризует состояние процесса в i -й момент времени и представлена значением истинности прагматической переменной. Здесь особо выделены конечные значения z в качестве результатов, “1” или “0”, характеризующих факты принадлежности вектора $X(t)$ к классу аномальных паттернов (есть “нагон” или нет).

2. *Шейп предсказания*, полученный на основе вычислений вектор

$$P(X) = p(x(t_1)), \dots, p(x(t_i)), \dots, p(x(t_k))$$

элементами которого являются оценки результата z . Каждое из значений $p(x(t_i))$ характеризует вероятность того, что i -е значение $x(t_i)$ является предвестником аномального события в конце паттерна.

3. *Способ вычисления шейпа предсказания* на основе векторов наблюдений и конечного множества модифицируемых параметров P . Этим способом может быть алгоритм, оператор или некоторая функциональная зависимость:

$$p(x(t_i)) = F(X, P).$$

Очевидно, что в представленном варианте модель многошагового предсказания является адаптивной и ее построение сводится к подбору значений вектора управляющих параметров P так, чтобы при поступлении на вход модели аномальных паттернов вероятностные значения вектора предсказаний $p(x(t_i))$ вели себя представленным ниже образом.

В идеальном случае вероятностные значения $p(x(t_i))$ в векторе предсказаний при поступлении на вход модели аномальных паттернов должны стремиться к "1", причем желательно при минимальных индексах i с тем, чтобы на как можно более ранних стадиях предсказать появления аномалии. В этом случае шейп изменения вероятностных значений в векторе предсказаний должен выглядеть так, как показано на рис. 3.

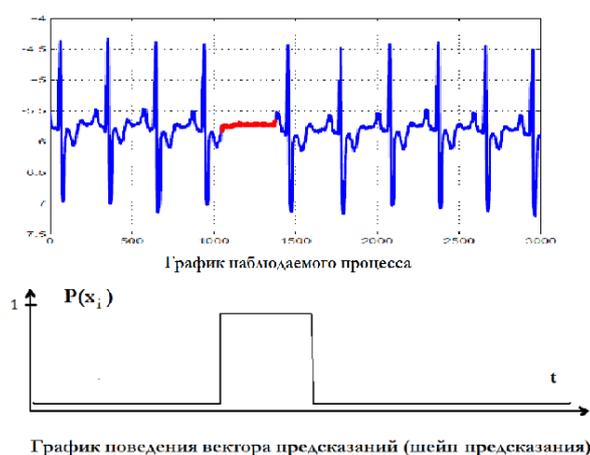


Рис. 3. Идеальный характер поведения шейпа предсказаний

Понятно, что получить идеальный шейп предсказания в результате обучения на реальных данных не представляется возможным [15], поэтому для реализации упреждающего детектирования предлагается использовать иной тип шейпа, приведенный ниже на рис. 4.

Данный шейп имеет пилообразный характер и обладает двумя достоинствами. Во-первых, он достижим на реальных данных обучения, а, во-вторых, позволяет эффективно осуществлять упреждающее детектирование аномальных паттернов на основе анализа характера поведения шейпа предсказания в начальной стадии развития аномального паттерна. Особенность поведения данного шейпа заключается в затухании колебаний вероятностных значений в преддверии аномалии и переходе к монотонному возрастанию вероятностных значений с поступлением новых отсчетов аномального паттерна.

Ключевым элементом в методологии многошагового предсказания на основе анализа динамики развития шейпов предсказаний является выбор способа вычисления вероятностных значений аномалий в векторах предсказаний. В качестве такого средства предлагается использовать особый тип функций, имеющих отношение к специальному классу стохастических моделей Марковских процессов с доходами [16–18] (MR-модели).

