

УДК 656.212.5:681.3

СКАЛОЗУБ В.В., д.т.н., професор (ДНУЖТ),
ЧЕРЕДНИЧЕНКО М.С., к.э.н. (ПКТЬ АСУ ЗТ),
НОВОХАЦКИЙ А.Ф., (ПКТЬ АСУ ЗТ),
ВЕЛИКОДНЫЙ В.В., (УКРЗАЛИЗНИЦЯ),
КЛИМЕНКО И.В., ассистент (ДНУЖТ)

Развитие автоматизированных систем управления вагонными парками на основе методов искусственного интеллекта

Усовершенствованы графические модели и методы процедур анализа и управления эксплуатацией вагонных парков. Предложенные интеллектуальные средства позволяют автоматизировать процессы формирования баз знаний системы АСУ ВП УЗЕ.

Ключевые слова: вагонные парки, процессы эксплуатации, графические модели процессов, базы знаний, автоматизация формирования, средства искусственного интеллекта.

Введение. Вопросы развития АСУ управления вагонными парками

В настоящее время автоматизированная система управления грузовыми перевозками Укрзализниці АСК ВП УЗЕ обеспечивает информационную и информационно-аналитическую поддержку всех технологических процессов управления и эксплуатации вагонных парков (ВП). Вместе с тем одной из основных становится задача ее развития и преобразования в информационно-управляющую, а далее – в автоматизированную систему с прогностическим управлением. Для решения указанной задачи предполагается использовать, как и в Российской Федерации, РФ [1], все современные методы анализа данных и моделирования, информационные и телекоммуникационные технологии, в том числе спутниковые системы навигации и позиционирования (ГЛОНАСС, GPS и др.). Реализация процессов преобразования АСК ВП УЗЕ в информационно-управляющую систему опирается на обработку ее баз и хранилищ данных, автоматизацию и выполнение процедур мониторинга, диагностирования, интерпретации и моделирования процессов грузовых перевозок, в неразрывной связи с соответствующими процессами управления. В практическом плане должна быть решена теоретически и реализована средствами информационных технологий комплексная задача формирования баз знаний процессов грузовых железнодорожных перевозок в Украине. Разумеется, что выполнение столь сложной работы связывается с решением многих частных задач для отдельных процессов и подсистем. В статье представлены результаты исследований, направленных на развитие моделей и методов

автоматизации процедур формирования баз знаний системы АСК ВП УЗЕ для процессов управления вагонными парками.

В работах [2-4] на основе данных системы АСК ВП УЗ сформированы математические и информационные модели анализа вагонопотоков, а в целом процессов эксплуатации вагонных парков различных собственников, которые предназначены для использования в системах поддержки принятия решений (СППР). В частности, в [2] формируются и обобщаются ГЕРТ-модели, а также нечеткие модели для потоков в сетях произвольной структуры. В [3-4] разработаны Логистически-технологическая (ЛТД) и логистически-экономическая (ЛЭД) – графические модели процессов эксплуатации вагонных парков. В ЛТД и ЛЭД дуги графов характеризуются набором параметров, обобщенными величинами, отображающими технологическую составляющую процессов эксплуатации вагонных парков на некотором направлении (ЛТД), а ЛЭД – раскрывают их экономическую сторону.

Графические модели процессов эксплуатации вагонных парков различных собственников

В представленной статье выполнено развитие названных графических моделей за счет включения в них следующих дополнительных механизмов обработки данных. С каждой дугой графа связывается временной ряд (ВР) значений параметров, которые характеризуют вагонопоток в отдельные периоды, а также процедуры по обработке и интерпретации уровней этих ВР, которые могут быть детерминированными, статистическими и нечеткими.

© В.В. Скалозуб, М.С. Чередниченко, А.Ф. Новохацкий, В.В. Великодний, И.В. Клименко, 2013

Заметим, что расширенные таким образом модели ЛТД и ЛЭД становятся объектами, моделями баз знаний, которые объединяют данные и процедуры (БЗн). На этой основе становится возможным автоматическое моделирование и прогнозирование параметров соответствующих вагонопотоков. Укажем, что прогнозирование параметров вагонопотоков можно рассматривать как шаг к реализации прогнозного управления [1] технологическими и соответствующими экономическими процессами эксплуатации вагонных парков.

