

14. Сафонов, Б. П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. [Текст] / Б. П. Сафонов, А. В. Бегова. – Новомосковск: Изд-во МХТУ им. Менделеева, 2004. – 65 с.
15. Ступницький, В. В. Триботехнічний критерій формування функціонально-орієнтованої технології виготовлення деталей в машинобудуванні [Текст]: зб. наук. пр. / В. В. Ступницький, Є. М. Махоркін // Луцький національний технічний університет «Наукові нотатки». – 2013. – Вип. 42. – С. 305–313.
16. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней [Текст] / Г. Г. Улиг, Р. У. Реви. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
17. Ступницький, В. В. Математичне моделювання автоколивань різального інструменту та їхній вплив на інженерію поверхні [Текст] / В. В. Ступницький, Я. М. Новіцький // Машинознавство. – 2013. – № 1-2 (187-188). – С. 19–22.
18. Лившиц, О. П. Моделирование формирования пластической составляющей высоты неровностей при лезвийной обработке методом конечных элементов [Текст] / О. П. Лившиц, А. Е. Родыгина // Металлообработка. – 2008. – № 6. – С. 8–12.
19. Родыгина, А. Е. Применение метода конечных элементов в исследовании формирования шероховатости поверхности с учетом пластического течения материала при несвободном резании [Текст]: сб. труд. Всерос. конф. / А. Е. Родыгина // Будущее машиностроения России. – МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – С. 36–37.
20. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин [Текст] / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
21. Безъязычный, В. Ф. Расчет режимов резания [Текст] / В. Ф. Безъязычный, И. Н. Аверьянов, А. В. Кордюков. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.

Виділено основні питання використання на залізницях вантажних вагонів різної форми власності, включаючи кількість, структуру вагонного парку колії 1520 мм. Розроблено організаційно-технологічну модель керування маршрутними перевезеннями вантажів у вагонах різної форми власності з урахуванням розрахункової економії експлуатаційних витрат при пріоритетному обслуговуванні відправників вантажу та вантажоодержувачів

Ключові слова: єдина система керування парком вантажних вагонів, операторська компанія, відправницький маршрут

Выделены основные вопросы использования на железных дорогах грузовых вагонов разной формы собственности, включая количество, структуру вагонного парка колее 1520 мм. Разработана организационно-технологическая модель управления маршрутными перевозками грузов в вагонах различной формы собственности с учетом расчетной экономии эксплуатационных расходов при приоритетном обслуживании грузоотправителей и грузополучателей

Ключевые слова: единая система управления парком грузовых вагонов, операторская компания, отправительский маршрут

УДК 656.212:656.225

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

А. В. Кулешов

Аспирант

Кафедра управления грузовой
и коммерческой работой*

E-mail: kul2002@rambler.ru

В. В. Кулешов

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра железнодорожных станций и узлов*

E-mail: kul2002@rambler.ru

*Украинская государственная академия

железнодорожного транспорта

пр. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

1. Введение

Одним из приоритетных направлений реформирования железнодорожного транспорта Украины является изменение технологий, систем взаимодей-

ствия с пользователями железнодорожных услуг, включая компании-операторов подвижного состава, операторы перевозок, экспедиторов при применении новейших инструментариев управления доставкой массовых грузов с учетом приоритетности обслу-

живания грузоотправителей и грузополучателей на железных дорогах [1]. Однако, недостаточно решены вопросы организационно-технологической системы оптимизации маршрутизации с учетом приоритетного обслуживания грузоотправителей общим парком вагонов из 184,7 тыс. ваг. Вагонным компаниям Укрзалізничці (УЗ) принадлежит 45,9 тыс. ваг или 24,9 %. Почти 10,4 тыс. ваг принадлежит государственным операторским компаниям (ОК), собственный парк составляет 138,8 тыс. ваг или 75,1 % от общего, что ниже чем в России, где на базе зависимых обществ железнодорожного транспорта услуги собственным парком составляют 91 % от общего количества услуг [2].