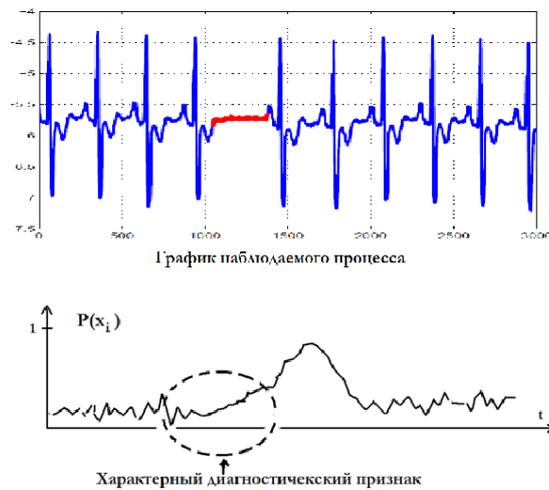


Рис. 4. Реальный характер поведения шейпа предсказаний

В общем виде MR-модель представляет собой триплет:

$$MR = \langle X, \| P \|, W \rangle,$$

X – множество состояний наблюдаемого процесса, $\| P \|$ – матрица переходных вероятностей между состояниями, $W : X \rightarrow R$ – доходная функция.

Введем для MR-модели ряд вспомогательных определений.

Определение 1. Маршрутом MR-модели называется любая последовательность состояний $X = x_1, x_2, \dots, x_k$.

Определение 2. Вероятностью маршрута $X = x_1, x_2, \dots, x_k$ MR-модели называется величина:

$$P(X) = p_{12} \cdot p_{23} \cdot \dots \cdot p_{k-1k},$$

где p_{ij} – переходные вероятности матрицы $\| P \|$.

Определение 3. Доходом маршрута $X = x_1, x_2, \dots, x_k$ MR-модели называется величина:

$$W(X) = \omega(x_1) + \omega(x_2) + \dots + \omega(x_k),$$

где $\omega(x_i)$ – значения доходной функции.

Определение 4. Функцией истинности MR-модели называется вещественная функция $E : X \rightarrow R$, сопоставляющая каждому состоянию $x \in X$ величину $E(x)$, равную математическому ожиданию дохода по всем маршрутам, исходящим из x :

$$E(x) = \sum_{X=x_1, x_2, \dots, x_k \in \Theta / x_1=x} P(X) \cdot W(X),$$

где Θ – множество всех маршрутов в MR-модели

Фактически, функция истинности сопоставляет каждому состоянию средний доход по всем маршрутам, исходящими из состояния x . или, иначе, прогнозирует доход, полученный в результате реализации Марковского процесса, стартующего из состояния x .

Приведенное общее определение MR-модели допускает различные конкретизации в разных приложениях в зависимости от свойств доходной функции. Применительно к рассматриваемой задаче поиска аномалий предполагается заданными два множества примеров аномальных A и нормальных N темпоральных паттернов, и два типа связанных с ними ограничений на доходную функцию:

$$\begin{aligned} \forall X = (x_1, x_2, \dots, x_k) \in A \quad \sum_{i=1}^k \omega(x_i) = 1, \\ \forall X = (x_1, x_2, \dots, x_k) \in N \quad \sum_{i=1}^k \omega(x_i) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Определение 5. Целевой вероятностью $P_g(x)$ состояния $x \in X$ называется вероятность появления аномального паттерна в множестве всех темпоральных паттернов $\Theta^O = A \cup N$, начинающегося с состояния X :

$$P_g(x) = P\{(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_k}) \in A \mid x_{i_1} = x\}.$$

Следующая теорема устанавливает связь между значениями функции истинности доходной Марковской модели и вероятностями появления аномальных паттернов.

Теорема. Для любого состояния $x \in X$ MR-модели, удовлетворяющей ограничениям (3), значение функции истинности $E(x)$ равно целевой вероятности состояния x :

$$E(x) = P_g(x).$$

На основе данной Теоремы можно предложить конструктивный способ вычисления вероятностных значений вектора предсказаний через вычисления функции истинности MR-модели. Истинностная функция MR-модели с достаточно высокой точностью аппроксимируется линейным выражением:

$$E(x_i) = \sum_j p_{ij} \cdot \omega(x_j). \quad (4)$$

Выражение (4) представляет эффективное средство вычисления вероятностных значений предсказывающего вектора в рассматриваемой методологии многошагового предсказания аномалий в темпоральных данных. Обучение MR-модели осуществляется на основе специальной методологии темпорально-разностного обучения (TD-обучение), предложенной в [19] и адаптированной к данной задаче в [20].