На рис. 1 приведен пример ЛТД эксплуатации ВП некоторой операторской компании.

Логистико-технологический анализ используется для оценки степени эффективности эксплуатации вагонных парков, а также соответствующих действий персонала операторской компании (ОК). Разработанные методика и программные средства [3-4] позволяют проводить анализ данных мониторинга процессов грузовых перевозок с различной степенью детализации, оценивать качество эксплуатации вагонных парков. Возможность детализации стадий процессов заложена в самой методике и программных средствах анализа, что обеспечивается на основе фильтрации второстепенных операций.

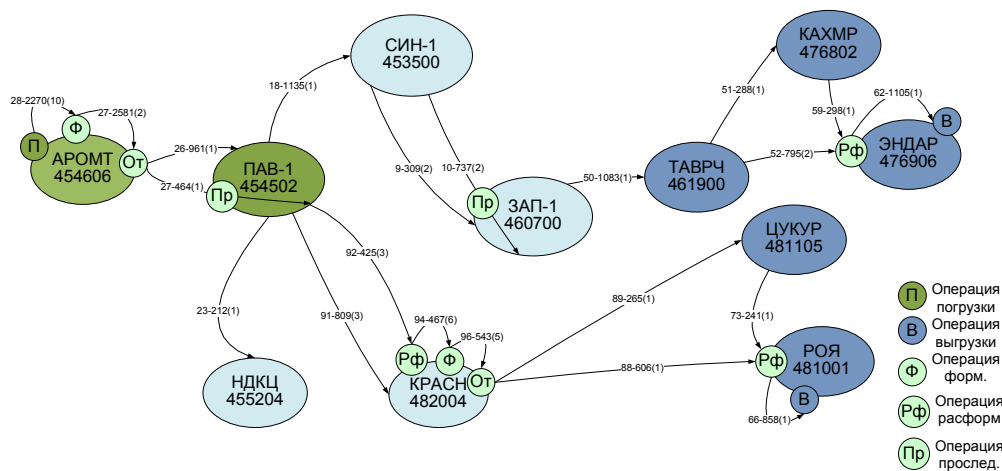


Рис. 1. Детализированная логистико-технологическая диаграмма эксплуатации вагонных парков

Степень детализации и отображения в ЛТД данных мониторинга может варьироваться от базовой – детальное описание процессов эксплуатации каждого конкретного вагона, до обобщенного описания параметров вагонопотоков (груженых или порожних рейсов) между станциями погрузки/выгрузки. Программное обеспечение ЛТД является гибким настраиваемым инструментом, в первую очередь зависящим от полигона, к которому применяется анализ. Предусмотрены следующие варианты логистико-технологического анализа (типы детализации процессов):

- расчет основных эксплуатационных характеристик вагонопотоков, охватывающих стандартные показатели железнодорожного транспорта, на полигонах – от Укрзалізничці (УЗ) в целом до выделенной группы станций;

- расчет и анализ детальных эксплуатационных характеристик вагонопотоков на полигоне, где полигон – выделенная группа станций;

- расчет и анализ подробных эксплуатационных характеристик груженого/порожного среднего рейса заданного типа;

- расчет и анализ подробных эксплуатационных характеристик груженого/порожного рейса отдельно взятого грузового вагона на полигоне, с указанием критических точек.

Диаграммы ЛТД и ЛЭД (рис. 1, рис. 2) являются средствами визуализации результатов автоматизированного контроля и мониторинга процессов использования всех вагонов ОК путем анализа информации об операциях с вагонами и поездами. При этом учитываются следующие блоки операций: – операции прибытия вагонов на станцию; – отправления со станции; – проследования, приема на дорогу и сдачи с дороги; – блок погрузки/выгрузки; – операции, описывающие неисправные вагоны; – операции, меняющие поездное состояние вагонов (РАСФОР/ФОРМ).