Необходимо вследствие недостаточного взаимодействия большого количества участников транспортного рынка: операторов перевозок, владельцев подвижного состава, вагоноремонтных предприятий, объектов инфраструктуры. На координацию всех участников перевозочного процесса направлена разработка единых требований по тарифам, сервису грузовладельцам, организации коммерческой работы, организации движения, провозной способности внутренних и международных транспортных коридоров их участков, снижению себестоимости перевозок [3]. В связи с переоснащением парка локомотивов на государственном уровне возникает необходимость увеличения веса маршрутных поездов, которая не решалась ранее.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работе [4] при организации перевозок не учтены развитые информационные технологии, с помощью которых возможно обеспечить развитие железнодорожных услуг пользователям. В разработке Нагорного Е. В., Черныш Н. Ю. [5] не достаточно изучены подходы к формированию технологии взаимодействия железнодорожных администраций и владельцев подвижного состава в условиях единой системы управления парком грузовых вагонов разных форм собственности на базе информационных систем с целью оптимизации пропускной способности железнодорожных транспортных систем. В книге Иловайского Н. Д. [6] не были рассмотрены вопросы определения оптимального парка операторских компаний. В работах Данько Н. И., Ломотыко Д. В. и др. ученых [7 – 10] не достаточно проанализированы вопросы организации маршрутных перевозок на единых требованиях к владельцам подвижного состава разных форм собственности, особенно в международных перевозках железнодорожным транспортом. В книге под ред. Шора Н. З. [11] не достаточно рассмотрены вопросы организации маршрутных перевозок с учетом не полной информации.

В зарубежных работах [12 – 15] изложены основные подходы к организации перевозок, однако не рассматривается организация тяжеловесных и длиннооставных грузовых поездов. В книге [16] Воркут Т. А. рассмотрена логистика перевозок, однако не учтены межгосударственные перевозки железнодорожным транспортом.

3. Цель и задачи исследования

Цель и задачи исследования – усовершенствование организационно-технологической системы оптимизации маршрутных перевозок грузов с учетом приоритетного обслуживания грузоотправителей и устойчивости маршрутных перевозок вследствие новых видов маршрутизации.

4. Организация и формирование отправительских маршрутов оператором перевозок

Организация и формирование отправительских маршрутов должна осуществляться в соответствии с технологическими процессами работы станций перевозчиком, оператором перевозок, железной дорогой и подъездных путей грузоотправителей или на станционных путях, которые арендуют ветвладельцы и их контрагенты.

В маршрутизации далее будут учитываться следующие i-категорий маршрутов: 1 – прямые маршруты оператора магистральной железнодорожной сети; 2 – ступенчатые маршруты по договорам на эксплуатацию подъездного пути или на подачу и уборку вагонов с учетом ответственности грузоотправителя; 3 – маршруты назначением на станцию распыления, или в пункты распыления для заадресовки вагонов, подобранным по станциям выгрузки, районам, грузовым пунктам и грузополучателям в пределах, установленных оператором магистральной железнодорожной сети; 4 – маршруты на входные или распределительные станции, получающие топливные грузы, согласованные оператором магистральной железнодорожной сети [4 – 7].

Средний вес маршрутного поезда брутто на железных дорогах Украины по состоянию на 15.01.2014 г. составил – 3399 т. Анализ изменений показывает неуклонный рост за период 2001-2013 г.г. с 3225 т до 3433 т. Однако, средний состав отправительских маршрутов ниже, поскольку действуют параллельные весовые нормы. Поэтому на конкретных направлениях необходимо осуществлять прицепку-отцепку групп вагонов, соединение маршрутных составов с разборными. Назначение маршрутов возможно на основе технико-экономического сопоставления маршрутных назначений между собой. При планировании отправительских маршрутов в маркетинговой подсистеме АСК ВП УЗ-Е устанавливается календарная периодичность по постоянным расписаниям, на основе объединения смежных участков работы локомотивных бригад в случаях ускоренного пропуска технологических маршрутов либо прицепки групп вагонов или составов с целью повышения массы грузовых поездов.

Пропуск маршрутов с поездными локомотивами, а также пропуск поездных локомотивов под готовые к отправлению составы маршрутов непосредственно на железнодорожные пути не общего пользования предприятий - грузоотправителей и грузополучателей выполняется при наличии соответствующего технического развития.

При выполнении мониторинга маршрутизации перевозок необходимо исследовать наличие парка

вагонов различных компаний-операторов производительность технических средств железных дорог и их пропускной способности. Оптимизация маршрутизации использует оценочную функцию, которая назначает стоимость маршрутизации на основе информационных баз АСУ, обеспечивающих возможность контроля производительности и вывода компонента и других характеристик, которые в дальнейшем используются при составлении таблицы маршрутизации с определением функций издержек.