Эксперименты. Авторами была проведена серия экспериментов над модельными ВР, максимально приближенными к реальным значениям параметров техпроцесса расформирования составов на СГ. Модельные ВР представляли собой необработанные данные, описывающие параметры поездных ситуаций. Далее осуществлялась их гранулирование с использованием процедур нечеткого вывода по описанной ранее методике. Прогнозирование нагонов осуществлялось с использованием прогностических правил на основе прагматики выше описанной в общих чертах когнитивной сенсорной сети. Каждая новая ситуация в виде двух гранулированных значений предъявлялась на вход прогностической модели, в результате чего выдается сигнализация о приближении нештатной ситуации нагона, если возможностная оценка попадала в красный или розовый сектор когнитивной сети. В результате экспериментов была установлена вероятность прогноза нагона, превышающая величину 95 %. Имитационные эксперименты показали, что использование прогностической модели с достоверностью предсказания 95 % позволяет заметно повысить эффективность управления процессом роспуска за счет своевременной выработки превентивных управляющих решений с целью исключения “нагонов”.

Выводы. Важнейшей задачей, решаемой в рамках автоматизации железнодорожного транспорта, является создание системы обнаружения и упреждения нештатных технологических ситуаций. Одним из аспектов ее решения является интеллектуализация поддержки решений при появлении нештатной ситуации в процессе расформирования-формирования поездов, вызываемой вследствие возникновения нагонов отцепов с разными ходовыми свойствами на спускной части сортировочной горки. В настоящей работе предложен подход к интеллектуальному прогнозированию нагонов на сортировочной горке базируется на идеи построения модели процесса в виде гранулированного ВР и его обработки с использованием модели темпорально-разностного предсказания. Эксперименты над модельными данными подтвердили эффективность предложенного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка плановых заданий для железнодорожной сортировочной станции // TRGREAT. – URL: trgreat.ru/gov-1199.html (дата обращения: 10.09.2015).
2. Широкова В.В., Несветова Е.А. Организация работы сортировочной станции. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 98 с.
3. Кондратьева Л.А. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. (Общий курс): учебник для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.
4. Тулупов Л.П., Лецкий Э.К., Шапкин И.Н., Самохвалов А.И. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте / под ред. Тулупова Л.П. – М.: Маршрут, 2005. – 467 с.
5. Ковалев В.И., Осминин А.Т., Грошев Г.М. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железнодорожном транспорте. – М.: Маршрут, 2006. – 544 с.
6. Иванченко В.Н., Ковалев С.М., Шабельников А.Н. Новые информационные технологии: интегрированная информационно-управляющая система автоматизации процесса расформирования-формирования поездов: учебник. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2002. – 276 с.
7. Шабельников А.Н., Суханов А.В., Ковалев С.М. Интеллектуальный метод предсказания появления нештатных ситуаций в процессе расформирования поездов на сортировочной горке // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3334> (дата обращения: 12.11.2015).
8. Червотенко Е.Э. и др. Проектирование сортировочных устройств: учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2014. – 75 с.
9. Шабельников А.Н. и др. Системы автоматизации сортировочных горок на основе современных компьютерных технологий: учебник для вузов ж.-д. транспорта. – Ростов-на-Дону: НИИАС. Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2010.
10. Иванченко В.Н., Шабельников А.Н. Новый подход к построению интеллектуальных информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Приложение № 2. – 2004. – С. 109-116.
11. Ломинога, И.В. Алгоритм расчета экономических потерь на сортировочной горке // Проблемы современной экономики: Материалы III Междунар. науч. конф. – Челябинск: Два комсомольца, 2013. – С. 102-105.
12. Иванченко В.Н. Современные информационные технологии управления сложными процессами расформирования-формирования поездов // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2 (6). – С. 64-69.
13. Ковалев С.М., Шабельников А.Н. Теоретические проблемы интеллектуализации транспортных процессов // Автоматизация и механизация технологических процессов на сортировочных станциях: Труды Международной научно-практической конференции. – М., 2010. – С. 15-19.
14. Шабельников А.Н., Суханов А.В., Ковалев С.М. Интеллектуальный метод предсказания появления нештатных ситуаций в процессе расформирования поездов на сортировочной горке // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3334> (дата обращения: 12.11.2015).