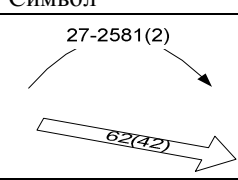
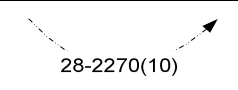
Остальные технологические операции, принятые в поездной и вагонной модели АСК ВП УЗ, используются для внутреннего контроля данных (временной диапазон и состояние вагона – техническое, грузовое, дислокационное). Описанных выше блоков операций достаточно для мониторинга с высокой точностью, достоверностью, наглядностью происходящих процессов. Выделив операции,

составляют интервальную модель рейсов вагонов, по которой рассчитываются технологические и экономические показатели перевозок грузов и возврата порожняка. На ЛТД (рис.1) отмечены пункты погрузки, выгрузки вагонов ОК, условно представлено движение вагонопотоков между ними. Для проведения логистико-технологического анализа возможно развернутое отображение любого из рейсов вагонов более подробно. При этом допускается выделение промежуточных перегонов, станций и отображение характеристик простоя вагонов на них за указанный период.

ЛЭД предназначены для отображения элементов двух типов – вершин, станции, направленных дуг, обозначающих рейсы вагонов. Дуги могут быть двух типов, описанных в табл. 1. ЛЭД (рис. 2) отображает курсирование вагонов на различных полигонах, часть из которых работает в кольцевых маршрутах (рис. 3). ЛЭД позволяют оценить, как грузовые (толстые стрелки, или тонкие сплошные), так и порожние рейсы (стрелки из пунктирных линий) по подводу вагонов под погрузку, а также количественные (первое число на стрелке) и временные характеристики (число в скобках, часы) этих процессов.

Таблица 1

Элементы логистико-экономических диаграмм

№№	Символ	Описание	Расшифровка значений
1.		Сплошной тонкой или широкой стрелкой обозначаются рейсы груженых вагонов, направление стрелки означает станцию выгрузки	Каждая дуга может характеризоваться набором трех чисел: 1- порядковый номер (не обязательно); 2- количество рейсов; 3- среднее время движения;
2.		Пунктиром обозначаются рейсы порожних вагонов, направление стрелки означает станцию погрузки	

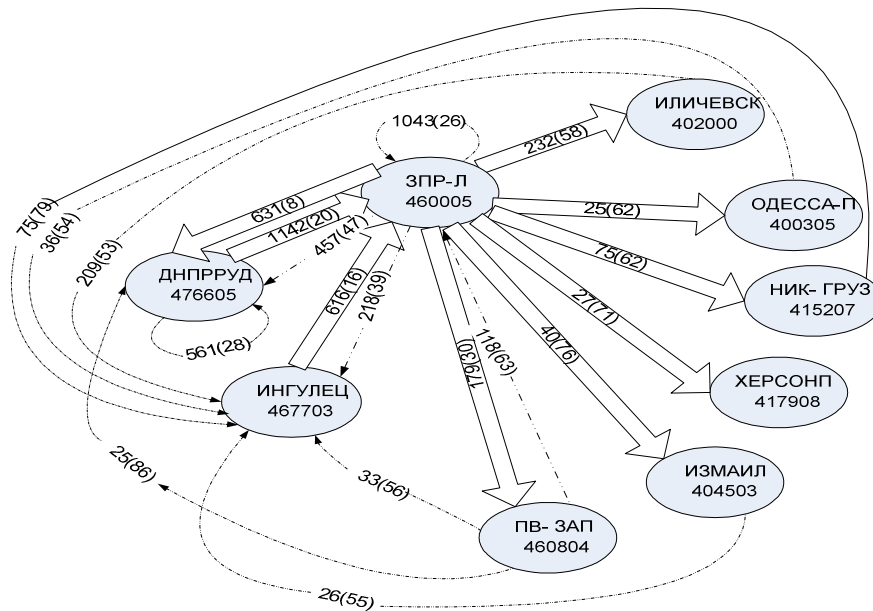


Рис. 2. ЛЭД работы собственных вагонов ОК на полигоне Укрзалізниця

На диаграмме ЛЭД (рис. 3) [4] также указаны коды основных перевозимых грузов (третье число на дуге), которые предназначены для расчета денежной оценки

работы вагонов, а также изображены этапы цикла использования вагонов (в виде последовательности номеров).