5. Визуализация систем управления

Задачей усовершенствования эффективности перемещения грузопотоков является определение времени приема груза к перевозке, прибытия порожних вагонов, погрузки со взвешиванием, следования с момента погрузки вагона по направлениям сети поступления и выгрузки на станции назначения.

Предложенная технология грузовых транспортно-логистических услуг вместе с последовательностью операций от момента прибытия порожних и груженых вагонов изображена на рис. 1.

В общем случае, рассматривается асимметричная задача коммивояжера [17], в которой ребра между вершинами могут иметь разный вес в зависимости от направления, т. е., задача моделируется ориентированным графом. Таким образом, кроме веса ребер графа, необходимо учитывать в каком направлении расположены ребра. В случае симметричной задачи все пары ребер между одними и теми самыми вершинами имеют одинаковый вес, т.е., для ребра (i, j) вес одинаков $C_{i,j} = C_{j,i}$. Как следствие, все маршруты следования вагонопотоков имеют одинаковую длину в оба направления. В симметричном случае количество возможных маршрутов вдвое меньше асимметричного случая.

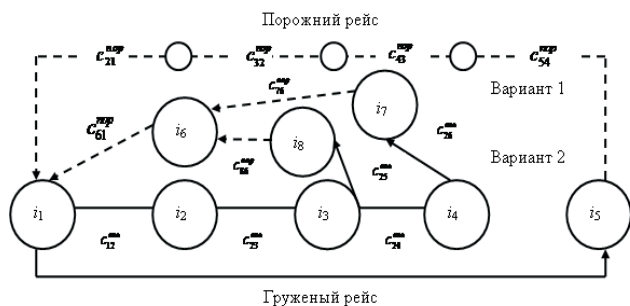


Рис. 1. Возможные схемы обеспечения порожними вагонами погрузки отправительского маршрута пользователя железнодорожных услуг i_1 ; i – номера вершин графа; c_i – поучастковые расходы на маршрутные составы поездов

Каждая вершина должна соединяться через пару ребер со сдачей вершин, т. е., через входное и исходное ребро:

$$\forall i \in V, \sum_{j \in V / \{i\}} x_{i,j} = 2. \tag{1}$$

Временной вектор $x = (x_{i,j})_{i,j \in V}$ с элементами, которые равны 0 и 1, определяет корректный маршрут, что является решением переформулированной задачи коммивояжера:

$$\min \left\{ \sum_{i \in V} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} c_{i,j} x_{i,j} \mid x \text{ valid(1) (2)}, x_{i,j} \in \{0,1\} \right\}. \tag{2}$$

Таким образом, выбирается наивыгоднейший маршрут следования вагонопотока. Модель определения экономии затрат на перевозку маршрута с массовым грузом определяются как двухэтапная модель стохастического программирования с рекурсией и случайными правыми частями ограничений. Модель записывается в следующей эквивалентной детерминированной форме:

$$f(E_i) = \sum_{j=1}^n c_i \cdot N_i \cdot t_i + \sum_{l=1}^L p_l \left[\sum_{j=1}^n q_j \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k \in K(i)} a_{ik} \cdot c_{ik} \cdot x_{ik} \right) + \sum_{i=1}^m q_i^* \cdot s_i^l \right] \rightarrow \min, \tag{3}$$

где c_i – стоимость перевозки одного вагона в маршруте, грн;

$N_i \cdot t_i$ – величины основного критерия вагоно-часов на случайном векторе;

N_i – величина маршрутизируемого вагонопотока, ваг;

t_i – время передвижения немаршрутного вагонопотока, час;

p_l – вероятность маршрутной перевозки на случайном векторе для l-го направления следования;

q_j – вероятность возникновения множества показателей, которые характеризуют составные элементы системы обслуживания на участках;

a_{ik} – вектор инцидентности ($a_{ik} = 1$ если $j \in k$, $a_{ik} = 0$ – в противоположном случае) кодируется совокупностью $[0, 1]$;

$k_i \in K_i$ – подмножество маршрутов продвижения вагонопотоков на направлении;

x_{ik} – затраты на технологические операции, которые могут быть сокращены или дополнены при следовании маршрута;

q_i^* – вероятность возможных рисков при невыполнении условий маршрутизации;

s_i^l – затраты на покрытие риска из-за невыполнения условий маршрутизации.