15. Ковалев С.М. Методы многошагового предсказания аномалий в темпоральных данных // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 185-81.
16. Yeung D.Y., Ding Y.X. Host-based intrusion detection using dynamic and static behavioral models // Pattern Recognition. – 2003. – No. 36. – P. 229-243.
17. Ковалев С.М., Суханов А.В. Обнаружение особых типов паттернов во временных рядах на основе гибридной стохастической модели // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 142-149.
18. Xu X. Sequential anomaly detection based on temporal-difference learning: Principles, models and case studies // Applied Soft Computing. – 2010. – Vol. 10, No. 3. – P. 859-867.
19. Sukhanov A.V., Kovalev S.M., Styskala V. Advanced Temporal-Difference Learning for Intrusion Detection // 13th IFAC and IEEE Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES. IFAC-PapersOnLine. – Elsevier, 2015. – № 48 (4). – P. 43-48.
20. Kovalev S.M., Sukhanov A.V. Anomaly detection based on Markov chain model with production rules // Программные продукты и системы. – 2014. – № 3. – С. 40-44.

REFERENCES

1. Razrabotka planovykh zadaniy dlya zheleznodorozhnoy sortirovochnoy stantsii [Development of scheduled tasks for the rail yard], TRGREAT. Available at: trgreat.ru/gov-1199.html (accessed 10 September 2015).
2. Shirokova V.V., Nesvetova E.A. Organizatsiya raboty sortirovochnoy stantsii [Organization of work the rail yard]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2006, 98 p.
3. Kondrat'eva L.A. Ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. (Obshchiy kurs): uchebnyk dlya tekhnikumov zh.-d. transp. [Devices of railway automatics and telemechanics. (General course): textbook for technical schools of railway transport]. Moscow: Transport, 1983, 232 p.
4. Tulupov L.P., Letskiy E.K., Shapkin I.N., Samokhvalov A.I. Upravlenie i informatsionnye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte [Management and information technology in railway transport], ed. by Tulupova L.P. Moscow: Marshrut, 2005, 467 p.
5. Kovalev V.I., Os'minin A.T., Groshev G.M. Sistemy avtomatizatsii i informatsionnye tekhnologii upravleniya perevozkami na zheleznodorozhnom transporte [Automation systems and information technology management in railway transportation]. Moscow: Marshrut, 2006, 544 p.
6. Ivanchenko V.N., Kovalev S.M., Shabel'nikov A.N. Novye informatsionnye tekhnologii: integrirovannaya informatsionno-upravlyayushchaya sistema avtomatizatsii protsessa rasformirovaniya–formirovaniya poezdov: uchebnyk [New information technologies: integrated information management system automate the process of dissolution–formation: textbook]. Rostov-on-Don: RGUPS, 2002, 276 p.
7. Shabel'nikov A.N., Sukhanov A.V., Kovalev S.M. Intellekturnyy metod predskazaniya poyavleniya neshtatnykh situatsiy v protsesse rasformirovaniya poezdov na sortirovochnoy gorke [Intelligent method of predicting the occurrence of abnormal situations in the process of dissolution of trains on the hump], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2015, No. 4. Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3334> (accessed 12 November 2015).
8. Chervotenko E.E. i dr. Proektirovanie sortirovochnykh ustroystv: ucheb. Posobie [Design of screening devices: a tutorial]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2014, 75 p.
9. Shabel'nikov A.N. i dr. Sistemy avtomatizatsii sortirovochnykh gorok na osnove sovremennykh komp'yuternykh tekhnologiy: uchebnyk dlya vuzov zh.-d. transporta [Systems of automation of hump yards on the basis of modern computer technology: textbook for universities of railway transport]. Rostov-on-Don: NIIAS. Rost. gos. un-t putey soobshcheniya, 2010.
10. Ivanchenko V.N., Shabel'nikov A.N. Novyy podkhod k postroeniyu intellektual'nykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem na zheleznodorozhnom transporte [A new approach to building intelligent information management systems in railway transport], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University News. North-caucasian region. Technical Sciences Series]. Appendix No. 2, 2004, pp. 109-116.
11. Lominoga, I.V. Algoritm rascheta ekonomicheskikh poter' na sortirovochnoy gorke [The algorithm of calculation of economic losses on the hump], *Problemy sovremennoy ekonomiki: Materialy III Mezhdunar. nauch. konf.* [problems of modern Economics: materials of the III Mezhdunar. scientific conference]. Chelyabinsk: Dva komsomol'tsa, 2013, pp. 102-105.