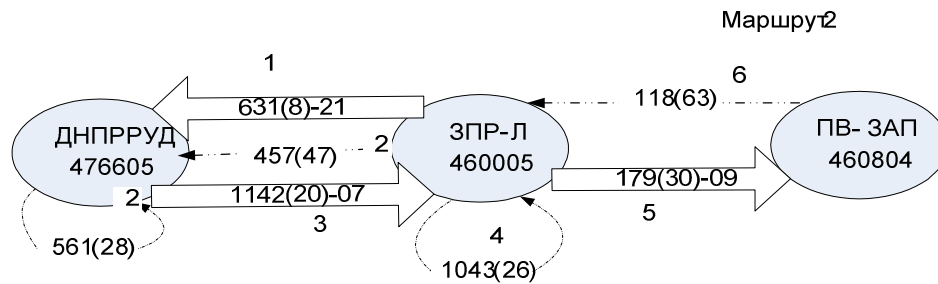


Рис. 3. Пример кольцевых маршрутов работы вагонов ОК

На рисунках тонкие стрелки, петли одной станции, дают количество обработанных на ней за месяц вагонов и среднее время в часах на их обработку (интервал времени от выгрузки до погрузки).

Методы искусственного интеллекта в графических моделях баз знаний процессов эксплуатации вагонных парков

Отличительной особенностью баз знаний является наличие специальных процедур обработки поступающих данных, а также присутствие механизмов их автоматического использования при формировании решений [5]. Для развития графических моделей ЛТД и ЛЭД в форму баз знаний (БЗн) предлагаются включение в них следующих дополнительных механизмов обработки данных. Во-первых, расширение информационной базы модели – с каждой дугой графов процессов эксплуатации вагонных парков связывается временной ряд, уровни которого характеризуют вагонопоток в отдельные последовательные периоды. Во-вторых, в модель добавляются процедуры, обеспечивающие обработку и интерпретацию уровней ВР. Эти процедуры дают формирование и автоматический расчет оперативных (а не усредненных значений, указанных в ЛЭД и ЛТД) характеристик процессов эксплуатации ВП. В зависимости от применяемых процедур обработки уровней ВР получают различные модели процессов эксплуатации ВП (детерминированные, стохастические, нечеткие, интервальные др.).

В связи с произвольным и наперед не установленным характером ВР графических моделей процессов эксплуатации ВП возникают задача выбора методов для их моделирования и прогнозирования. Особенное значение она принимает, например, в случае анализа сложных динамических форм, при нерегулярности процессов эксплуатации части вагонов некоторых ОК. Остановимся на возможностях использования обобщенных моделей хаотической динамики (обобщенное логистическое отображение) [6-8], а также модифицированных процедур Т. Демарка [9-10] в этих случаях.

В настоящей работе для решения задачи интерпретации и прогнозирования уровней ВР

исследуются возможности использования модели расширенного логистического отображения (РЛО) вида (1), как основной структуры процедур интерпретации данных, описывающих некоторые сложные технологические, экономические и другие процессы. Содержательно процедура интерпретации сводится к следующему. Априори предполагается, что наблюдаемый и представленный ВР процесс может быть описан уравнением (2). На основе данных ВР (2) необходимо получить оценки модели (1).

Если при этом связать все или же некоторые из расчетных значений параметров (1) с оценками управлений, влияющих на процессы, формирующие ВР, открывается возможность «объяснения характеристик ВР» на основе значений уровней управляющих воздействий. Далее модель расширенного логистического отображения имеет следующий вид:

$$x_{n+1} = \prod_k \lambda_k x_n^{\alpha_k} * \prod_j [\mu_j (1 - x_n)^{\beta_j}] \quad (1)$$