Учитывая нечеткость данных в различных подмножествах расчетной модели функция принадлежности определяется

$$\mu_i = p_i \cdot q_i. \tag{4}$$

На первом этапе - $N_i \cdot t_i$, на втором этапе используются рекурсии s_i^l и x_{ik} .

Оптимизация следования вагонопотока из мест погрузки компании-оператора перевозок для стратегических (годовых) и оперативных (месячных, декадных, суточных периодов) обращения потока T: год (365 дней), месяц (30), декада (10), календарный день (1) и k_i -направлений следования конкретизируется в виде модели, условно принимая одинаковые условия для всех этапов оптимизации:

$$f(E_i) = \mu_i (E_{\text{прив } i}^{\text{общ}} + E_{\text{прив } i}^{\text{пор}}) = \mu_i (E_{\text{пор}} + E_{\text{след}} + E_{\text{выгр}}),$$

$$f(E_i) = \mu \left\{ T \cdot n_i \left[(\Delta t_{\text{подг}} \cdot e_{\text{нН}}^{\text{пор}} + c_{\text{ож}}) + t_{\text{ман}} (e_{\text{нН}}^{\text{пор}} + c_{\text{лч}}) + (e_{\text{нН}}^{\text{гр}} + e_{\text{нН}}^{\text{пор}}) \Delta t_{\text{тех}} \frac{L_i}{L_{\text{бр}}} + \right. \right.$$

$$+ e_{\text{нН}}^{\text{гр}} \cdot L_i \left(\frac{1}{V_{\text{Mi}}} - \frac{1}{V_{\text{Mi}'}} \right) + t_{\text{пор}} [e_{\text{нН}}^{\text{пор}} \cdot \gamma + e_{\text{нН}}^{\text{гр}} (1 - \gamma) + d_{\text{п}}] + \frac{L_{\text{пор}} \cdot e_{\text{нН}}^{\text{пор}}}{V_{\text{Mi}}} +$$

$$\left. \left. + \frac{L \cdot e_{\text{нН}}^{\text{гр}}}{V_{\text{Mi}}} + \Delta t_{\text{ож}}^{\text{выгр}} \cdot e_{\text{нН}}^{\text{гр}} + t_{\text{выгр}} [e_{\text{нН}}^{\text{пор}} \cdot \gamma + e_{\text{нН}}^{\text{гр}} (1 - \gamma)] + d_{\text{в}} \right] \right\} \rightarrow \min \quad (5)$$

При ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} 100 \leq L \leq 1200; 1 \leq N \leq 3; 25 \leq m \leq 50, \\ 0 \leq \Delta t_{\text{подг}} \leq 1, 0; 30 \leq V_{\text{д}} \leq 60, \\ 400 \leq L_{\text{зстр}} \leq 1200; 1 \leq c_{\text{оч}} \leq 8; 0,5 \leq t_{\text{розф}} \leq 1, 0, \\ 10 \leq V_{\text{м}} \leq 30; 0,5 \leq \Delta t_{\text{тех}} \leq 2,5; 20 \leq V_{\text{м}}' \leq 40, \\ 50 \leq L_{\text{бр}} \leq 300; 50 \leq L_{\text{д}} \leq 300, \end{aligned} \right\}$$

где E_i – расходы на организацию отправительского маршрута i -категории, грн;

$E_{\text{прив}}^{\text{общ}}$ – общие расходы при организации маршрута без учета постоянных энергетических и прочих затрат на содержание инфраструктуры, грн;

$E_{\text{пор}}$; $E_{\text{след}}$; $E_{\text{выгр}}$ – соответственно, расходы при погрузке, следовании в движении и выгрузке, которые снижаются при обращении маршрутных поездов, грн;

$E_{\text{прив}}^{\text{пор}}$ – общие расходы при порожнем пробеге вагонов, грн;

$e_{\text{нН}}^{\text{гр}}$; $e_{\text{нН}}^{\text{пор}}$; $e_{\text{лч}}$; $c_{\text{оч}}$ – соответственно, единичные затратные ставки на ваг-час (груженный, порожний), лок-час и очистку вагонов;

N_i – количество вагонов в маршруте (маршрутной группе);