12. *Ivanchenko V.N.* Sovremennye informatsionnye tekhnologii upravleniya slozhnymi protsessami rasformirovaniya-formirovaniya poezdov [Modern information technologies in the management of complex processes of dissolution-formation], *Nauka i transport. Modernizatsiya zheleznodorozhnogo transporta* [Science and transportation. The modernisation of railway transport], 2013, No. 2 (6), pp. 64-69.
13. *Kovalev S.M., Shabel'nikov A.N.* Teoreticheskie problemy intellektualizatsii transportnykh protsessov [Theoretical problems of intellectualization of transport processes], *Avtomatizatsiya i mekhanizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na sortirovochnykh stantsiyakh: Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Automation and mechanization of technological processes in marshalling yards: proceedings of the International scientific-practical conference]. Moscow, 2010, pp. 15-19.
14. *Shabel'nikov A.N., Sukhanov A.V., Kovalev S.M.* Intellektual'nyy metod predskazaniya poyavleniya neshtatnykh situatsiy v protsesse rasformirovaniya poezdov na sortirovochnoy gorke [Intelligent method of predicting the occurrence of abnormal situations in the process of dissolution of trains on the hump], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2015, No. 4. Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3334> (accessed 12 November 2015).
15. *Kovalev S.M.* Metody mnogoshagovogo predskazaniya anomalii v temporal'nykh dannykh [The method of multistep prediction of anomalies in temporal data], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 85-91.
16. *Yeung D.Y., Ding Y.X.* Host-based intrusion detection using dynamic and static behavioral models, *Pattern Recognition*, 2003, No. 36, pp. 229–243.
17. *Kovalev S.M., Sukhanov A.V.* Obnaruzhenie osobykh tipov patternov vo vremennykh ryadakh na osnove gibridnoy stokhasticheskoy modeli [Special temporal pattern recognition technique based on hybrid stochastic model], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 4 (153), pp. 142-149.
18. *Xu X.* Sequential anomaly detection based on temporal-difference learning: Principles, models and case studies, *Applied Soft Computing*, 2010, Vol. 10, No. 3, pp. 859-867.
19. *Sukhanov A.V., Kovalev S.M., Styskala V.* Advanced Temporal-Difference Learning for Intrusion Detection, *13th IFAC and IEEE Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES. IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, 2015, No. 48 (4), pp. 43-48.
20. *Kovalev S.M., Sukhanov A.V.* Anomaly detection based on Markov chain model with production rules, Программные продукты и системы [Software Products and Systems], 2014, No. 3, pp. 40-44.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.М. Курейчик.

Ковалев Сергей Михайлович – Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС); e-mail: ksm@rfniias.ru; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского стрелкового полка народного ополчения, 2; кафедра автоматики и телемеханики; д.т.н.; профессор.

Шабельников Александр Николаевич – Ростовский филиал Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте; e-mail: info@rfniias.ru; 344038, г. Ростов-на-Дону, пр. Ленина, 44/13; д.т.н.; директор.

Суханов Андрей Валерьевич – e-mail: a.suhanov@rfniias.ru; инженер.

Kovalev Sergey Mikhaylovich – Rostov State Transport University; e-mail: ksm@rfniias.ru; 2, Narodnogo opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia; the department of automatics and telemechanics; dr. of eng. sc.; professor.

Shabelnikov Alexander Nikolaevich – JSC “NIIAS”, Rostov branch; e-mail: info@rfniias.ru; 44/13, Lenina av., Rostov-on-Don, 344038, Russia; dr. of eng. sc.; director.

Sukhanov Andrey Valerievich – e-mail: a.suhanov@rfniias.ru; engineer.