Для интерпретации ВР наблюдений над процессом, а далее прогноза значений показателя x_n (мера ряда), необходимо установить содержательный смысл влияющих факторов, интегральный эффект которых и дается временным рядом

$$x_0, x_1, x_2, x_3, \dots \quad (2)$$

Для получения интерпретаций (2) в терминах (1) принимается, что коэффициенты (2) отображают влияние различных управляющих характеристик:

$$(\lambda_1; \alpha_1) - \text{воздействия фактора 1; } (\lambda_2; \alpha_2) - \text{фактор 2; } (\mu_1; \beta_1) - \text{фактор } (k+1), ; (\mu_2; \beta_2) - \text{фактор } (k+2). \quad (3)$$

Величины уровней ряда (2) используются для идентификации (оценок) значений параметров (3). При этом значения (3) определяются при последовательном рассмотрении уровней (2), считая их полученными на

основе уравнения (1). Еще не определенные значения параметров модели (1), (3) – отбрасываются (принимают значение (0;1) – выбираются нужным образом).

Опишем процедуру оценки (3) в виде структуры последовательности решаемых уравнений. Из системы

$$\begin{cases} x_1 = \lambda_1 x_0^{\alpha_1} \\ x_2 = \lambda_1 x_2^{\alpha_1} \end{cases} \quad (4)$$

находят значения параметров (λ_1, α_1) . Считая, что уровни x_3, x_4 , и другие в последовательности (2) получены по (1) с учетом (λ_1, α_1) , формируют новую систему уравнений для определения (λ_2, α_2)

$$\begin{cases} x_3 = \lambda_1 x_2^{\alpha_1} * \lambda_2 x_2^{\alpha_2} \\ x_4 = \lambda_1 x_3^{\alpha_1} * \lambda_2 x_3^{\alpha_2} \end{cases}, \quad (5)$$

из которой рассчитываются значения (λ_2, α_2) . Последующие новые параметры компонентов модели (1) оцениваются, исходя из известных значений ее параметров (λ_1, α_1) ; (λ_2, α_2) и так далее, используя ту же методику.

Заметим, что значения параметров (μ_1, β_1) и дальнейших в (1) получают на основе уравнений типа (4), (5), либо путем рассуждений, как в работе [8]: задавая некоторое значение уровня ВР рассчитывают очередной параметр модели. Далее по модели (1) с известными параметрами (3) строят прогнозы следующих этапов, уровней ВР (2).

Для повышения точности прогноза после идентификации модели (1) возможна корректировка некоторых значений ее параметров за счет расчета нового набора значений (3), исходя из других уровней (2), с последующими оценками значения параметров по методу экспоненциального сглаживания

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i d + (1-d)\alpha_{i-1}, \quad (6)$$

где d – определяется по МНК на основе нескольких наборов (3) моделей (1).

Некоторые возможность построения оперативного прогноза экономических показателей параметров вагонопотоков на основании моделей (1), (2) изучена в [6, 7].

Остановимся на использовании (2) для решения задач оперативного прогнозирования ВР на основе модели (1), которая использует для построения прогноза только предыдущий уровень ряда. В соответствии с [6-8] и другими исследованиями даже простые нелинейные модели при некоторых значениях

параметров имеют при достаточном количестве уровней ряда хаотическое поведение. На практике установить количество уровней модели ряда (1), когда начинается «хаотическое поведение», невозможно. Поэтому прогнозирование осуществляется на основе обобщения расчетов для нескольких моделей (1), параметры которых рассчитываются по методу наименьших квадратов (МНК) [11] для фрагментов ВР разной длины (они являются существенно различными).

Построение прогноза в нашем исследовании происходит рекуррентно. Для прогнозирования на 1 или 2 шага с использованием модели (1) выполняется по следующему обобщенному алгоритму. Для построения модели вида (1) используют 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда. Значения параметров моделей λ , α и β оценивается по методу МНК.

В соответствии с выбранным количеством предыдущих значений ряда определяется N и производится расчет параметров $(\lambda, \alpha$ и $\beta)$. Выполняется построение прогноза на следующий период по найденным параметрам – определяется следующий уровень ряда (или два).