$\Delta t_{\text{подг}}$; $t_{\text{расф}}$; $\Delta t_{\text{тех}}$; $\Delta t_{\text{ож}}^{\text{выгр}}$ – соответственно, нормативы времени на одну операцию (подготовку к погрузке, на расформирование, на попутных технических станциях и на ожидание выгрузки);

$t_{\text{пор}}$; $t_{\text{выгр}}$ – соответственно, норма времени на одну грузовую операцию при немаршрутной погрузке и немаршрутной выгрузке;

γ – доля нахождения вагона в порожнем состоянии при погрузке и выгрузке;

L ; $L_{\text{бр}}$; $L_{\text{встр}}$ – соответственно, расстояние пробега маршрута, длине участка обращения локомотивов и локомотивных бригад, встречного пробега порожних вагонов;

$V_{\text{м}}$; $V_{\text{м}}'$ – соответственно, маршрутная скорость от станции отправления до станции назначения обычных и маршрутных поездов;

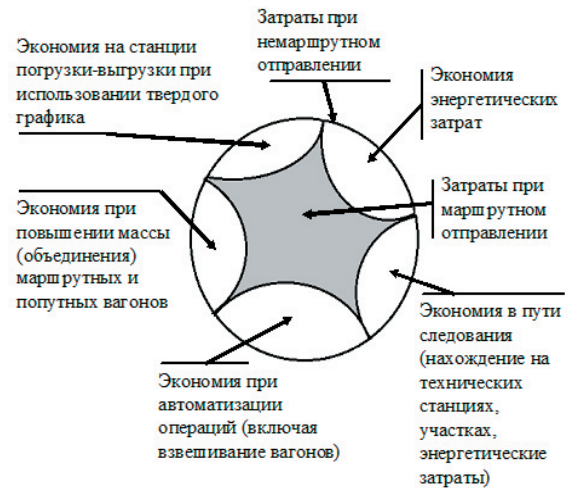
$d_{\text{п}}$; $d_{\text{в}}$ – соответственно, средние расходные ставки нахождения вагона на подъездных путях, соответственно: при погрузке и выгрузке.

Вектор операций согласно модели [4] кодируется в виде шкалы для различных категорий маршрутов и наличия автоматизации технологических или информационных операций (взвешивание вагонов, техническое обслуживание, коммерческий осмотр, составление электронных документов, перевозочного процесса и др.) или их отсутствия

$$O_{ik} = \begin{vmatrix} 0_{1k} & 0_{2k} & 0_{3k} & 0_{4k} & 0_{5k} & 0_{6k} & 0_{7k} & 0_{8k} & 0_{9k} & 0_{10k} & 0_{11k} & \dots \\ 1/0 & 1/0 & 1/1 & 1/0 & 0/0 & 1/0 & 0/0 & 0/0 & 0/0 & 1/0 & 1/0 & \dots \end{vmatrix}. \quad (6)$$

В числителе – снижение возможных затрат при использовании жестких ниток графика и других факторов (автоматизация взвешивания, повышение скорости и др.); в знаменателе – то же, но при отсутствии совокупности эксплуатационных расходов.

Расчеты показали, что при повышении длины участка обращения локомотивов и бригад, повышения скорости и использовании жесткого графика эксплуатационные расходы снижаются, что видно на примере перевозок окатишевозов со станции Золотнишино Южной железной дороги (рис. 2).



● – эксплуатационные расходы после учета факторов экономии

Рис. 2. Графическая схема изменений эксплуатационных расходов на примере перевозок окатишевозов

При отправлении маршрутов: Золотнишино - Батво-эксп. (расстояние 1206 км) при повышении длины участка обращения локомотивов на 200 км экономия возрастает с 10290 до 11580 грн, Золотнишино - Берегово-эксп. (расстояние 522 км) – с 5115 до 5676 грн., Золотнишино - Тополи-эксп. (расстояние 460 км) – с 4646 до 5141 грн. В целом по станции Золотнишино экономия составит 53402 грн./сут, а при удлинненном плече оборота локомотива 59830 грн./сут, а в среднем 5,6 %.

6. Выводы

Впервые предложена модель определения экономии затрат при перевозке маршрута с массовым грузом от одного грузоотправителя как двухэтапная модель стохастического программирования с рекурсией и случайными правыми частями ограничений на сети железных дорог Украины, которая учитывает, в отличие от существующей, перспективные логистические методы предоставления сервиса грузоотправителям и грузополучателям.