На основе прогнозов для 15, 10 и 5 предыдущих значений ряда, определяют среднее значение результатов моделей, на основе которых получают Прогноз № 1 и Прогноз № 2, соответственно на один и два шага вперед [10]. На рис. 4 представлены графики этих процессов оперативного прогнозирования ВР на основе (1). Процедура рассчитана в первую очередь на оперативное прогнозирование, и здесь лишь демонстрируются некоторые возможности модели (1) относительно пошагового представления сложного процесса, описанного с помощью ВР.



Рис. 4. Графики прогнозирования уровней ВР на основе уравнения (1)

Прогнозирование уровней ВР диаграмм процессов эксплуатации ВР на основе модифицированных процедур Т. Демарка

Как известно, одними из наиболее сложных для анализа и прогнозирования являются биржевые ВР, для которых разработаны специализированные методы, в частности, метод Т. Демарка [9]. В работе выполнена его модификация, учитывающая специфику наборов параметров вагонопотоков. Для формирования прогноза в биржевых ВР используют несколько характеристик каждого уровня, отдельного интервала (периода). Согласно [9], интервал имеет четыре характеристики «цены, представленной ВР величины»: – открытия биржи (начало периода) ($Ц_o$); – закрытия (конец периода) ($Ц_z$); – максимальная и минимальная «цена» за период ($Ц_{max}$), ($Ц_{min}$). У ВР вагонопотока одна характеристика – количество вагонов за период.

Для построения оперативного прогноза ВР вагонопотока метод Т. Демарка был модифицирован и имеет следующий вид:

$$X = \frac{(\min\{Знач2, Знач1\} + \max\{Знач2, Знач1\} + 2 * Знач_{сред})}{2}; \quad (7)$$

$$Y = \frac{(X - \max\{Знач2, Знач1\}) + (X - \min\{Знач2, Знач1\})}{2}, \quad (8)$$

где: Y – прогнозное значение; $Знач1, Знач2$ – предыдущие значения ряда; $Знач_{сред}$ – среднее арифметическое $Знач1$ и $Знач2$; $\max\{Знач2, Знач1\}$ – максимум из двух значений; $\min\{Знач2, Знач1\}$ – минимум из двух значений.

В результате проведенного анализа ВР вагонопотоков установлено, что взаимосвязь между соседними уровнями весьма существенна. При удалении уже на один элемент, уровень, это влияние значительно снижается. Для построения оперативного прогноза возможно использовать всего лишь два предыдущих уровня ряда. Дальнейшее увеличение количества уровней ВР для прогнозирования вагонопотока является малоэффективным. На рис. 5 представлен оперативный прогноз вагонопотока согласно (7) – (8).

Для повышения точности прогноза, а также расчетов его числовых характеристик, в [10] был использован метод «бутстреп» [11], с помощью которого проводится «размножение» ВР при сохранении их статистических свойств.

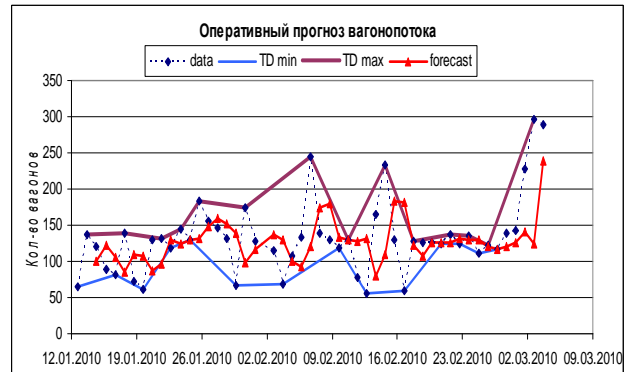


Рис. 5. Оперативный прогноз вагонопотока на основе модифицированного метода Т. Демарка

На рис. 5 указаны графики следующих характеристик ВР и прогноза: *data* – отображает реальные данные о вагонопотоке по некоторой станции; *TD min* – линия соединяет уровни ВР, которые одновременно меньше двух своих соседних уровней; *TD max* – линия соединяет уровни ВР, которые одновременно больше двух своих соседних уровней [8]; *forecast* – непосредственно оперативный прогноз величины вагонопотока, построенный по (7) и (8).