В дальнейшем рассматривается формирование средствами железных дорог на путях общего пользования не только прямых

отправительских маршрутов, но и других категорий маршрутов с учетом компенсационной платы на базе ЕСУ ПГВ.

Необходимо развитие услуг по формированию маршрута в соответствии с заключенным договором платы за использование инфраструктуры, накопления маршрута, фактическое время простоя в маршруте и каждой группы маршрута из вагонов различных ком-

паний-операторов нахождение экономичных вариантов подач при существенных изменениях количества вагонов в группах формирования маршрута.

Приведенная модель при накоплении, продвижении, выгрузке маршрута позволяет учесть колебания вагонопотока, мощность инфраструктуры и подъездных путей, в первую очередь для массовых перевозок грузоотправителей и грузополучателей.

Литература

1. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1555-р.: [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/discussion/15621.html>. 10.12.2009. – Загол. з екрану.
2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки. В редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2011 р. N 1106 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1106-2011-p>. – Загол. з екрану.
3. Бодюл, В. И. Система управления перевозками грузов для операторов железнодорожного подвижного состава [Текст] / В. И. Бодюл, А. Н. Фефилов // Наука и техника транспорта. – 2012. – Вып. 1. – С. 57–62.
4. Ковалев, В. И. Управление парками вагонов стран СНГ и Балтии на железных дорогах России [Текст]: уч. пос. для вузов железнодорожного транспорта / В. И. Ковалев, С. Ю. Елисеев, А. Т. Осминин и др.; под ред. В. И. Ковалева, С. Ю. Елисеева, Е. Ю. Мокейчева. – М.: Маршрут, 2006. – 245 с.
5. Нагорный, Е. В. Математическая модель функционирования каналов грузопотоков перевозки массовых грузов маршрутами [Текст] : сб. науч. трудов / Е. В. Нагорный, Н. Ю. Черныш // Проблемы развития транспортных коммуникаций: Междунар. – БелГУТ. – Гомель, 2000. – С. 36–40.
6. Иловайский, Н. Д. Сервис на транспорте (железнодорожном) [Текст] / Н. Д. Иловайский. – М.: Транспорт, 2003. – 218 с.
7. Данько, М. І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] : зб. наук. праць / М. І. Данько, В. В. Кулешов // УкрДАЗТ. – 2004. – Вып. 57. – С. 121–128.
8. Данько, М. І. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности [Текст] / М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. В. Кулешов // Инновационный транспорт. Научно-публицистическое издание. – 2012. – № 4 (5). – С. 8–13.
9. Данько, М. І. Побудова моделі оцінки інвестицій у залізничну інфраструктуру при взаємодії залізничних адміністрацій та операторів перевезень [Текст] : зб. наук. праць / М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. В. Кулешов // УкрДАЗТ. – 2012. – Вып. 134 – С. 7–13.
10. Данько, М. І. Формування вимог до технології взаємодії залізничних адміністрацій і власників рухомого складу [Текст] : зб. наук. праць / М. І. Данько, Д. В. Ломотько, В. М. Запара, В. В. Кулешов // УкрДАЗТ. – 2011. – Вып. 124. – С. 5–11.
11. Шор, Н. З. Задачі оптимального проектування надійних мереж [Текст] / Н. З. Шор, І. В. Сергієнко, В. П. Шило, П. І. Стецюк та ін.; під ред. Н. З. Шора. – К.: Наукова думка, 2005. – С. 132–161.
12. Brandalik, F. Simulace cinnosti vjesdove sostavy metodov Monte-Carlo [Text] / Zeleznici doprava a technika. Praha, 1968. – № 16.
13. Derek, Hurst Express nears completion [Text] / Hurst Derek // European Railway Review, November, 1996.
14. Gero, Ed John Expert System in Computer Aided Design [Text] // Elsevier Science Publishers. – North Holland. iFiP, 1987.
15. Korte, V. Combinatorial optimization [Text] / V. Korte, J Vygen. – Springer, 2006.
16. Vorkut, T. A. Haulage company ATP: logistics decisions for restructuring [Text] / T. A. Vorkut // Oak Brook, IL: CLM, 2000. – 44 p.
17. Шикин, Е. В., Чхартишвили, А. Г. Математические методы и модели в управлении [Текст] / Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили. – М.: Дело, 2004. – 437 с.