С помощью (1), (7) – (8) и их программных процедур выполняется расширение графических моделей ЛТД и ЛЭД процессов эксплуатации вагонных парков.

Выводы

Важным направлением развития АСУ железнодорожного транспорта Украины является преобразование системы АСК ВП УЗЕ в информационно-управляющую, а затем – в систему прогнозного управления. Для формирования баз знаний АСК ВП УЗЕ выполнено развитие моделей и процедур управления эксплуатацией вагонных парков различных собственников, за счет расширения информационной базы и создания новых методов объектов, представляющих графические диаграммы. На основе такого расширения графических моделей создается основа автоматизации процессов формирования баз знаний для задач анализа эксплуатации ВП.

Литература

1. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года. – URL: <http://doc.rzd.ru/doc/err403>.
2. Скалзуб В.В., Андрищенко В.О., Солтисюк О.В. Моделирование процесів оптимального планування вантажних перевезень вагонними парками різних

- форм власності // Системні технології, №1(48). – Дніпропетровськ, 2007. С. 138 – 150.
3. Математическое моделирование процессов эксплуатации вагонных парков различных форм собственности /В.В. Скалозуб, О.В. Солтисюк, М.С. Чередниченко //Вестник Белорусского Государственного Университета Транспорта «Наука и Транспорт». – 2007. – №1-2 – С. 35-41.
 4. Чередниченко М. С. Разработка процедур технологического-экономического анализа процессов управления вагонными парками операторов железнодорожного транспорта / М. С. Чередниченко // Управління проектами та розвиток виробництва: зб. наук. пр. – Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В.Даля. – 2010.– № 1 (33). – С. 52–58.
 5. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы/ – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.
 6. Скалозуб В.В., Клименко И.В. Прогнозирование и интерпретация процессов на основе расширенного логистического отображения // У зб. «Економічна кібернетика: інноваційний підхід в управлінні». – Дніпропетровськ: Герда, 2013. С. 182-188.
 7. Исследования одномерного логистического отображения // Сб. тр. «Математика. Компьютер. Образование», Т.2, – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – С. 702-710.
 8. Сергеева Л.Н. Нелинейная экономика: модели и методы: [монография / научн. ред. проф. Ю.Г. Лысенко] / Л.Н. Сергеева. — Запорожье: Полиграф, 2003. — 218 с.
 9. Томас Р. Демарк. Технический анализ – новая наука.[Текст]. – М.: Диаграмма, 1997. – 280 с.
 10. Клименко І.В. Адаптація метода Т. Демарка для прогнозування векторних інтервальних часових рядів /І.В. Клименко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2011. – № 37. – С. 274–277.
 11. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: Підручник/ Геєць В.М., Клебанова Т.С., Черняк О.І., Іванов В.В., Дубровіна Н.А., Ставицький А.В. — Х.: ВД «ІНЖЕК», 2005. — 396 с.
- Скалозуб В.В., Чередниченко М.С., Новохацький О.Ф., Великодний В.В., Клименко І.В. Розвиток автоматизованих систем управління вагонними парками на основі методів штучного інтелекту.** Удосконалено графічні моделі і методи процедур аналізу та управління експлуатацією залізничних вагонних парків. Запропоновані інтелектуальні засоби дозволяють автоматизувати процеси формування баз знань системи АСК ВП УЗЄ.
- Ключові слова:** вагонні парки, процеси експлуатації, графічні моделі процесів, бази знань, автоматизація формування, засоби штучного інтелекту.
-
- Skalozub V.V., Cherednychenko M.S., Novokhachiy A.F., Velikodniy V.V., Klymenko I.V. The development of the carriage fleet automated management systems on the basis of the methods of artificial intelligence.** Graphical models and methods of procedures of the analysis and management of the railway car fleet operation have been improved. The proposed smart tools allow automating the processes of ASC VP UZE system knowledge base formation.
- Key words:** carriage fleets, operating processes, graphical models of the processes, knowledge bases, automation of formation, artificial intelligence tools.
- Рецензент д.т.н., професор Бойник А.Б. (УкрГАЖТ)

Поступила 15.08.2013г.